

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica



TESIS PROFESIONAL

CONTROL ESTRUCTURAL EN LOS PROCESOS DE MINERALIZACIÓN DEL
SISTEMA DE VETAS SANTA ROSA, COMPAÑÍA MINERA SOTRAMI S.A. -
AYACUCHO.

Para optar el título profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:
Bach. PEDRO MOISES MACHUCA CABRERA

Asesor:
Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE

Año: 2022

AGRADECIMIENTO

A la UNC y a todos mis docentes de la escuela de Ingeniería Geológica de esta Universidad, ya que fueron ellos quienes me brindaron su conocimiento y sus experiencias adquiridas durante su vida profesional a mi asesor el Dr. Alejandro Lagos Manrique y al Ing. Víctor Arapa Vilca.

A la Compañía Minera SOTRAMI S.A., que me brindó la oportunidad de desarrollarme en el campo laboral y darme todas las facilidades para utilizar la información y realizar de la presente tesis, y un reconocimiento especial a quienes de alguna manera

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, la salud y por haberme guiado a lo largo de mi vida profesional.

A mi mamá Bety Cabrera Aliaga y a mi papá Jorge Machuca Aliaga, por sus valores y consejos a lo largo de mi vida y su apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional.

A mis hermanos Jackelin, Aldo y Pamela por su ejemplo, quienes me enseñaron que con el trabajo y perseverancia se encuentra el éxito profesional.

A mi novia July Bustamante quien fue una inspiración desde los inicios de mi carrera.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
LISTA DE PLANOS Y LÁMINAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes teóricos.....	4
2.1.1. Antecedentes Internacionales	4
2.1.2. Antecedentes Nacionales	4
2.1.3. Antecedentes Locales.....	5
2.2. Bases Teóricas	5
2.2.1. Yacimientos Hidrotermales	5
2.2.2. Control Estructural	11
2.2.3. Fallas.....	13
2.2.4. Zonas favorables para la mineralización	19
2.3. Definición de Términos Básicos	27
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Aspectos Generales de la Investigación.....	29
3.1.1. Ubicación Política	29
3.1.2. Ubicación Geográfica.....	29
3.1.3. Accesibilidad.....	31
3.1.4. Clima.....	31

	Pág.
3.1.5. Vegetación.....	32
3.1.6. Historia del Yacimiento Minero.....	32
3.1.7. Propiedad Minera.....	33
3.2. Procedimientos	35
3.2.1. Etapa Preliminar de Gabinete	35
3.2.2. Etapa de Campo.....	35
3.2.3. Etapa de Análisis e Interpretación.....	36
3.3. Tipo y Diseño de Investigación	36
3.4. Población de Estudio	36
3.5. Muestra.....	36
3.6. Unidad de Análisis	36
3.7. Identificación de Variables	37
3.8. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	37
3.8.1. Cartografiado Geológico	37
3.8.2. Estaciones Estructurales.....	37
3.8.3. Softwares Geológicos	38
3.8.4. Equipos y Materiales.....	38
3.9. Geología Regional	39
3.9.1. Complejo Bella Unión.....	40
3.9.2. Dacita Molles	41
3.9.3. Gabros.....	41
3.9.4. Súper Unidad Linga	41
3.9.5. Súper Unidad Pampahuasi	41
3.9.6. Súper Unidad Incahuasi.....	42
3.9.7. Súper Unidad Tiabaya	42
3.9.8. Complejo Santa Rita	43
3.9.9. Intrusivos Cenozoicos	43
3.10. Geología Estructural	45

	Pág.
3.11. Geología Económica.....	46
3.12.1 Franja Aurífera Nasca-Ocoña	46
3.12.2 Provincia de Au-(Cu) Mesotermal del Batolito de la Costa	47
3.12. Geología Local.....	48
3.12.1 Complejo Santa Rita	48
3.12.2 Super unidad Tiabaya	48
3.12.3 Diques.....	49
3.12.4 Depósitos recientes del Cuaternario	50
3.12.5 Veta Santa Rosa.....	50
3.12.6 Veta Santa Rosa ramal piso.....	51
3.12.7 Otras vetas	52
3.13. Control Estructural en el Sistema de Vetas	55
3.13.1 Sistema de fallas.....	55
3.13.2 Sistema de diques	56
3.13.3 Estructuras mineralizadas	56
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	58
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	58
4.1.1. Análisis Geométrico	58
4.1.2. Análisis Cinemático.....	60
4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	78
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1. CONCLUSIONES	79
5.2. RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Esquema del origen de mineralizaciones magmáticas e hidrotermales. (Garcés, 1984).....	7
Figura 2: Esquema general del evento de colisión de terrenos, la desarticulación de una zona de subducción y la creación del sistema de fallas profundas que alcanzan a provocar la fusión parcial en la base del arco, el ascenso de volátiles y la precipitación de metales en depósitos orogénicos (Canet, 2005).....	8
Figura 3: Modelo esquemático del complejo tectono-magmático de postcolisión y su implicación en la génesis de oro orogénico, Régimenes de transpresión. (Goldfarb et al., 2001).....	9
Figura 4: Muestra la permeabilidad estructural desarrollada preferentemente a lo largo de la dirección σ_2 en disposición de vetas en echelon, jogs de fallas de dilatación y curvaturas de fallas de dilatación. (Nelson, 2010, pág. 16).....	12
Figura 5: Modelos dinámico de Anderson para fallas: a) normal, b) inversa y c) de desgarre (1905 y 1951).	14
Figura 6: Zonas de extensión y compresión para el modelo de Anderson (1951).	15
Figura 7: Indicadores cinemáticos para determinar el sentido de movimiento de fallas A) Elemento estriador al cabo de la estría, B) Material triturado al cabo de la estría, C) Banqueta al cabo de la estría, D) Escama de arrastre, E) Nichos de arranque, F) Escama de arranque, G) Colas de mineral, H) Lomos al abrigo, I) Planos ondulados, J) Cristalización al abrigo, K y L) Fallas de Ridel, M) Lúnulas de tracción, N) Lenticulaciones. (Modificado de Macharé, 2001).....	17
Figura 8: Vista en planta del modelo de cizalla de Ramsay (1967) en el que se aprecia entre las relaciones geométricas de los planos de riedel (R) y el fallamiento principal de cinemática dextral.....	18
Figura 9: Fenómeno de transpresión y transtensión en un escenario de fallas transcurrentes. (Harland, 1971).....	19
Figura 10: Inflexiones, saltos, abanicos imbricados y duplexes en sistemas transcurrentes. (Woodcock y Fischer, 1986).	20

	Pág.
Figura 11: Desarrollo de un dúplex en extensión y compresión con estructuras tipo flor negativa y positiva (Woodcock y Fischer, 1986).	20
Figura 12: Sistema tipo bomba de succión. Apertura forzada (sísmicamente) de una falla con movimiento dextral. A: Pre-ruptura, presiones de fluido uniformes; B: Post-ruptura, inyección de fluidos a los jogs extensionales. (Sibson, 1990).	21
Figura 13: La figura muestra la relación entre el ángulo de buzamiento y pitch, para la clasificación cinemática de las fallas. (Angelier, 1994).	22
Figura 14: Metodología de los diedros rectos para determinación de las direcciones de compresión y extensión. El caso de una falla normal (Pérez, 2010).	23
Figura 15: Construcción de la gráfica de mecanismo focal (P&T). a) típica de falla inversa utilizando la esfera focal, con la definición de los campos de extensión (T) y acortamiento (P). b) Típica de falla normal con componente lateral indicada por las estrías (Cox y Bryan, 1986).	23
Figura 16: a) deformación homogénea. b) deformación heterogénea. Ejes P (Azul) y ejes T (rojo).	24
Figura 17: Los ejes P y T presentan dos clusters (Azul y morado).	25
Figura 18: En la figura se muestra dos estereogramas con una serie de cuadrados con “cola” de distintos colores, que representan los esfuerzos principales, σ_1 y σ_3 respectivamente.	26
Figura 19: Clasificación de régimen tectónico. Tomado de Ritz (1994).	27
Figura 20: Accesibilidad a mina Santa Filomena.	31
Figura 21: Mapa mostrando la segmentación de las súper unidades del Batolito de la Costa y la distribución de los plutones, (Pitcher, 1985).	40
Figura 22: Oro nativo en cuarzo hidrotermal. Nv 07 veta Santa Rosa (a 250m de la bocamina).	46
Figura 23: Diorita biotítica de grano medio. Nv 07 Veta Santa Rosa (a 260m de la bocamina).	49

	Pág.
Figura 24: Contacto entre dique andesítico y diorita. Nv 08 veta Santa Rosa (a 300m de la bocamina).	49
Figura 25: Depósitos aluviales de cantos rodados. E: 577518; N: 8301718.	50
Figura 26: Afloramiento en superficie de la veta Santa Rosa. E: 577907; N: 8301670.	50
Figura 27: Veta de cuarzo con óxidos, con ancho promedio de 0.20m. Nv 05 veta Santa Rosa ramal piso (a 200m de la bocamina).	52
Figura 28: Veta de cuarzo y oro, con óxidos de hierro y pirita, ancho de 0.80m. Nv 15 Veta Filomena (a 500m de la bocamina).	52
Figura 29: Plano de falla de la veta (caja piso) en el que se muestra el lineamiento de las estrías. Nv. 05 veta Santa Rosa a 180m de la bocamina.	55
Figura 30: Fallas normales escalonadas cortando a un dique de cuarzo. Nv 06 Veta Santa Rosa (a 230m de la bocamina).	56
Figura 31: En la figura se muestra una falla de cinemática dextral post mineralizante, donde el esfuerzo principal es NW-SE. (Tomada en la corona de la labor).	57
Figura 32: Veta de cuarzo oro con presencia de sulfuros y OXsFe, más los halos de alteración. La geometría de la veta Santa Rosa es típica de una veta tipo rosario.	59
Figura 33: Jog extencional de cinemática dextral. (Tomada en la corona de la labor).	59
Figura 34: Los puntos en azul son las estaciones, donde por el ángulo de cabeceo califican como fallas de deslizamiento oblicuo según el modelo de Angelier, 1994.	61
Figura 35: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 109.4°/44.2° originando una falla dextral con una componente secundaria normal.	62
Figura 36: Figura 28: el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 107.2°/59.6°	63

Figura 37: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 281.5°/32.5°, generando una falla sinistral normal.	64
Figura 38: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 144.2°/40°, generando una falla dextral.....	65
Figura 39: a) Datos de las Fallas de Santa Rosa, b) Datos procesados en el faultkin, c) datos procesados en Orient y d) Datos procesados en el MIN.	67
Figura 40: Son las estaciones de Santa Rosa piso, que por el ángulo de cabeceo califican como fallas de deslizamiento oblicuo según el modelo de Angelier, 1994.	68
Figura 41: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 287.8°/45.9° originando una falla sinistral con una componente secundaria normal.....	69
Figura 42: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 107.4°/01.7° originando una falla inversa.....	70
Figura 43: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 288.5°/44.9° originando una falla sinistral con una componente secundaria normal.....	71
Figura 44: a) Datos de las Fallas de Santa Rosa ramal piso, b) Datos procesados en el faultkin, c) datos procesados en Orient y d) Datos procesados en el MIN.	73
Figura 45: a) Datos de las Fallas de Santa Rosa ramal piso, b) Datos procesados en el faultkin, c) datos procesados en Orient y d) Datos procesados en el MIN.	75
Figura 46: a) Modelo de Riedel b,c,d) Gráficos de rosetas de las estructuras y gráficos de la distribución de los ejes P y ejes T. Tomado de Moreira y Dias (2018)...	76
Figura 47: a) Distribución de las estructuras y su relación con el modelo de Riedel y los paleoesfuerzos; b, c) Determinación de los paleoesfuerzos mediante el Faultkin y MIM de todas las estructuras..	77

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Sistema UTM. DATUM WGS-84 concesión Santa Filomena.....	29
Tabla 2: Acceso a la Unidad Minera Santa Filomena, vía terrestre.....	31
Tabla 3: Concesión Minera: Santa Filomena y Victoria 100.....	33
Tabla 4: Identificación, definición y operacionalización de variables.....	37
Tabla 5: Resumen de recursos de otras vetas (Indicados).....	53
Tabla 6: Resumen de recursos de otras vetas (Inferidos).....	53
Tabla 7: Estación estructural nivel 5 Santa Rosa.....	62
Tabla 8: Estación estructural nivel 6 Santa Rosa.....	63
Tabla 9: Estación estructural nivel 7 Santa Rosa.....	64
Tabla 10: Estación estructural nivel 8 Santa Rosa.....	65
Tabla 11: Estación estructural nivel 5 Santa Rosa piso.....	69
Tabla 12: Estación estructural nivel 6 Santa Rosa piso.....	70
Tabla 13: Estación estructural nivel 7 Santa Rosa piso.....	71
Tabla 14: Datos estructurales (Anexos...1).....	84

LISTA DE PLANOS Y LÁMINAS

	Pág.
Plano 1: Plano de Ubicación	30
Plano 2: Ubicación de la Propiedad Santa Filomena	34
Plano 3: Plano Geológico Regional.....	44
Plano 4: Plano geológico local	54
ANEXOS.....	83
Láminas 1. CH 840 vista W.....	85
Láminas 2. Dúplex extensional.....	86
Plano geológico Santa Rosa.....	87
Plano geológico Santa Rosa ramal piso.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84: Sistema Geodésico Mundial

UTM : Universal Trasversal de Mercator (Sistema de Coordenadas)

Onz : Onzas

TC : Tonelada Corta

Tn : Tonelada

Au : Oro

Ag : Plata

Py : Pirita

Cpy : Calcopirita

Φ : Régimen Tectónico

σ_1 : Sigma 1.

σ_2 : Sigma 2.

σ_3 : Sigma 3.

Nv : Nivel

SW : Suroeste

NE : Noroeste

P : Acortamiento

T : Extensión

BS : Clasificación climática de Köppen

BSk :Clima semiárido frío

OXsFe : Óxidos de hierro

ARCs : Arcillas

CH : Chimenea

RESÚMEN

La investigación se desarrolló en la concesión y unidad minera Santa Filomena, ubicada en el Centro Poblado de Santa Filomena, distrito de Sancos, provincia de Lucanas y departamento de Ayacucho, afloran mayormente rocas intrusivas del Cretácico Superior como diorita, granodiorita y tonalita pertenecientes a la Super Unidad Tiabaya del batolito de la costa, segmento de Arequipa. Es un yacimiento mesotermal de vetas angostas de oro tipo rosario de ancho promedio de 1.0m y ley de 1.2 Onz/TC Au. El oro se encuentra diseminado de manera microscópica en el cuarzo y el óxido de hierro (OxsFe) y ocasionalmente acompañado de sulfuros como pirita y calcopirita. Se determinó la dirección del esfuerzo principal y el tipo de cinemática responsables de la mineralización. Se determinó la existencia de jogs y dúplex extensionales. Para estos cálculos se tuvo en cuenta los indicadores cinemáticos, mediante la toma de estaciones estructurales a partir del nivel 5 hasta el nivel 8 para Santa Rosa y para Santa Rosa piso entre el nivel 5 y 7. Se concluye que está en una zona transtensional ($\Phi=0.6$) de fallas dextrales y sinestrales con una componente secundaria normal, siendo responsables del emplazamiento de la mineralización en el sistema de vetas, la veta Santa Rosa está dada por una cinemática dextral normal y Santa Rosa ramal es una estructura anti riedel respecto a ésta con una cinemática sinistral normal. También, se logró entender las variaciones de los campos de esfuerzo.

Palabras claves: Yacimiento mesotermal, vetas angostas, clavos mineralizados, riedel, indicadores cinemáticos, esfuerzo principal, paleoesfuerzos.

ABSTRACT

The research was developed in the Santa Filomena mining unit and concession, located in the Santa Filomena Urban Center, Sancos district, Lucanas province and Ayacucho department, mainly intrusive rocks from the Upper Cretaceous surface such as diorite, granodiorite and tonalite belonging to the Tiabaya Super Unit of the coastal batholith, Arequipa segment. It is a mesothermal deposit of narrow rosary-type gold veins with an average width of 1.0 m and a grade of 1.2 OZ / TC Au. Gold is scattered microscopically in quartz and iron oxide (OxsFe) and occasionally accompanied by sulfides such as pyrite and chalcopyrite. The direction of the main stress and the type of kinematics responsible for the mineralization were determined. Extensional jogs and duplexes were determined. For these calculations, the kinematic indicators were taken into account, by taking structural stations from level 5 to level 8 for Santa Rosa and for Santa Rosa floor between level 5 and 7. It is concluded that it is in a transtentional zone ($\Phi = 0.6$) of dextral and synesttral faults with a normal secondary component, being responsible for the location of the mineralization in the vein system, the Santa Rosa vein is given by a normal dextral kinematics and Santa Rosa ramal is an anti-riedel structure with respect to this one with a normal synesthetic kinematics. Also, it was possible to understand the variations of the effort fields.

Key words: Mesothermal reservoir, narrow veins, mineralized nails, riedel, kinematic indicators, main stress, paleo stresses.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza una descripción del problema tanto el planteamiento como la formulación, la justificación de la investigación, los alcances, los Objetivos y la Hipótesis.

Como problema principal para el proyecto de investigación se ha planteado que: Los yacimientos de Au orogénico, también conocidos como depósitos de Au en zonas de cizalla, Oro Mesotermal y Au metamórfico (Groves et al., 1998). Generalmente, se encuentran asociados a cinturones metamórficos profundamente deformados, variando en su grado metamórfico desde facies de esquistos verdes (greenstone belts) hasta facies de anfibolita y ocupan una posición espacial y temporal con procesos deformacionales asociados a márgenes de placas.

Unidad Minera Santa Filomena se ubica en el Distrito de Sancos, Provincia Lucanas (Ayacucho-Perú); a una altitud de 2400 msnm. Es un yacimiento tipo Mesotermal (Orogénico) de vetas angostas de oro, emplazado en rocas intrusivas (diorita); produce 120 toneladas métricas (TM) por día, se están explotando dos vetas, Santa Filomena y Santa Rosa. El estudio se centra en el sistema de vetas Santa Rosa. Éste es un sistema de muy complejo, la veta principal es del tipo rosario, son clavos mineralizados de hasta 1m de ancho y longitudes de hasta 10m, con un azimuth de 260°, las vetas secundarias son continuas con un ancho promedio de 0.20m, con un azimuth de 300°. El cruce entre la veta principal y las secundarias forman zonas de enriquecimiento con leyes de 3-5 Onz/TC. de Au.

Se realiza por medio de un cartografiado geológico superficial a detalle a escala 1/500 y 1/1000, cartografiado subterráneo a escala 1/200 y 1/250, perforación diamantina en interior mina en la caja piso y la caja techo de la estructura principal para encontrar estructuras secundarias mineralizadas; muestreo sistemático cada 2m. para conocer la distribución de leyes; se realizarán secciones longitudinales y transversales para correlacionar entre dos niveles.

Conocer el control estructural del sistema de vetas en un yacimiento orogénico viene a ser la base fundamental para el hallazgo de nuevas estructuras mineralizadas, distribución de leyes y para incrementar las reservas del yacimiento, ampliando así la vida útil de la mina y generando más trabajo para los pobladores de la zona.

Como formulación del problema para el proyecto de investigación de ha formulado lo siguiente: ¿Cuál es la relación del control estructural con los procesos de mineralización en el sistema de Vetas Santa Rosa?

Como justificación para la investigación se tiene que: La investigación se centra en determinar el control estructural para determinar la presencia de nuevas estructuras, clavos mineralizados y así poder orientar adecuadamente las labores subterráneas.

El presente estudio servirá como base para los trabajos de exploración y explotación minera, además de guía para quienes estén interesados en la investigación de yacimientos en minería subterránea.

El objetivo general de la investigación es: Determinar el control estructural en los procesos de mineralización en el sistema de Vetas Santa Rosa.

Los objetivos específicos planteados son: Realizar el cartografiado geológico a escala 1/200 y determinar las estructuras favorables a la mineralización, Determinar las estructuras principales y secundarias del sistema de vetas, Determinar la cinemática de las fallas principales que permitieron el emplazamiento de la mineralización, Determinar la dirección de los esfuerzos y deformaciones en la mineralización de oro.

Como hipótesis para la investigación se ha planteado que: el control estructural y los procesos de mineralización del sistema de vetas mesotermales en la unidad

Santa Filomena, se dieron a través de un sistema de fallas tipo Riedel en un régimen tectónico principalmente transtensional ($\Phi > 0.55$) durante el Cretácico, emplazadas en rocas intrusivas. Estas vetas constituyen la principal evidencia estructural entre los procesos de deformación y mineralización de alta ley de oro (3-5 Onz/TC. de Au), lo que permiten establecer criterios estructurales de exploración en la unidad.

Como parte de la metodología de investigación fue necesario tomar en cuenta la etapa de gabinete y la etapa de campo. En la etapa de gabinete corresponde a la recolección de documentos bibliográficos físicos y digitales que están relacionadas con el trabajo de investigación, en la etapa de campo se tomaron estaciones estructurales (ver anexo 1 data estructural) en todos los niveles de la mina (8 niveles), datos de rumbo, buzamiento y pitch, fueron digitalizados en el excel y posteriormente se procesó y analizó por el método de los diedros rectos en el software FaultKin 7 y el método de inversión múltiple en el software MIM, para definir los esfuerzos y el control estructural.

Contenido de los capítulos: En el capítulo II se presenta el marco teórico, los antecedentes teóricos de la investigación, bases teóricas y definición de términos básicos, en el capítulo III los materiales y métodos mostrando la ubicación, el procedimiento y la metodología de la investigación, en el capítulo IV el análisis y discusión de resultados, explicando los resultados obtenidos y la contrastación de la hipótesis y Finalmente, en el capítulo V las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Tristán et al (2012), Control estructural para el emplazamiento de vetas y domos félsicos en el distrito minero de Zacatecas, México. Presenta como objetivo: Determinar los eventos y etapas que dieron origen a la mineralización. Y concluye que: El emplazamiento de diques riolíticos y domos asociados estuvo ligado a la primera etapa de fallamiento y mineralización y ambos factores (magmatismo y fallamiento) generaron la primera etapa de mineralización. La segunda etapa de fallamiento retomó las estructuras principales definidas en la primera, y por lo tanto una segunda etapa de mineralización.

Boetsch (2014), Control estructural de la mineralización Argento-Aurífera y criterios de exploración en el distrito Cerro Bayo, Región de Aysén, Chile. Presenta como objetivo: Establecer el o los estilos de deformación asociados a la mineralización, y determinar criterios de exploración en el sistema epitermal argento - aurífero de baja sulfuración. Y concluye que: Mediante un análisis geométrico - cinemático de las vetas sigmoidales se determinó que el régimen local de deformación es de tipo extensional, siendo consistente con el régimen de deformación a escala continental durante el periodo de emplazamiento de las vetas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Aguilar et al (2010), Control estructural y litológico en el emplazamiento de yacimientos minerales en el sector Condoroma – Paratia (Cusco - Puno), Sur del Perú. Presenta como objetivo: Determinar las estructuras favorables para el

emplazamiento de los sistemas hidrotermales. Y concluye que: Los sistemas hidrotermales emplazados en la zona de estudio muestran una estrecha relación entre las estructuras principales N120° que condicionan y favorecen el desarrollo de estructuras N60°, N-E y E-O.

Sánchez (2016), Controles de mineralización en el sistema de vetas SN - (CU) Santo Domingo - proyecto Santo Domingo – Puno. Presenta como objetivo: Determinar los controles de mineralización en el sistema de vetas Santo Domingo. Y concluye que: La mineralización de casiterita se presenta en las estructuras principales (N315/65°) como en las estructuras tensionales. La mineralización se presenta en vetas y venillas que presentan texturas del tipo relleno de fractura, masivo y matriz de brecha.

2.1.3. Antecedentes Locales

Olchanski (1980), Geología de los cuadrángulos de Jaquí, Coracora, Chala y Chaparra. Este estudio se enfoca al contexto Geológico regional en los aspectos de la estratigrafía, tectónica y plutonismo, con breves descripciones de los yacimientos y prospectos reconocidos en la región.

Martell (2021), Estimación de reservas minerales de oro y plata de la veta filomena, Sancos - Lucanas - Ayacucho. Presenta como objetivo: Estimar las reservas de mineral de oro y plata de veta Filomena en Sancos - Lucanas - Ayacucho. Y concluye que: Se tiene en reservas probadas 83,433 TMS con leyes de 0.521 Oz/Tc Au y 0.796 Oz/Tc Ag y reservas probables 28,374 TMS con leyes de 0.556 Oz/Tc Au y 0.823 Oz/Tc Ag, haciendo un total de 111,808 TMS con leyes de 0.530 Oz/Tc Au y 0.803 Oz/Tc Ag.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Yacimientos Hidrotermales

A medida que un magma se solidifica se van formando los minerales propios de las rocas ígneas (como los silicatos y óxidos) mientras las fases, líquida y gaseosa de la mezcla se van enriqueciendo en agua con ciertos elementos y sustancias en solución F, Cl, B, CO₂, S, Fe, Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Sb, Ba, Ca.

Estas fases son expulsadas del magma, principalmente durante su solidificación, a temperaturas de 400 a 800°C y a considerable presión, produciendo efectos de metasomatismo y relleno en las rocas de caja.

Desde la profundidad magmática hasta la superficie el agua pierde temperatura y presión, perdiendo en consecuencia la mayor parte de su poder disolvente. Por ello, casi todas las sustancias disueltas en el agua precipitan en el camino originando concentraciones o depósitos minerales.

Los conductos por los cuales el agua se moviliza son, fundamentalmente, fallas y diaclasas, aunque localmente pueden tener importancia otros espacios abiertos como vesículas de lava, intersticios de sedimentos, cuevas de disolución y brechas de colapso y de explosión. Las fallas y diaclasas no solamente sirven como conductos, sino que, a medida que transcurre el proceso, se van relleno con las sustancias que precipitan. Formando así los depósitos tipo filones.

Los procesos hidrotermales presentan una zonación, es decir una distribución en zonas con diferentes mineralizaciones de acuerdo a la temperatura, se pueden clasificar en: Piro-metasomáticos, Hipotermas, Mesotermas y Epitermas. (Garcés, 1984).

2.2.1.1 Yacimientos Mesotermas

Los depósitos mesotermas comprenden filones y reemplazamiento formado a moderadas presiones y temperaturas. Se les asigna una profundidad de formación entre 1200 y 3600 metros (140 y 400 atm) y temperatura según Lindgren, de 175°C a 300°C, en áreas de intrusiones magmática pueden ser diferentes, además la temperatura de la solución hidrotermal puede tener influencia.

Estos depósitos generalmente están asociados con rocas ígneas intrusivas acidas (sílices). Los cuerpos intrusivos pueden ser batolitos, lacolitos o copulas los techos de los batolitos podrían presentar las mejores condiciones para el desarrollo de estos depósitos. Las rocas encajonantes pueden ser ígneas metamórficas o sedimentarias.

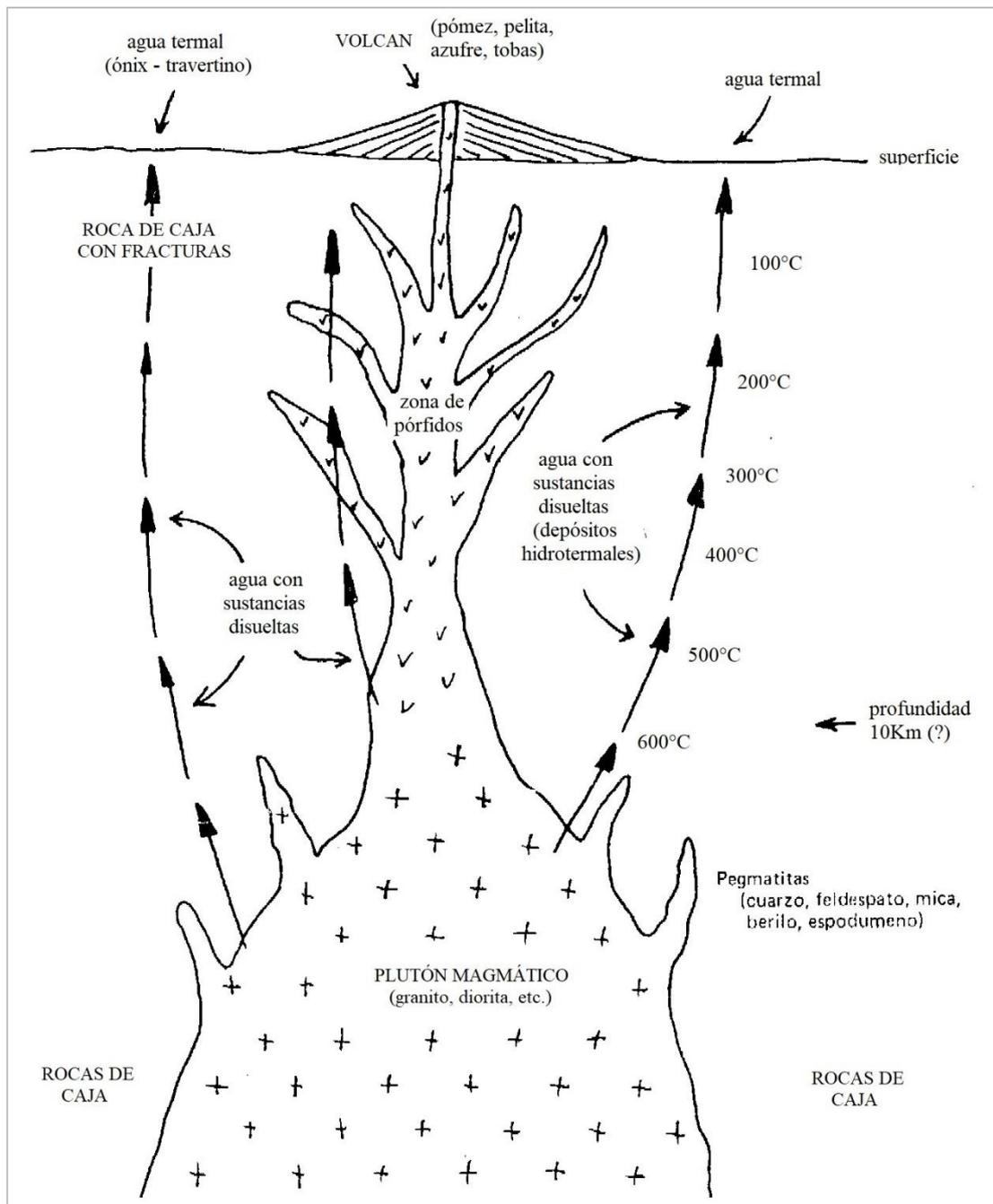


Figura 1: Esquema del origen de mineralizaciones magmáticas e hidrotermales. (Garcés, 1984).

2.2.1.2 Depósitos de Oro Orogénico

Durante décadas el estudio del origen de los depósitos minerales ha ocupado un campo de las investigaciones geológicas y mineras, especialmente las mineralizaciones auríferas correspondientes a los depósitos de oro mesotermal, también conocidos como vetas de cuarzo y oro, "Mother Lode", Filones de oro arcaico (Alldrick, 1996).

Estos depósitos minerales se encuentran presentes en diferentes litologías con edades que van desde el Precámbrico hasta el Mesozoico (Goldfarb et al., 2001), emplazados en un amplio rango de profundidades. Con base a esto el término “mesothermal” no se aplica en su totalidad, siendo más vinculados con las orogénias, por lo cual es más conveniente denominarlos depósitos de oro orogénico (Groves et al., 1998). Se caracterizan por sistemas hidrotermales que representan un fluido regional inherente a un tectonismo a lo largo de márgenes convergentes, que a diferencia de otros sistemas de vetas de oro como el epitermal de baja sulfuración que no existen en orógenos y son de sistemas extensivos locales, asociados generalmente con aguas magmáticas y meteóricas.

Las ocurrencias minerales son filones en rocas competentes y lentes en litologías menos competentes. Que típicamente aparecen como un sistema de vetas en “echelon”, caracterizadas por ser de bajo tonelaje y relacionadas con amplias áreas de fracturamiento con oro y sulfuros asociados a redes de lentes de cuarzo (Alldrick, 1996).

Se ha comprobado una asociación directa entre la mineralización y fallas inversas de alto ángulo. Las fracturas son el medio de transporte de las soluciones mineralizadas, y en ellas se dan las condiciones fisicoquímicas para la precipitación del oro. De esta manera aparece un modelo estructural dominante, teniendo las vetas un desarrollo sintectónico en compresión horizontal o régimen transpresivo (Sibson et al., 1988).

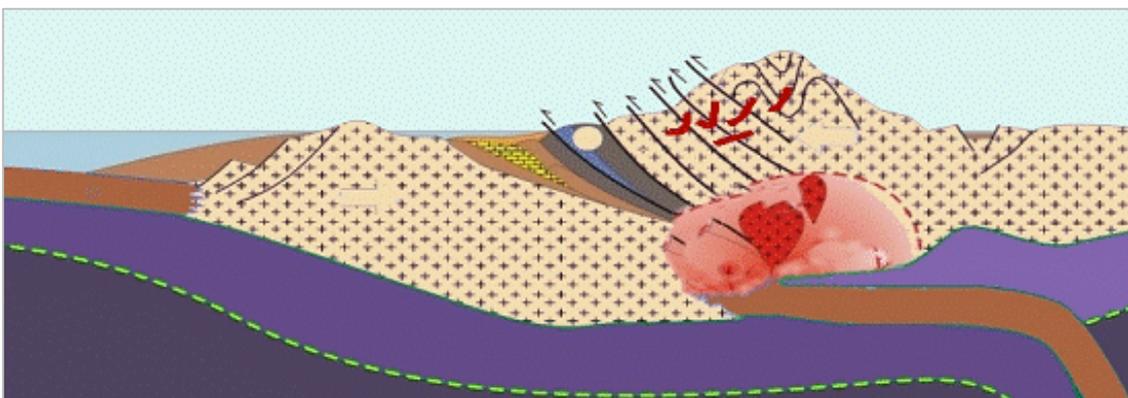


Figura 2: Esquema general del evento de colisión de terrenos, la desarticulación de una zona de subducción y la creación del sistema de fallas profundas que alcanzan a provocar la fusión parcial en la base del arco, el ascenso de volátiles y la precipitación de metales en depósitos orogénicos (Canet, 2005).

El origen de los fluidos mineralizantes es polémico. Algunas de las teorías involucran modelos magmáticos, metamórficos y estructural (Goldfarb et al., 2001). Han sido sugeridas fuentes magmáticas, metamórficas y mantélicas dentro de un ambiente de engrosamiento tectónico de la corteza en respuesta a la colisión del terreno, devolatización metamórfica o fusión parcial de la corteza más baja o el bloque subducido (Alldrick, 1996).

Eventos térmicos relacionados con procesos de transpresión en márgenes convergentes de orogénias colisionales y acrecionales, con gradientes geotérmicos elevados episódicamente dentro de secuencias acrecionadas hidratadas, inician y conducen la migración del fluido hidrotermal a través de grandes distancias (Groves et al., 1998). Se propone un origen metamórfico a partir de fluidos a gran profundidad que interactuaron con la roca encajonante y extrajeron el oro presente en ella. Este fluido asciende a la superficie a través de zonas de permeabilidad relacionadas con fallas y fracturas preexistentes, donde se presentan condiciones de disminución de la presión del fluido y favoreciendo así la depositación del oro en condiciones específicas de presión y temperatura (Goldfarb et al., 1988).

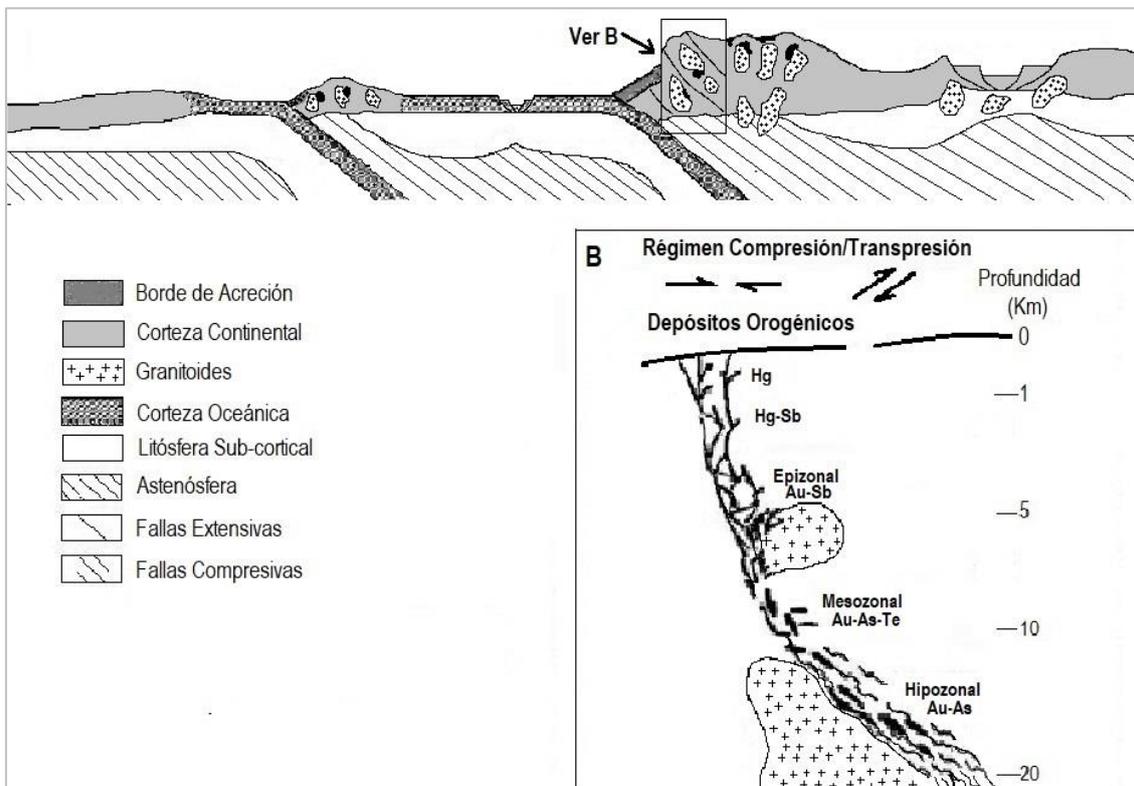


Figura 3: Modelo esquemático del complejo tectono-magmático de postcolisión y su implicación en la génesis de oro orogénico, Régimenes de transpresión. (Goldfarb et al., 2001).

Cuando los terrenos son comprimidos debajo del margen continental se someten a metamorfismo prógrado progresivo, resultando así grandes volúmenes de fluido liberado, lo cual juega un papel importante en la génesis de las vetas auríferas (Goldfarb et al., 1988).

El oro se deposita en una zona de transición de propiedades físicas entre frágil y dúctil de la masa rocosa, a presiones entre 1 y 3 kb. y temperaturas entre los 200 y 400°C.

2.2.1.1 Estructuras y texturas

Los yacimientos mesotermales presentan generalmente una estructura regular y continua, lo que los diferencia de los hipotermales; en efecto, las mineralizaciones se distribuyen selectivamente en los filones. Puede decirse, en general, que son comunes tanto las estructuras de relleno de cavidades como las de reemplazamiento. En tamaño de los granos es en principio intermedio entre los otros dos tipos de yacimientos hidrotermales (Nelson, 2010, pág. 8).

2.2.1.2 Elementos explotables

En estos depósitos se explotan sobre todo oro, plata, cobre, plomo, zinc, acompañados de azufre y antimonio. La transición geoquímica con la etapa hipotermal se marca por trazas de Sn, W, Mo y Bi, mientras que el Te y Se señalan la transición con la epitermal.

2.2.1.3 Minerales mena

Posiblemente ningún mineral sea distintivo de esta etapa; pero, la ausencia de minerales típicos de los hipo o epitermales sería una característica importante de los depósitos mesotermales. Las asociaciones más frecuentes son:

- Blenda, pirita, galena, calcopirita, arsenopirita.
- Sulfosales de cobre: Tetraedrita, tennantita y enargita (3 Cu₂S As₂S₅).
- Oro nativo, asociado principalmente a la arsenopirita y las sulfosales de Cu.
- Plata, sobre todo como inclusiones en la galena (galena argentífera) o en la tetraedrita (freibergita). A veces se encuentra como sulfuros o sulfosales de Ag, pero estos minerales son más bien típicos de la etapa epitermal.
- Magnetita y hematita en cantidades accesorias.

2.2.1.4 Minerales de ganga

- Cuarzo, omnipresente en todos los yacimientos hidrotermales.
- Carbonatos, que caracterizarían la fase mesotermal, sobre todo calcita, dolomita y ankerita, más raramente siderita. A veces, la fluorita y la barita. Sin embargo, la primera no es característica, pues aparece también en los yacimientos neumatolíticos, pirometasomáticos, hipotermales y epitermales.
- A diferencia de los depósitos hipotermales se nota la ausencia de los silicatos como turmalina, topacio, micas, anfíboles, granates y feldespatos.
- A diferencia de los epitermales, no se observan zeolitas, caolinita y adularia.

2.2.1.6 Relación con rocas ígneas

La mayoría de los yacimientos mesotermales están relacionados tanto espacial como genéticamente con rocas ígneas; sin embargo, en algunos de ellos no se observan tales relaciones. No debe extrañar esto último, pues una característica de todos los yacimientos hidrotermales es que entre más lejos se encuentren de su fuente de origen, más difícil será localizar dicha fuente.

2.2.2. Control Estructural

El comprender adecuadamente el control estructural que presenta un yacimiento viene a ser base fundamental en la exploración de recursos minerales, desde el punto de vista de mineralizaciones hidrotermales, se conoce que las zonas extensionales son las más favorables para el desarrollo de estructuras mineralizadas, la extensión genera espacios favorables para la circulación de los fluidos y las masas minerales vienen a ser mayores; las fallas y estructuras presentes en un yacimiento servirán como canales de migración de los fluidos hidrotermales y el determinar el sentido de movimiento (cinemática) de una falla o zona de cizalla será importante para predecir la presencia de zonas de extensión. La geología estructural en exploración minera muestra una revisión de los principios estructurales, en base a las estructuras que favorecen la permeabilidad estructural y alojan yacimientos controlados estructuralmente (Nelson, 2010, pág. 9).

2.2.2.1 Controles estructurales sobre la permeabilidad

La formación de estructuras minerales se localiza en las áreas de mayor apertura, relacionada a las fracturas, densidad de fracturas y a la permeabilidad estructural. La evidencia física del paso del flujo del fluido se da a través de vetas, zonas de fallas mineralizadas y brechas con matriz precipitado hidrotermalmente (cemento), todas las cuales pueden ocurrir en la misma estructura. Las mallas de permeabilidad por fallas-fracturas pueden formarse en varias geometrías. Nótese, sin embargo, que el enfoque, no la dispersión, de los fluidos mineralizantes es un proceso necesario para la formación de mineral. La focalización de la permeabilidad a lo largo de la dirección σ_2 en mallas de falla-fractura puede ocurrir en una serie de ajustes estructurales (Figura 4), incluyen:

- Jogs y curvaturas de fallas de dilatación. (Figura 4. B, 4. C)
- Disposición de vetas en echelon (Figura 4. A)
- Zonas de intersección (falla-falla, falla-capa, falla-dique, dique-capa, etc.)

La brechificación en cualquiera de las estructuras anteriores, así como en conductos y chimeneas intrusivas, aumentará la permeabilidad a la fractura a través de la rotación de bloques limitados por fracturas (Nelson, 2010, pág. 16).

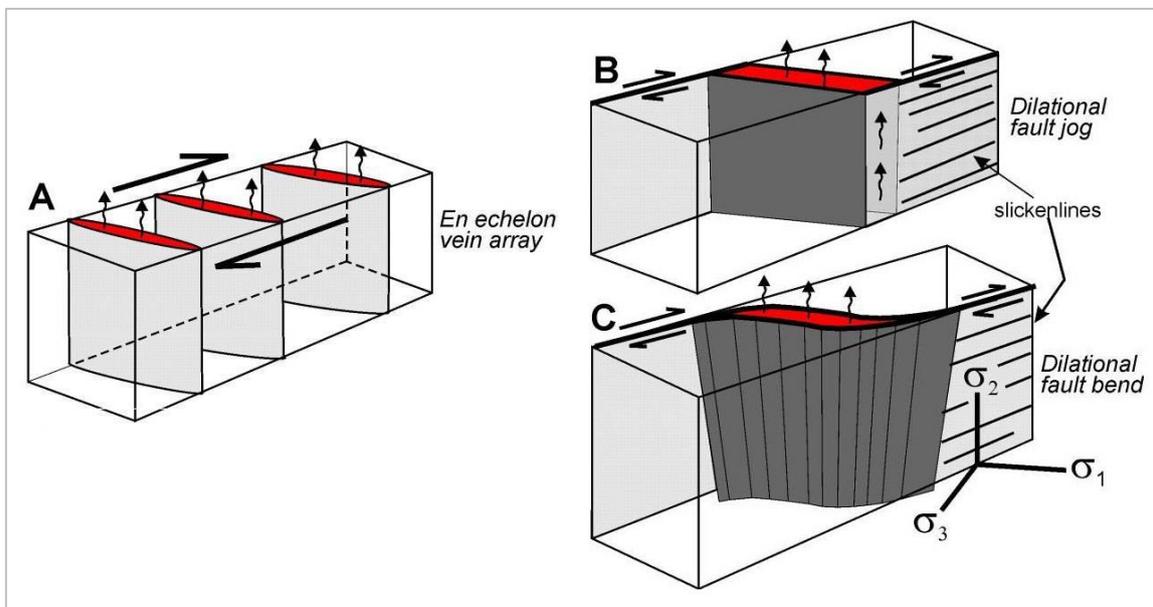


Figura 4: Muestra la permeabilidad estructural desarrollada principalmente a lo largo de la dirección σ_2 en disposición de vetas en echelon, jogs de fallas de dilatación y curvaturas de fallas de dilatación. (Nelson, 2010, pág. 16).

2.2.3. Fallas

El modelo dinámico de Anderson establecido en 1905 y posterior en 1951, establece que sobre la superficie terrestre no existen esfuerzos de cizalla, por lo que en ella solo existen esfuerzos normales que son ortogonales a los planos de las tres dimensiones. De este modo se tiene tres esfuerzos compresivos siendo el primero máximo σ_1 , el segundo intermedio σ_2 y el tercero mínimo σ_3 , según este modelo la dirección e inclinación espacial de los esfuerzos ayudan a predecir el tipo de fallamiento. En base a este modelo se implica que el σ_1 es el responsable de la mayor parte de los movimientos que se aprecian en las fallas, de ahí que en la naturaleza es recomendable inferir primero la orientación de la compresión principal σ_1 .

Según el modelo de Anderson los tipos de fallas en función de la orientación de los vectores de esfuerzo y planos de rotura σ_1 siempre bisecta el ángulo menor ($< 45^\circ$) entre los planos de deslizamiento (Figura 5).

A partir de las orientaciones de las fallas que se han formado en un campo de esfuerzos dado, se puede evaluar con estereografía la orientación de los esfuerzos principales que han dado lugar a estas fallas, o mejor dicho la orientación de los esfuerzos y el valor del ángulo de fricción interna de la roca, deducir la orientación y características de las fallas resultantes. Recordemos las principales premisas

- Los tres ejes principales de esfuerzos son perpendiculares entre sí.
- La línea de intersección de los círculos mayores que representan a las fallas conjugadas, es σ_2 .
- El plano perpendicular a σ_2 se denomina plano de movimiento, y contiene a σ_1 y σ_3 .

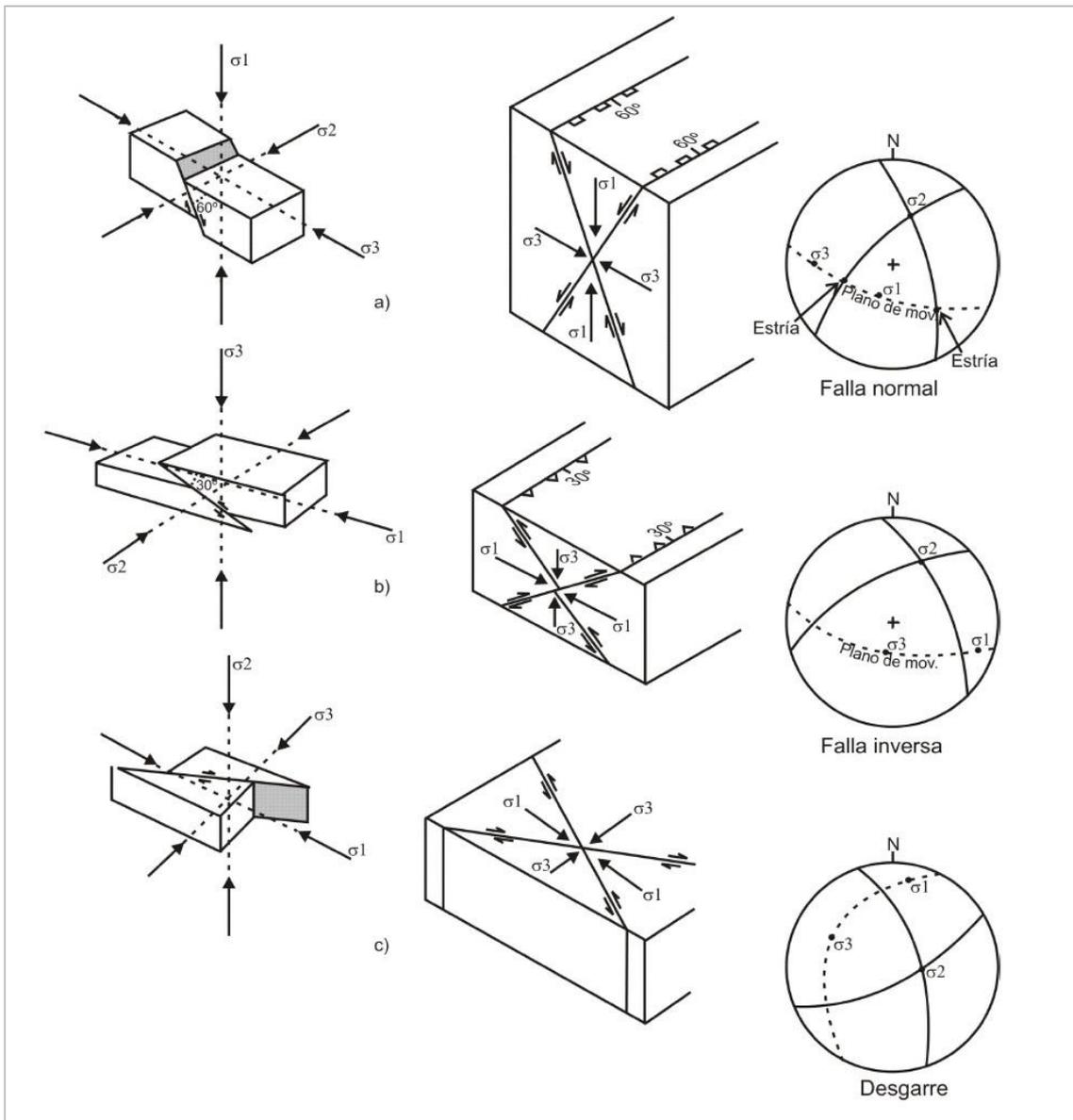


Figura 5: Modelos dinámico de Anderson para fallas: a) normal, b) inversa y c) de desgarre (1905 y 1951).

Las fallas discrepan mucho de presentar un comportamiento ideal planteado por Anderson y en relación a esto vamos a recordar una premisa fundamental: las fallas se curvan y por lo tanto casi nunca son planos sino “superficies curvadas”. Producto de esas curvaturas se generan situaciones asimétricas en la distribución de esfuerzos a ambos lados de la falla o zona de falla, resultando en zonas de extensión (transtensión) o compresión (transpresión) locales.

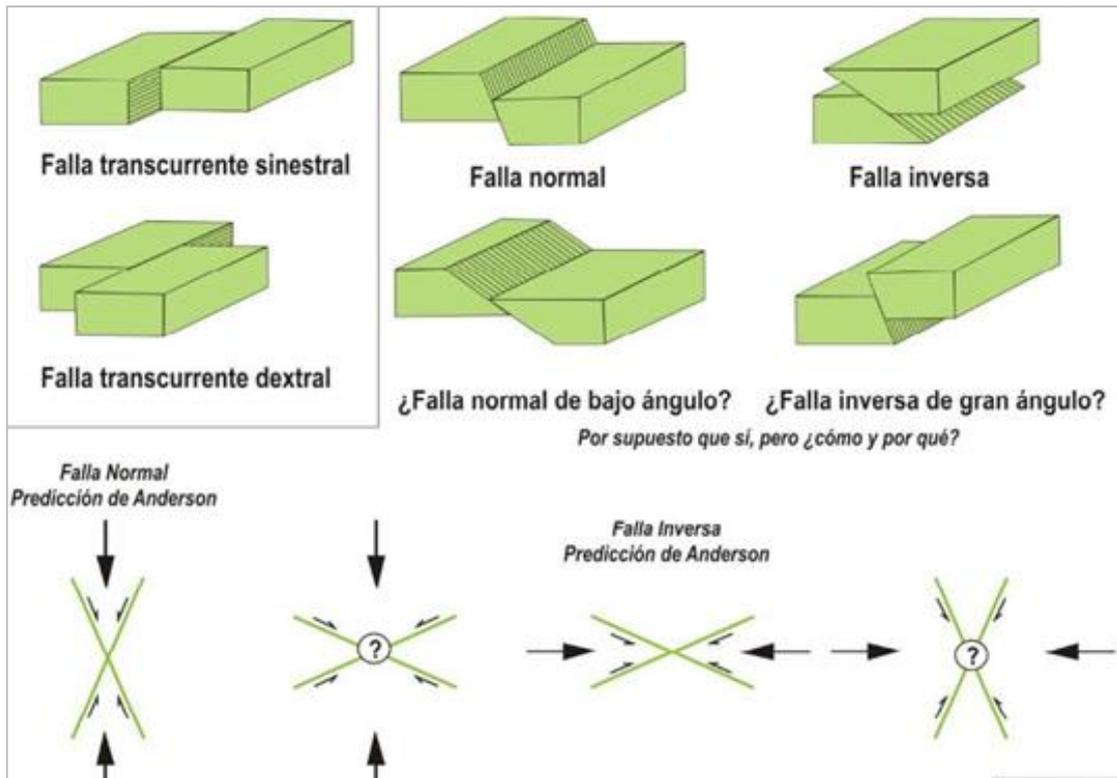


Figura 6: Zonas de extensión y compresión para el modelo de Anderson (1951).

2.2.3.1 Análisis cinemático de fallas

El hablar de análisis cinemático consiste en determinar el sentido de movimiento de fallas, ya sea transcurrente, normal o inverso, a través de la interpretación de los indicadores cinemáticos, que son estructuras asociadas a las estrías en el plano de falla, denominadas “tectoglifos”.

Las fallas son sumamente importantes, debido a que influyen en la depositación de minerales y geometría de un yacimiento (si estas se encuentren activas durante la circulación de fluidos mineralizantes) o cambian la geometría inicial del yacimiento (si son posteriores al evento mineralizante). Por lo tanto, es de gran importancia conocer los diferentes modelos de fracturación y la cinemática de fallas, para entender los estilos de deformación espacial y temporal a los que está sujeto un determinado yacimiento; de manera que pueda ser una guía para la exploración (Macharé, 2001).

2.2.3.2 Indicadores Cinemáticos

Los indicadores cinemáticos o también conocidos como tectoglifos son estructuras pequeñas (milimétricas a métricas), asociadas a fallas, desarrolladas en un medio frágil. Se emplean para determinar el sentido de movimiento del bloque faltante sobre un plano de falla.

En la Figura 7, se muestran los principales indicadores cinemáticos empleados para definir el sentido de movimiento de una falla. A continuación, se describen las características más resaltantes de cada uno de ellos.

- a. **Elemento estriador al cabo de la estría.** Este puede ser un fragmento de roca.
- b. **Material triturado al cabo de la estría.** Está constituido por material arrancado del plano de falla y depositado a un extremo de la estría.
- c. **Banqueta al cabo de la estría.** El material arrancado del plano de falla es acumulado al extremo de la estría en forma de un pequeño promontorio.
- d. **Escama de arrastre.** El material arrancado del plano de falla es depositado al extremo de la estría en forma de una escama.
- e. **Nichos de arranque.** Se presentan como microdeslizamientos.
- f. **Escama de arranque.** Las estrías tienen uno de sus extremos levantados, arrancando material del plano de falla y dejando como resultado una superficie irregular.
- g. **Colas de mineral.** Se muestra con presencia de minerales a un extremo de las estrías y al lado opuesto se tiene polvo de mineral a manera de microbandas.
- h. **Lomos al abrigo.** Durante el desplazamiento relativo de bloques, el material arrancado del plano de falla se deposita en forma de lomas y es protegido por el elemento estriador endentado.
- i. **Planos ondulados.** Según sea el movimiento, los planos de falla ondulados presentan facetas estriadas y lustradas o no estriadas y con presencia de óxidos. El sentido de movimiento, será determinado por la orientación de las facetas estriadas.
- j. **Cristalización al abrigo.** Dentro de las estrías se producen ciertos desniveles y se produce el crecimiento de minerales como el cuarzo, calcita, zeolitas o sulfatos, en la dirección del movimiento.

- k. **Fallas de Ridel R1.** Se producen por esfuerzos de cizalla en la proximidad del plano de falla. Las R1 forman un ángulo de 15° a 20° con el plano de falla principal y son sintéticas (movimiento en el mismo sentido que la falla mayor).
- l. **Fallas de Ridel R2.** Al igual que las R1, se producen por esfuerzos de cizalla en la proximidad del plano de falla. Las fallas R2 forman un ángulo de 70° a 80° con el plano de falla principal y son antitéticas.
- m. **Lúnulas de tracción.** Son fracturas abiertas algunas veces a manera de semi- círculos. La superficie de fractura es irregular y no presenta estrías. Forman un ángulo entre 30° y 40° con el plano de falla principal. La dirección de buzamiento de las fracturas o la parte cóncava de los semi-círculos nos indican el sentido de movimiento.
- n. **Lenticulaciones.** Son los únicos que se generan en un medio dúctil. Son Microestructuras penetrativas con planos curviplanares que determinan la deformación de las rocas en lentes. Las orientaciones de las lenticulaciones determinan el sentido de movimiento de la falla principal.

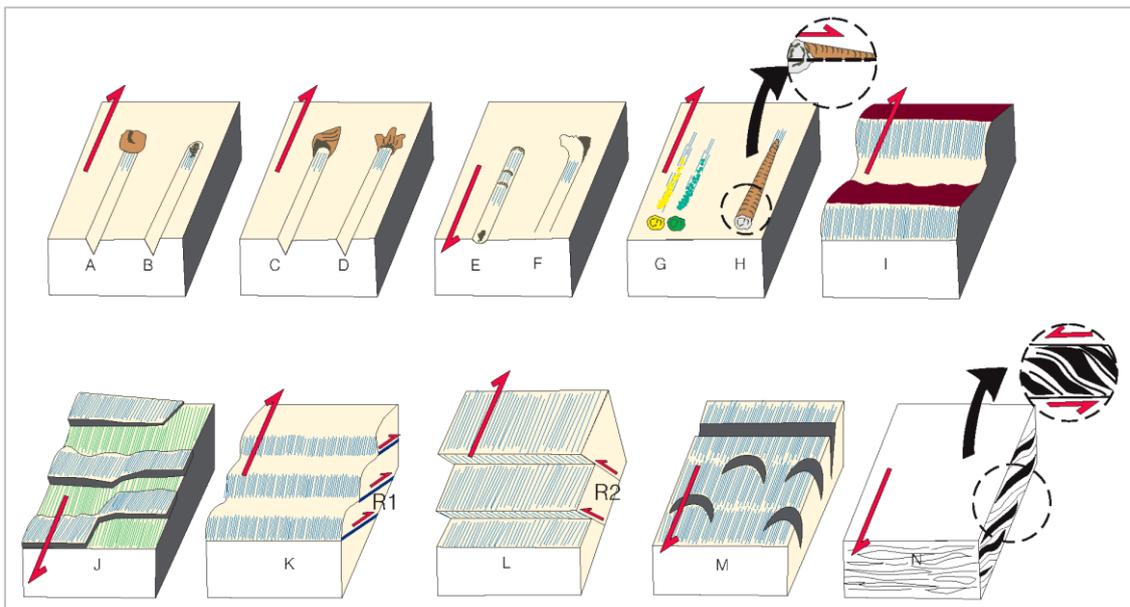


Figura 7: Indicadores cinemáticos para determinar el sentido de movimiento de fallas A) Elemento estriador al cabo de la estría, B) Material triturado al cabo de la estría, C) Banqueta al cabo de la estría, D) Escama de arrastre, E) Nichos de arranque, F) Escama de arranque, G) Colas de mineral, H) Lomos al abrigo, I) Planos ondulados, J) Cristalización al abrigo, K y L) Fallas de Ridel, M) Lúnulas de tracción, N) Lenticulaciones. (Modificado de Macharé, 2001).

2.2.3.3 Modelos de fracturación

La fracturación es considerada, como una deformación continua debido a la acción de los esfuerzos σ_1 , σ_2 y σ_3 . Los modelos de fracturación conocidos han sido desarrollados a partir de observaciones múltiples durante ensayos de mecánica de rocas o en zonas cizallantes naturales.

a. Modelo de Cizalla

Existen tres sets de fracturas que pueden desarrollarse en una zona de falla. Estas son las denominadas fracturas de Riedel (R) 1 y 2, las fracturas R y las fracturas P. Los planos sintéticos R1 se forman a un ángulo agudo de 15° con la envolvente general de la zona de falla. Su arreglo geométrico es en echelon, es decir, paralelas, pero desfasadas entre ellas dentro de la zona de falla. Las fracturas antitéticas R2 son conjugadas con respecto a R1 y forman un ángulo de unos 75° con respecto a la envolvente de la zona de falla. Debido a la evolución dinámica de la zona de falla se producen ciertos fenómenos que pueden llevar a la rotación de los sets R1 y R2. Por otra parte, durante esta evolución puede aparecer un tercer set de fracturas, esto es, los planos P, formando un ángulo agudo con la envolvente (Cloos, 1928).

Por lo expuesto en el modelo descrito, las fracturas tensionales asociadas a cizallamiento son muy importantes, ya que son las más favorables para albergar mineralización, ocurren a diferentes escalas y pueden adoptar geometrías complejas. Por ello, entender su génesis y los estilos de deformación asociados es de vital importancia (Sibson, 1987).

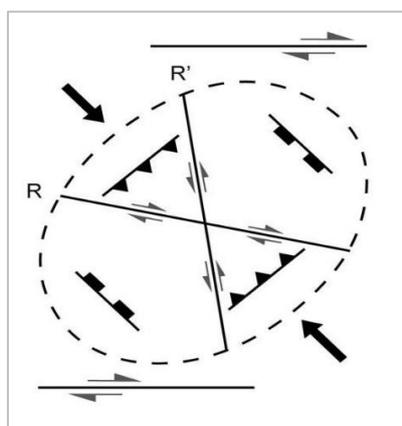


Figura 8: Vista en planta del modelo de cizalla de Ramsay (1967) en el que se aprecia entre las relaciones geométricas de los planos de riedel (R) y el fallamiento principal de cinemática dextral.

b. Zonas de transtensión o transpresión

El régimen transpresión y transtensión corresponden a los estadios finales de los fenómenos de convergencia, extensión y transcurrencia. Dos placas hipotéticas se mueven la una con respecto a la otra, una de ellas está incluida octagonalmente en la otra. A lo largo de los diferentes lados del octágono, coexisten los diferentes regímenes tectónicos. Tanto la transpresión como la transtensión se exponen con la transcurrencia; sin embargo, la transpresión se relaciona con la convergencia y la transtensión con la extensión (Harland, 1971).

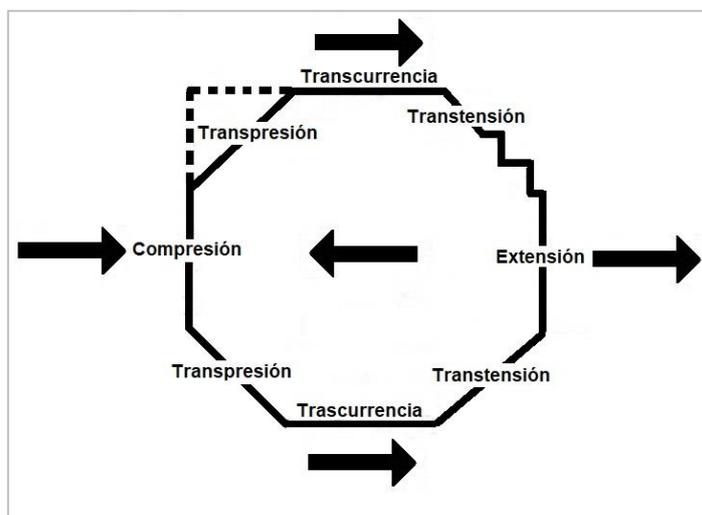


Figura 9: Fenómeno de transpresión y transtensión en un escenario de fallas transcurrentes. (Harland, 1971).

2.2.4. Zonas favorables para la mineralización

2.2.4.1 Dúplex y estructuras en flor

La presencia de inflexiones y saltos a lo largo de una falla promueve la formación de estructuras denominadas dúplex (Woodcox y Fischer, 1986). Las rocas que se encuentran dentro de la zona de influencia de una inflexión o salto se pueden fallar progresivamente (fallas menores paralelas a la dirección de la inflexión) generando sistemas imbricados con relación a la falla principal. Por otra parte, en el caso de fallas de traza recta, la formación de un dúplex puede originarse a través del desarrollo de fracturas de Riedel.

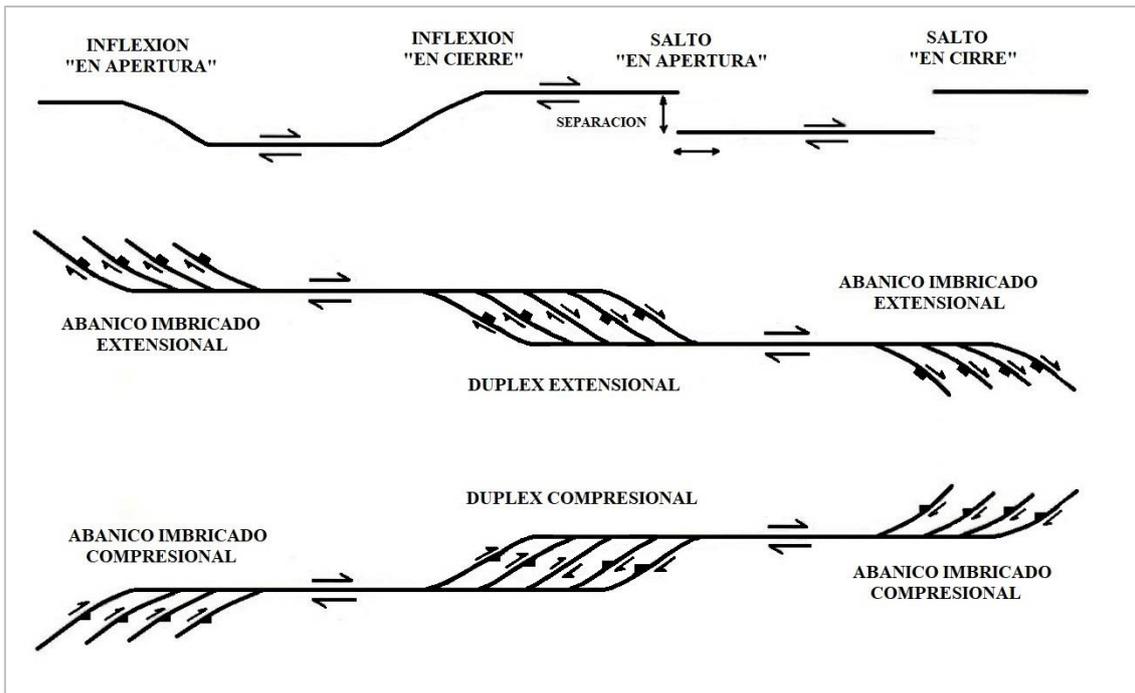


Figura 10: Inflexiones, saltos, abanicos imbricados y dúplexes en sistemas transcurrentes. (Woodcock y Fischer, 1986).

Así en los dúplex extensionales asociados a fallas transcurrentes se formarán hundimientos, y en los compresionales, levantamientos. Estas son unas de las estructuras más notables derivadas son las denominadas flores positivas y flores negativas (Woodcock y Fischer, 1986).

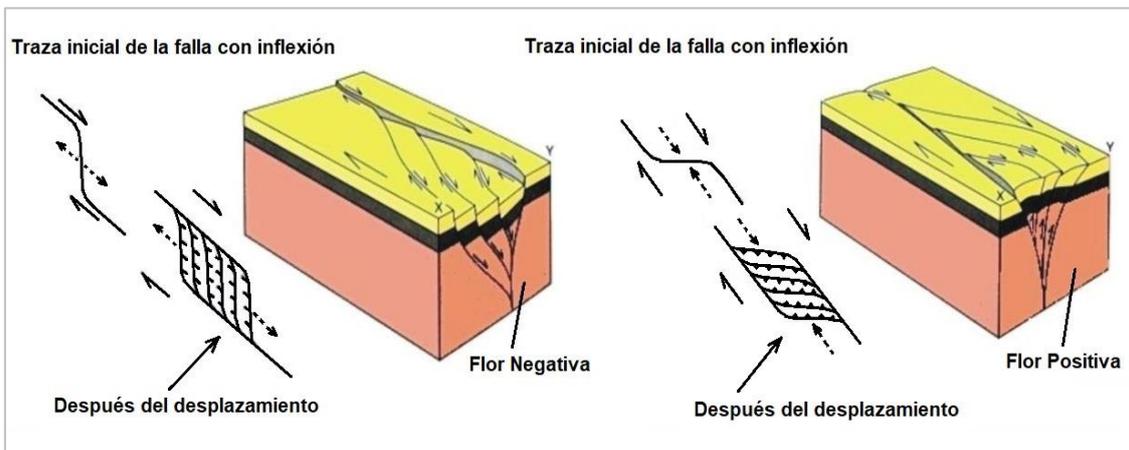


Figura 11: Desarrollo de un dúplex en extensión y compresión con estructuras tipo flor negativa y positiva (Woodcock y Fischer, 1986).

2.2.4.2 Sistema tipo bomba de succión

Es aplicable a las mineralizaciones hidrotermales, donde las condiciones son básicamente hidrostáticas y activadas por rupturas sísmicas.

La zona afectada incrementa su porosidad (fractura) durante cada movimiento de la falla. Este incremento causa una reducción transitoria en la presión del fluido local, lo cual succiona fluido hacia la zona afectada (zonas de alta permeabilidad). Las estructuras a rellenar son típicamente extensionales.

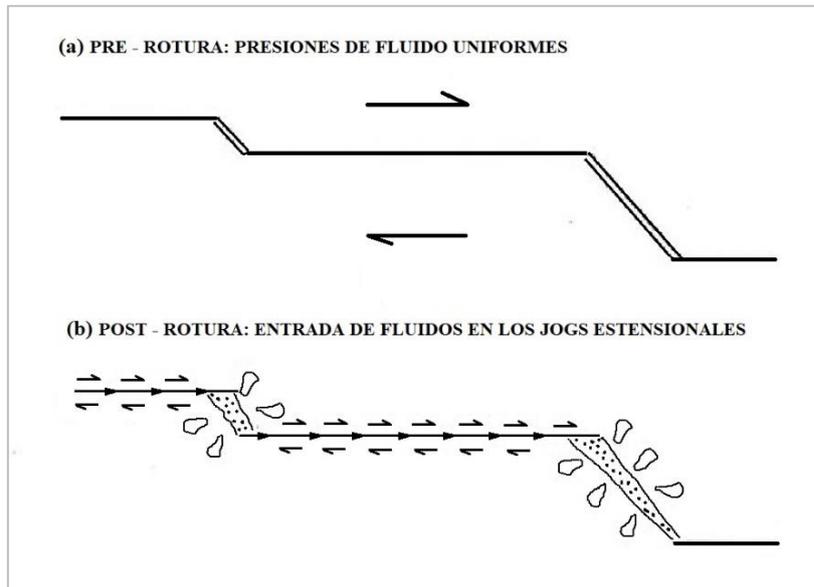


Figura 12: Sistema tipo bomba de succión. Apertura forzada (sísmicamente) de una falla con movimiento dextral. A: Pre-ruptura, presiones de fluido uniformes; B: Post-ruptura, inyección de fluidos a los jogs extensionales. (Sibson, 1990).

2.2.4.3 Clasificación de Angelier (1994)

Clasificación de Angelier (1994), usando el buzamiento (eje X) y el pitch (eje Y), clasifica a las fallas en cuatro grupos: fallas de desgarre, fallas de deslizamiento oblicuo (dextrales o sinestrales), fallas de deslizamiento oblicuo (normales o inversas), fallas normales o inversas.

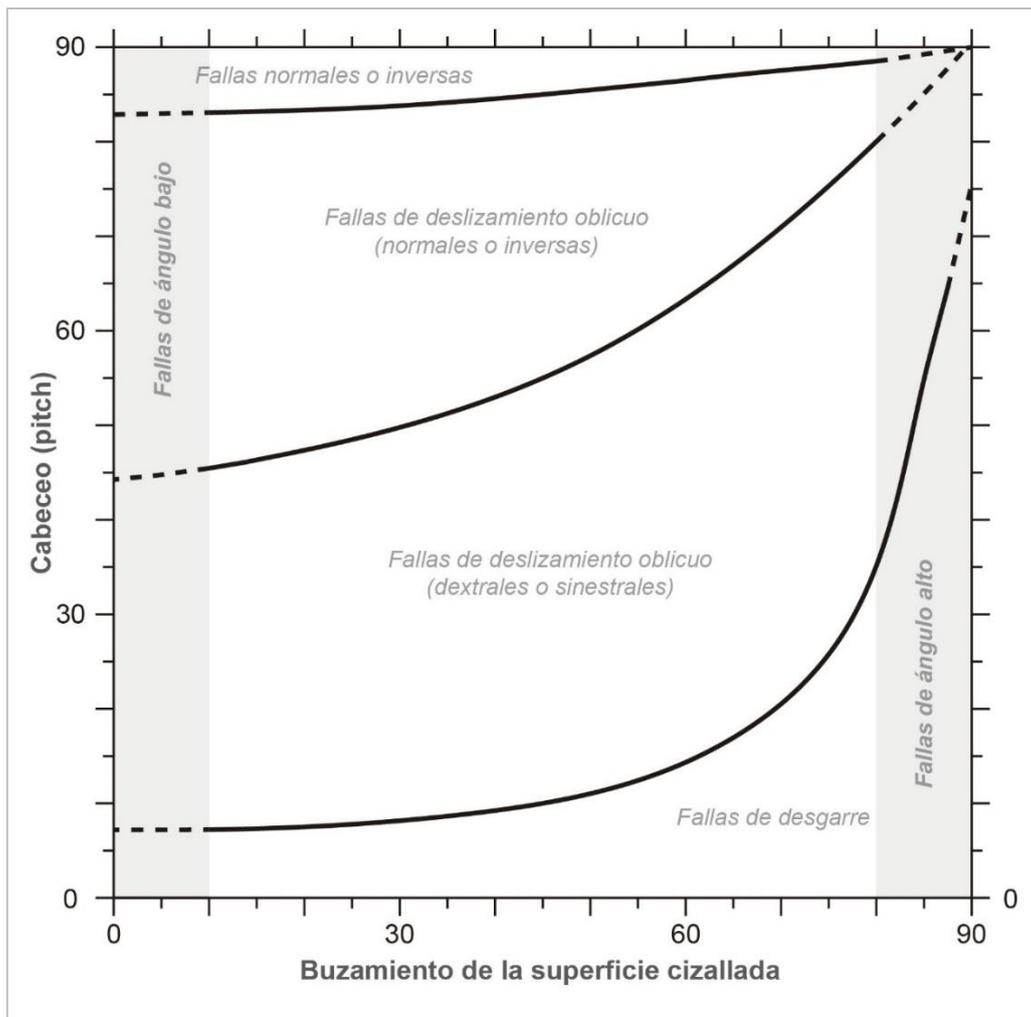


Figura 13: La figura muestra la relación entre el ángulo de buzamiento y pitch, para la clasificación cinemática de las fallas. (Angelier, 1994).

2.2.4.4 Método de los diedros rectos

Este método consiste en el análisis poblacional de fallas que forma una falla representativa cuando se nueve, el propio plano perpendicular a la orientación del movimiento relativo entre los dos labios de la falla, representada por la estría de fricción, dividen el espacio en cuatro cuadrantes (Figura 14 y 15). Según sea el movimiento, estos diedros rectos quedaran en modo alterno en compresión y en tensión (gráficas de P&T) (De Vicente et al., 1992).

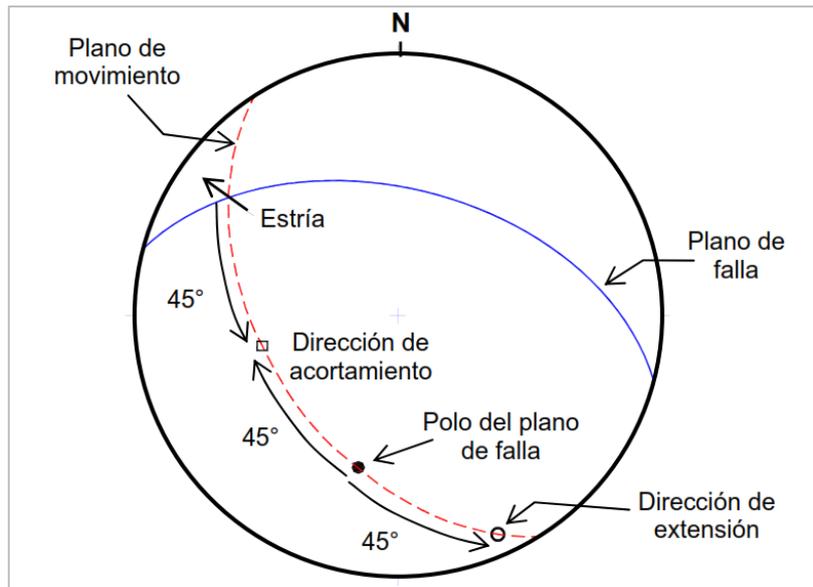


Figura 14: Metodología de los diedros rectos para determinación de las direcciones de compresión y extensión. El caso de una falla normal (Pérez, 2010).

Para el caso de una falla normal (Figura 15b), sobre el plano de movimiento entre el polo de la falla y la estría (a 45° de ambos), se ubica la posición del eje P o dirección de acortamiento y a 45° del polo del plano de falla, en el otro cuadrante, el eje T o dirección de extensión. La posición de los ejes de acortamiento P y extensión T, se invierten en el caso de una falla inversa como se muestra en la Figura 15a.

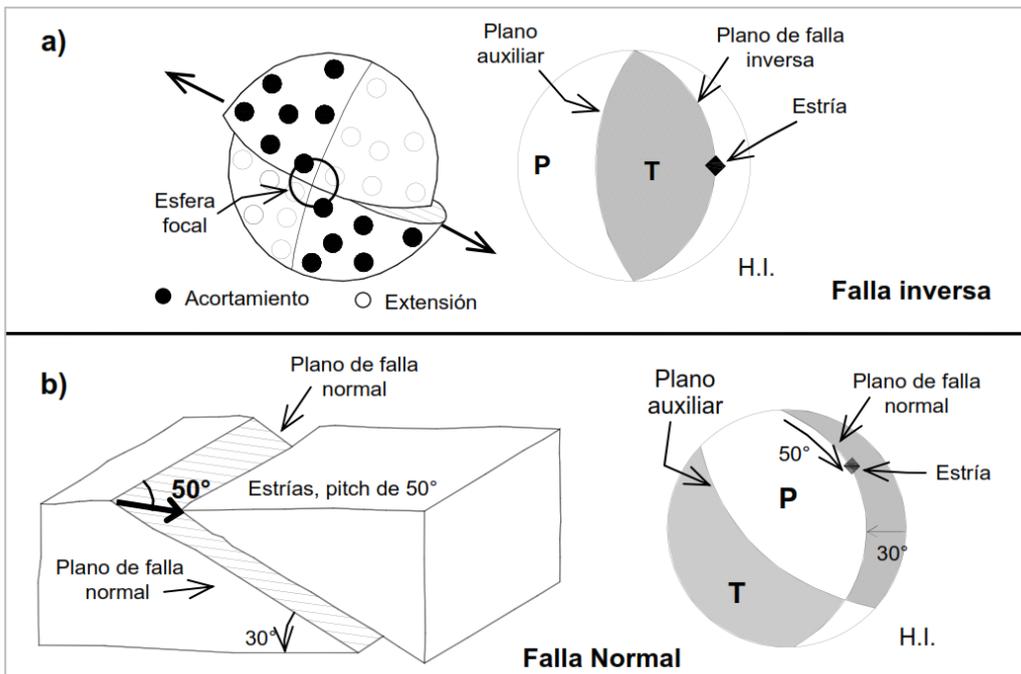


Figura 15: Construcción de la gráfica de mecanismo focal (P&T). a) típica de falla inversa utilizando la esfera focal, con la definición de los campos de extensión (T) y acortamiento (P). b) Típica de falla normal con componente lateral indicada por las estrías (Cox y Bryan, 1986).

2.2.4.5 Deformación homogénea y heterogénea

La representación de los ejes P y los ejes T, es posible determinar si el campo de deformación de esfuerzos es homogéneo o heterogéneo, dependiendo de si hay o no variación en la distribución espacial o temporal del campo de esfuerzos. La deformación es homogénea cuando no presenta variación de los ejes P y T, formando un cluster (Figura 16a). Mientras que, en una deformación heterogénea los ejes se muestran dispersos, indicando variaciones en la deformación, formando más de dos cluster (Figura 16b). Sólo cuando la deformación es homogénea es posible utilizar el método de los diedros o pelota de playa (diagrama solución), ya que al tener una deformación heterogénea cualquier interpretación que se realice carece de sentido geológico, debido a la superposición de más de un estado de esfuerzo, variaciones de la superficie de falla y rotaciones.

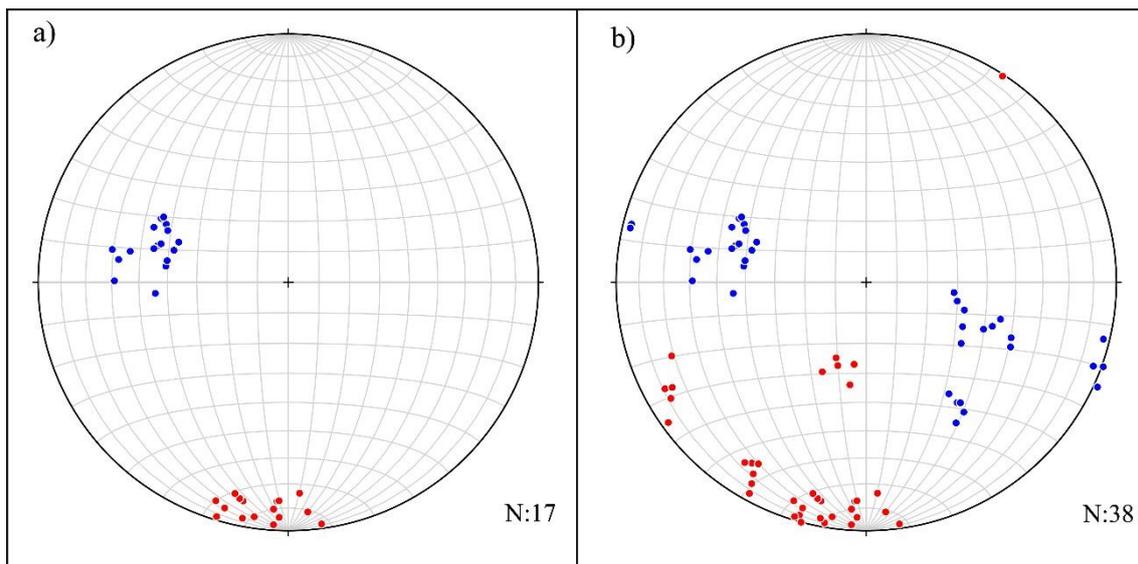


Figura 16: a) deformación homogénea. b) deformación heterogénea. Ejes P (Azul) y ejes T (rojo).

Las variaciones de los ejes P y T se puede agrupar formando clusters (Figura 17) mediante el software Orient 3.7.1 (Vollmer, 2015 y 2018) con la función Clúster Análisis y poder analizar estas variaciones de los esfuerzos.

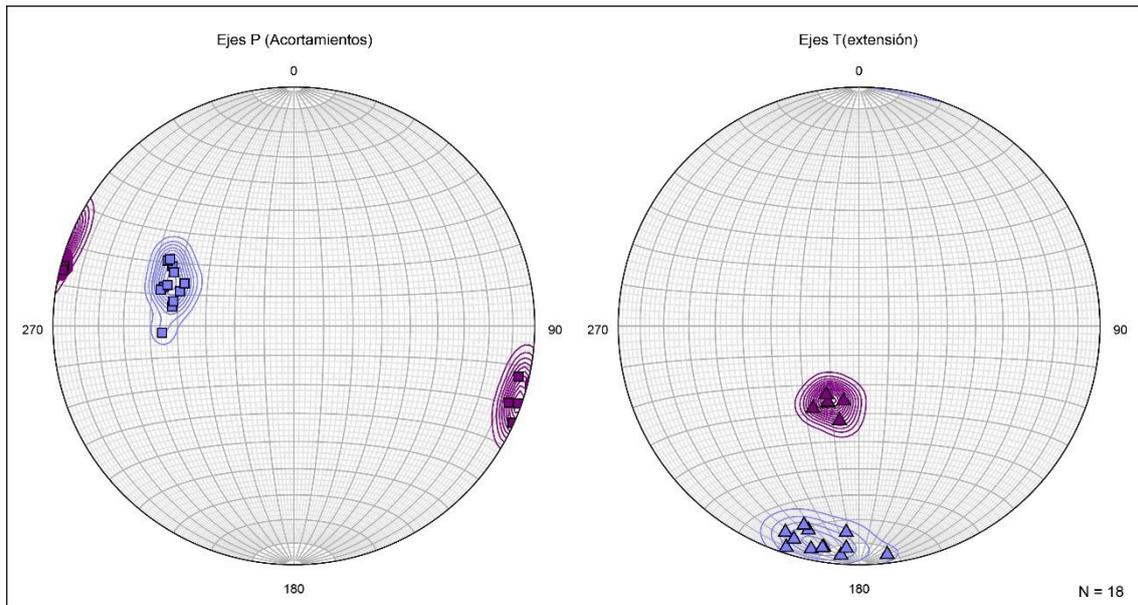


Figura 17: Los ejes P y T presentan dos clusters (Azul y morado).

Para realizar el análisis de datos heterogéneos, que es lo común que ocurre en la naturaleza y en la zona de estudio (Variación significativa de las superficies de fallas y rotaciones) se utilizó el Método de Inversión Múltiple por medio del software MIM (Yamaji, 2000), que es una metodología que toma en cuenta esas variables y genera resultados confiables.

Este programa requiere la orientación de cada falla, de sus estrías (trend y plunge), su sentido de movimiento y un valor k. El valor k corresponde a un número entero entre 3 y 8 que representa el número de fallas que conformaran un subgrupo. En base a estos datos el software entrega un valor de σ_1 y σ_3 para cada subconjunto de fallas. En este trabajo se utiliza preferentemente el valor $k=4$, recomendado por el autor (Yamaji, 2000). Como resultado se obtiene una figura con dos estereogramas sigma 1 y sigma 3 (Figura 18). En ambos se observan una serie de cuadrados con “cola” de distintos colores, que representan los esfuerzos principales obtenidos de la iteración de cada subgrupo de fallas. La dirección de la cola indica la ubicación relativa de su par asociado en el otro hemisferio, mientras que su longitud es inversamente proporcional al plunge de su par. El color representa el valor de $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$, el cual va de 0 a 1, desde colores fríos a colores cálidos.

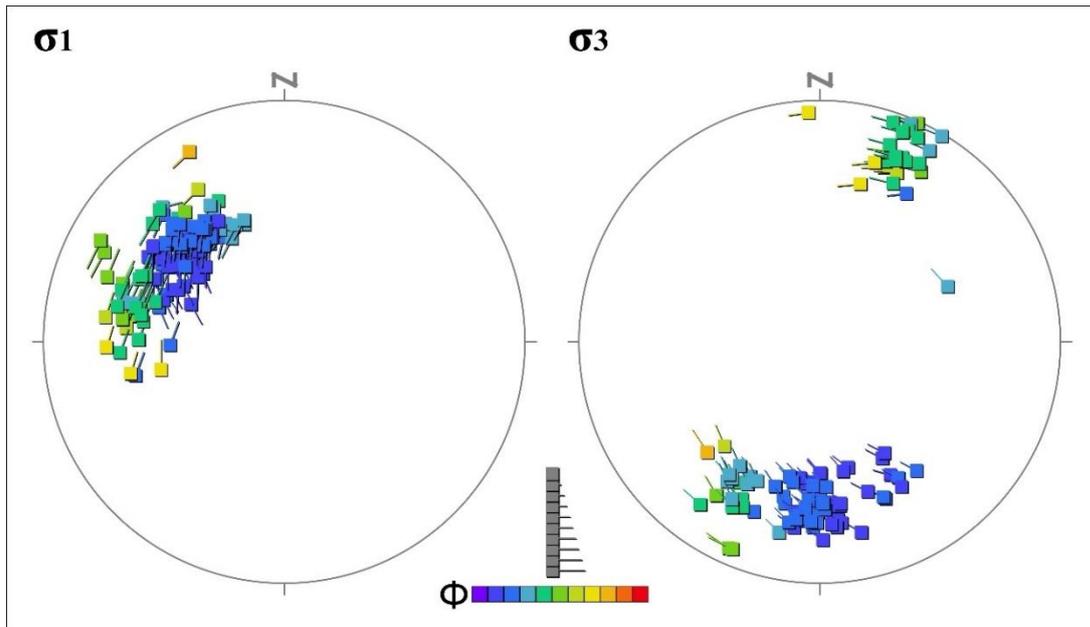


Figura 18: En la figura se muestra dos estereogramas con una serie de cuadrados con “cola” de distintos colores, que representan los esfuerzos principales, σ_1 y σ_3 respectivamente.

Dependiendo del valor de Φ en una zona de rumbo (Strike -Slip), como es en este caso de estudio, se podría tener un régimen transpresional o transtensional (Ritz, 1994). A $\Phi > 0.55$ representa un régimen tectónico transtensional, $\Phi < 0.45$ representa un régimen tectónico transpresional y $0.45 < \Phi < 0.55$ representa un régimen tectónico de rumbo dominado por cizallamiento simple, figura 19. (ver discusión detallada sobre la interpretación del valor Φ en Bellier y Zoback, 1995; Siame y Bellier, 2005).

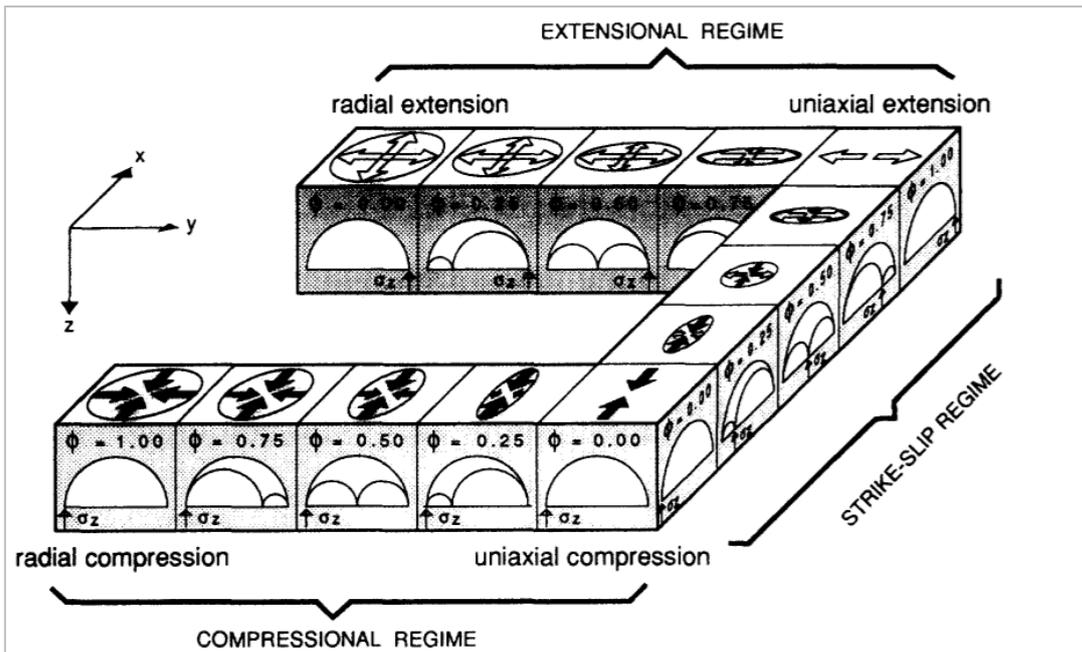


Figura 19: Clasificación de régimen tectónico. Tomado de Ritz (1994).

Si todos los ejes de esfuerzos de cada subgrupo se concentran formando cluster, significa que las fallas fueron afectadas por un único estado de esfuerzo y por lo tanto son homogéneas. En cambio, si se grafican distintos clusters, los datos reflejan más de un régimen de esfuerzo.

2.3. Definición de Términos Básicos

Depósito Mineral: es una ocurrencia mineral (concentración anómala de un mineral o elemento metálico) de tamaño (volumen) y ley suficiente para que, en circunstancias favorables, sea considerado con potencial económico (Dávila, 2011).

Yacimiento Mineral: Concentración local de una o más sustancias minerales útiles y de un valor económico. Incluye por lo tanto a los minerales, a las sustancias naturales, así como también a los fósiles (carbón, petróleo, gas natural) (Dávila, 2011).

Depósito Mesotermal: Los depósitos mesotermales comprenden yacimientos formados a moderadas presiones y temperaturas, se les asigna una temperatura de formación según Lindgren de 175 a 300°C. Generalmente están asociados estos depósitos con rocas ígneas intrusivas que varían entre acidas (silíceas),

básicas (maficas) e intermedias. Los cuerpos intrusivos pueden ser batolitos, lacolitos o cupulas.

Mineralización: Proceso mediante el cual los minerales son introducidos en la roca, dando como resultado la formación de yacimientos minerales de un valor económico (Dávila, 2011).

Hidrotermal: Significa aguas calientes. Pueden ser profundas circulaciones de aguas subterráneas calientes por gradiente geotérmico o aguas provenientes de actividad ígnea (Stanton, 1972).

Alteración Hidrotermal: Respuesta mineralógica textural y química de las rocas a cambios fisicoquímicos y termodinámicos de los fluidos hidrotermales. (Maksaev, 2001).

Falla: Se trata de una fractura frágil en una roca, donde se ha producido desplazamiento a lo largo de la superficie de dicha fractura. (Oyarzún, 2013).

Zona de Falla: Se trata de una estructura frágil compuesta por innumerables planos de falla, sub-paralelos o marcadamente oblicuos entre sí, interconectados, y estrechamente espaciados. En algunos sectores la zona de falla puede contener relleno o harina de falla, que evidencia el movimiento y obviamente no permitirán observar dichos planos interconectados. (Oyarzún, 2013).

Control litológico y estructural: 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 minerales es esencial determinar el control ejercido por la litología (control litológico) y por las estructuras (control estructural) para la formación de la mineralización económica. De igual manera, ambos controles influyen en la distribución de los cuerpos mineralizados a escala local, regional y de franjas minerales a escala continental. Por lo tanto, son factores claves en la exploración geológica y minera (Oyarzún, 2009).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Aspectos Generales de la Investigación

3.1.1. Ubicación Política

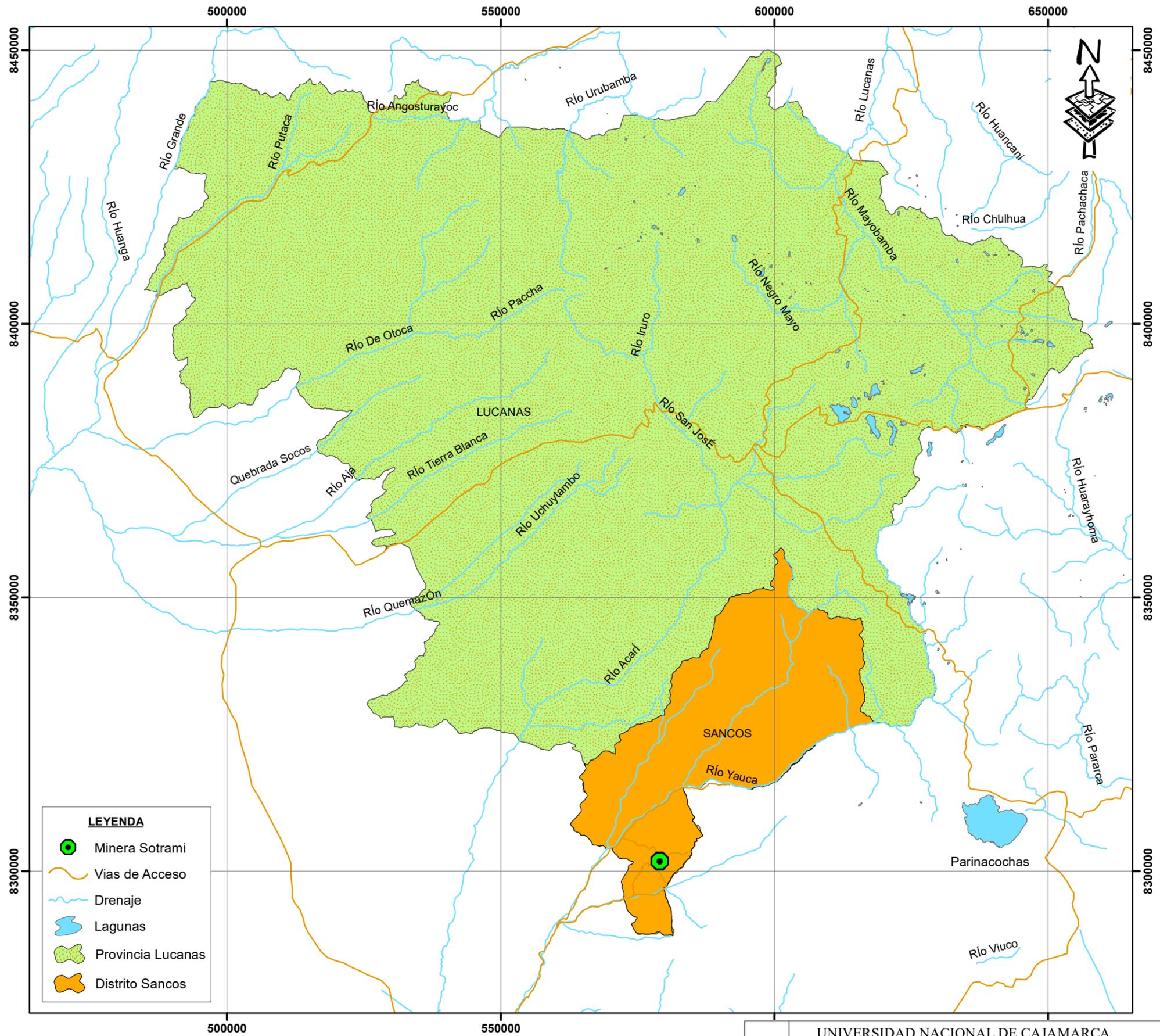
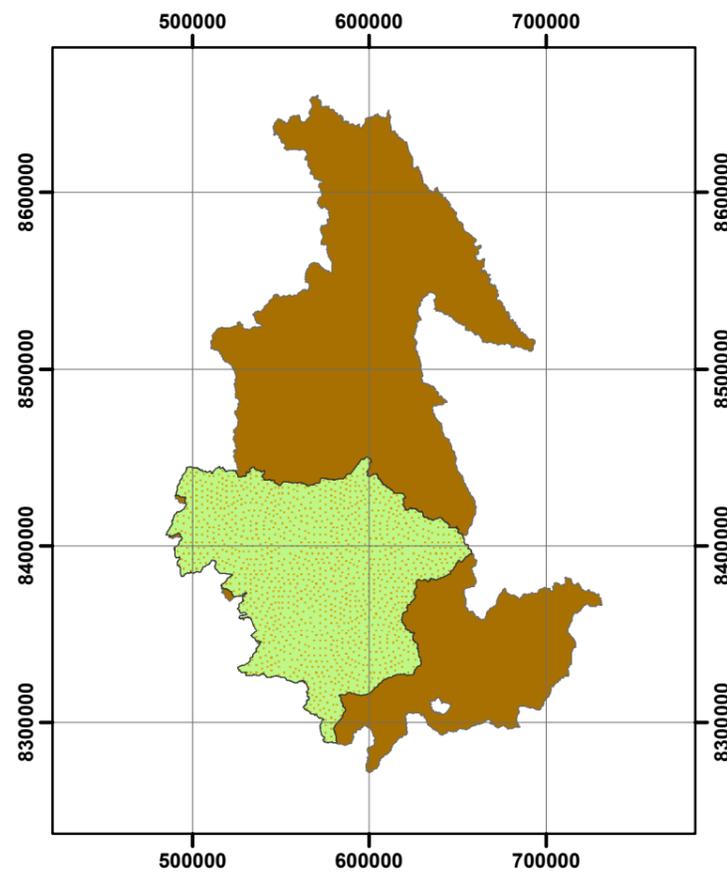
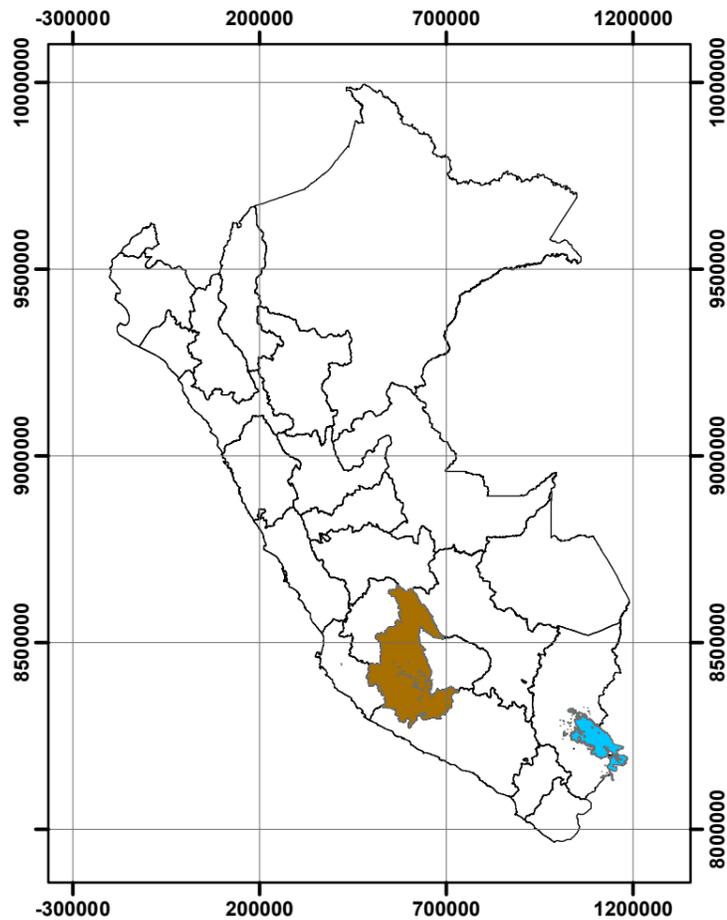
La unidad minera Santa Filomena se encuentra a una altitud de 2400msnm, ubicada políticamente en la región de Ayacucho, provincia de Lucanas, distrito de Sancos y Centro Poblado de Santa Filomena.

3.1.2. Ubicación Geográfica

La ubicación geográfica del proyecto Santa Filomena comprende dos concesiones mineras: concesión Santa Filomena, la cual cubre una extensión de 1000.00 hectáreas y concesión Victoria 100 con una extensión de 374.47 hectáreas.

Tabla 1: Sistema UTM. DATUM WGS-84 concesión Santa Filomena.

CONCESIÓN SANTA FILOMENA			CONCESIÓN VICTORIA 100		
VÉRTICES	ESTE (Longitud)	NORTE (Latitud)	VÉRTICES	ESTE (Longitud)	NORTE (Latitud)
1	576000	8303000	1	580349.95	8301314.75
2	579000	8303000	2	579358.31	8300190.73
3	579000	8304000	3	577484.97	8301843.54
4	581000	8304000	4	578476.60	8302967.55
5	581000	8301000			
6	578000	8301000			
7	578000	8302000			
8	576000	8302000			



- LEYENDA**
-  Minera Sotrami
 -  Vias de Acceso
 -  Drenaje
 -  Lagunas
 -  Provincia Lucanas
 -  Distrito Sancos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
PLANO DE UBICACIÓN	Escala: 1/750,000	PLANO:
Asesor: Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique	Datum: WGS-84	01
Tesisista: Pedro Moises Machuca Cabrera	Fecha: Mayo 2021	

3.1.3. Accesibilidad

Para acceder a la unidad Santa Filomena a partir de la ciudad de Lima es un total de 9 horas y media en bus, las principales vías de acceso se detallan a continuación (ver tabla 2).

Tabla 2: Acceso a la Unidad Minera Santa Filomena, vía terrestre.

TRAMO	DISTANCIA	TIPO DE VIA	TIEMPO
Lima - Yauca	680Km	Asfaltada	8 horas
Yauca - Jaquí	25Km	Asfaltada	0.3 horas
Jaquí - Laytaruma	12Km	Afirmada	0.2 horas
Laytaruma - Filomena	13Km	Afirmada	1 hora
TOTAL	730Km		9.5 horas

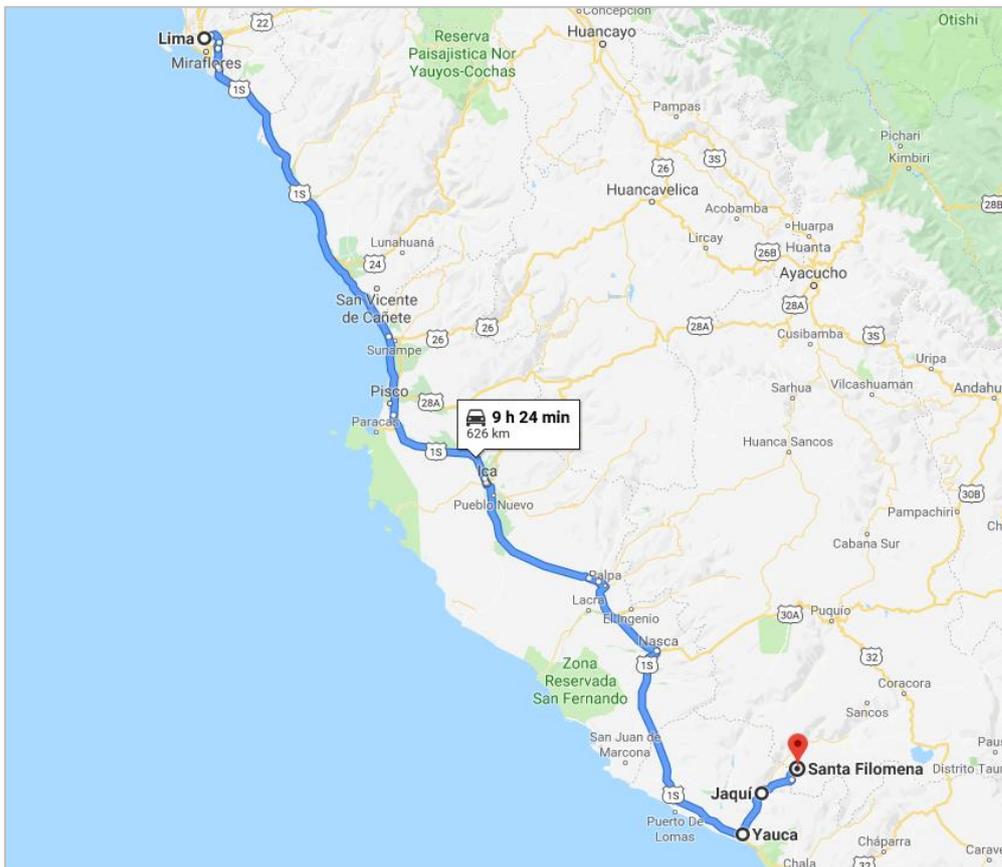


Figura 20: Accesibilidad a mina Santa Filomena.

3.1.4. Clima

El clima de Sancos es un clima estepa local. A lo largo del año se presentan pocas precipitaciones. Este clima es considerado BSk según la clasificación climática de Köppen (BS). La temperatura promedio en Sancos es 12.7 °C. Entre

los meses más secos y más húmedos, la diferencia en las precipitaciones es 96 mm. Las temperaturas medias varían durante el año en un 3.9°C.

El clima en la concesión minera de “Santa Filomena se caracteriza por ser árido a templado, con temperaturas medias anuales que fluctúan entre 16°C y 28°C; la zona es carente de lluvias por lo que se tiene una precipitación media anual de 2.1mm. Presentando los siguientes comportamientos durante el año: de diciembre a marzo, época en donde garúa con poca precipitación con temperaturas que fluctúan entre 17 °C y 25 °C, de abril a julio, días con ligera sensación de frío que llegan a temperaturas entre 15 °C y 22 °C (SENAMHI, 2021).

3.1.5. Vegetación

El distrito presenta gran diversidad ecológica, en este lugar la vegetación natural está dada por el “ichu”, entre otras especies como la retama, el aliso, el mutuy, la tara, la cantuta, la cabuya, sauco, molle, eucalipto, pino y ciprés, así como varios tipos de cactáceas como la tuna, el sanqui, la jacana, el huyo.

3.1.6. Historia del Yacimiento Minero

La unidad minera Santa Filomena se encuentra dentro del corredor aurífero de vetas angostas, donde las actividades mineras se remontan a la época colonial, con la realización de cateos, trincheras y pequeñas labores mineras subterráneas desarrolladas en las vetas, a continuación, se describe el historial de la mina:

Inicialmente fue explorada y trabajada por la compañía San Luis Gold Mines Company y formaba parte del grupo de minas auríferas Santa Rosa-San Luis. (Boletín N° 4 serie E - Ingemmet).

Posteriormente los mineros artesanales de la zona se asociaron a partir de relaciones de confianza y parentesco, en grupos de 5, 10 y 15 personas, quienes trabajaban en faenas y/o campañas, formando pequeñas asociaciones mineras y tenían delimitadas sus respectivas áreas de explotación de oro.

En el año 1991 se fundó un comité de defensa para lograr la permanencia de los mineros en la zona, constituyendo la empresa Sotrami (Sociedad de

Trabajadores Mineros), con la finalidad de obtener una concesión, logrando el reconocimiento de propiedad minera de 1000.00 hectáreas.

El 26 de junio de 2004 se inauguró la primera planta de procesamiento de oro a pequeña escala en Santa Filomena, donde participó la ministra de la Mujer declarando a este asentamiento “la primera comunidad minera completamente libre de trabajo infantil en el Perú”.

Minera Sotrami SA, está conformado por 166 socios y genera empleo directo en promedio para 700 personas con todos los beneficios de ley.

Actualmente la minera SOTRAMI S.A, tiene sus operaciones subterráneas en la mina Santa Filomena y Santa Rosa, cuyas reservas asciende a 120,440.00 TMS. con leyes de 0.504 (Oz/Tc) Au y 1.060 (Oz/Tc) Ag y recursos medido e indicados asciende a 586,280.00 TMS con leyes de 0.74 (Oz/Tc) Au y 1.52 (Oz/Tc) Ag. Cuenta con una planta de tratamiento para 150 TM por día y actualmente trata 120 TM de mineral oxidado por día con ley de cabeza 0.60 (Oz/Tc) Au.

El producto final es el oro Bullion 80% de Au y 20% de Ag, es exportado directamente a la empresa Argor Suiza. Asimismo, Sotrami S.A cuenta con la certificación RJC (El Consejo de Joyería Responsable), que es un miembro de la Alianza ISEAL - la asociación mundial de estándares de sostenibilidad quienes promueven los derechos humanos, las prácticas responsables éticas, sociales y ambientales de una manera transparente y responsable en toda la industria de la joyería desde la mina hasta el comprador minorista.

3.1.7. Propiedad Minera

El proyecto Santa Filomena comprende dos concesiones mineras: concesión Santa Filomena, la cual cubre una extensión de 1000.00 hectáreas y concesión Victoria 100 con una extensión de 374.47 hectáreas. (Ver plano 2).

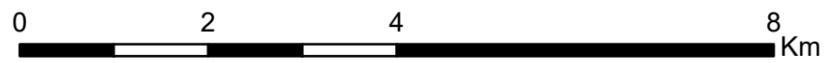
Tabla 3: Concesión Minera: Santa Filomena y Victoria 100.

CÓDIGO	CONCESIÓN	TITULAR	ÁREA Has.	ESTADO
10028492	Santa Filomena	Sotrami S.A.	1,000.00	Vigente
10011488X01	Victoria 100	Sotrami S.A.	374.47	Vigente



PROPIEDAD

[Red dotted box]	MINERA SOTRAMI S.A.	[Green box]	JLA SERVICIOS MINEROS SAC
[Yellow box]	SOCIEDAD MINERA YERE S.R.L.	[Blue box]	MINERA 5 DE MARZO S.R.L.
[Light blue box]	EMAGROPEC S.A.C.	[Purple box]	MINERA ARTESANAL SAN LUIS S.A.
[Pink box]	EMPRESA MINERA AURIFERA RICO TESORO S.A.	[Light green box]	MINERA CAJA REAL S.A.C.
[Orange box]	EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.	[Dark green box]	MINERA CARRASCO'S SOCIEDAD ANONIMA
[Dark blue box]	EMPRESA MINERA GRANDE ES JEHOVA DIOS S.R.L.	[Light yellow box]	MINERA GACHOS S.A.C.
[Light pink box]	EMPRESA MINERA SAN LUIS II SOCIEDAD ANONIMA	[Dark red box]	S.M.R.L. DATTELI 6
[Light orange box]	EMPRESA MINERA SAN LUIS III S.A.	[Light brown box]	S.M.R.L. FILOMENA 100
[Cyan box]	GOLDEN RIVER RESOURCES S.A.C.	[Olive green box]	TECK PERU S.A.
[Brown box]	GREDAR S.A.C	[White box]	TERCEROS
[Dark green box]	INVERSIONES TROY S.A.C.		



REF: Hoja geológica 31-n (JAQUI) - INGEMMET

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
PLANO DE PROPIEDAD MINERA	Escala: 1/75,000	PLANO:
Asesor: Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique	Datum: WGS-84	02
Tesista: Pedro Moises Machuca Cabrera	Fecha: Mayo 2021	

3.2. Procedimientos

Como parte de la metodología de investigación fue necesario tomar en cuenta el método de recolección de datos y tipos de instrumentos que se utilizaron, para luego analizarlos e interpretarlos.

3.2.1. Etapa Preliminar de Gabinete

Corresponde a la recolección de documentos bibliográficos físicos y digitales que están relacionadas con el trabajo de investigación, como son los boletines publicados por el INGEMMET, textos relacionados al tema, trabajos de tesis, informes internos de la empresa, artículos de investigación, entre otros. controles de mineralización, estructuras geológicas y otros; lo cual permitirá determinar las limitaciones de la investigación y elaborar la presente investigación. Además, se adquirió imágenes satelitales de alta resolución, planos y levantamientos topográficos.

3.2.2. Etapa de Campo

Las estructuras reconocidas en superficie (vetas, fallas y diques) se cartografiaron a detalle a escala 1:500 y así sucesivamente fuimos descendiendo, cartografiando y analizando a escala 1:200, cada nivel hasta alcanzar el nivel más bajo de la mina en estudio.

Tomando en cuenta los levantamientos topográficos en interior mina realizamos los planos geológicos y estructurales, además de los ya existentes y correlacionamos toda la información obtenida desde superficie e interior mina por medio de secciones transversales. Formando así un compósito general de toda la mina.

Se tomaron estaciones estructurales (ver anexo 1 data estructural) en todos los niveles de la mina (8 niveles), datos de rumbo, buzamiento y pitch, fueron digitalizados en el Excel y se obtuvo una base de datos confiable. Posteriormente se procesó y analizó por el método de los diedros rectos en el software FaultKin 7 y el método de inversión múltiple en el software MIM.

3.2.3. Etapa de Análisis e Interpretación

La información recopilada de campo será interpretada y analizada en gabinete, para la construcción de los planos geológicos, planos estructurales, secciones longitudinales y transversales, permiten realizar la interpretación de los controles a los cuales se encuentra asociada la mineralización en el depósito.

Para determinar el control estructural será por medio del análisis geométrico y cinemático. El análisis geométrico utilizará la información del cartografiado geológico, planos geológicos y secciones transversales para comparar con modelos teóricos; el análisis cinemático utilizará la información de las estaciones estructurales para procesarlos con el software FaultKin 7 (Marrett y Allmendinger, 1990) y analizarlo por el método de diedros rectos. Además, se van a clasificar de manera general las fallas (Figura 13) según Angelier (1994), usando el buzamiento (eje X) y el pitch (eje Y).

3.3. Tipo y Diseño de Investigación

El trabajo de investigación es de tipo descriptivo porque se ha descrito de un modo sistemático las características de las fallas y del área de interés. Explicativo porque en base a la descripción se trató de dar una explicación de la ocurrencia de la mineralización y su relación con el control estructural. Correlacional porque se analizó los aspectos de mineralización y la geología estructural, con diseño no experimental debido a que no se manipularon deliberadamente los datos y trasversal en el tiempo porque se analizaron los datos recopilados en un determinado tiempo.

3.4. Población de Estudio

El sistema de vetas Santa Rosa, Unidad Santa Filomena, Minera SOTRAMI S.A. con longitudes: horizontal de 1Km., y vertical de 400m., en promedio.

3.5. Muestra

Litología, estructuras primarias y secundarias, y mineralización.

3.6. Unidad de Análisis

Tipo de roca intrusiva (diorita), tipo de fallas (normales, inversas y conjugadas) y características mineralógicas. (ver tabla 4).

3.7. Identificación de Variables

Las variables identificadas son la litología, las estructuras y la mineralización; la variable dependiente viene a ser el control estructural.

Tabla 4: Identificación, definición y operacionalización de variables.

Variable Dependiente	Definición conceptual	Variables Independientes	Definición conceptual	Indicadores
Control Estructural (tipo de estructuras: fallas, fracturas)	Es la influencia de las estructuras geológicas en la formación de yacimientos minerales.	Litología	La litología es la parte de la geología que estudia las características de las rocas.	Tipo de roca
		Estructuras	Contiene todas las estructuras geológicas desde fallas, discordancias, estructuras primarias y secundarias, vulcanismo, pliegues.	Fallas, Diaclasas
		Mineralización	Se da en dos procesos, como hipógena y supérgena.	Tipo de Mineralogía

3.8. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la recolección de información se usó la técnica observacional de forma indirecta y directa, la primera consistió en las revisiones de bibliografías, antecedentes y trabajos de gabinete y la segunda consistió en la recolección de datos estructurales que se realizó en los trabajos de campo. Finalmente se realizó el análisis e interpretación de resultados para alcanzar los objetivos planteados. Para el acopio de la información se realizó de la siguiente manera:

3.8.1. Cartografiado Geológico

Se realizará el cartografiado de las estructuras, litología y mineralización en superficie a escala 1/500 y en interior mina a escala 1/200; luego se realizará un compósito de todos los niveles para tener una vista general de todos los niveles.

3.8.2. Estaciones Estructurales

Se tomarán estaciones estructurales en superficie a lo largo de la estructura, en interior mina en los planos de falla principal y las estructuras secundarias. Estos

datos estructurales (rumbo, buzamiento, pitch) serán procesados en software para determinar la dirección del esfuerzo principal (σ_1).

3.8.3. Softwares Geológicos

Faultkin: Se utilizó para procesar y analizar las diferentes estaciones estructurales, el cual nos permitirá determinar las direcciones de los esfuerzos.

Orient: Se utilizó para diferenciar variaciones de los ejes P (acortamiento) y T (extensión), los cuales se pueden agrupar formando clusters.

MIM: Se utilizó para obtener estados de esfuerzos promedios coincidentes, los cuales tomará en cuenta las variaciones de los planos y posibles rotaciones. Este software es un complemento del Faultkin y usa el Método de Inversión Múltiple.

Stereonet: Se utilizó para generar diagramas de rosetas, graficando las orientaciones de los distintos planos.

ArcGIS: Se utilizó para confeccionar los planos geológicos y estructurales.

AutoCAD: Este software se utilizó para construir las diversas secciones transversales.

3.8.4. Equipos y Materiales

Los siguientes materiales han sido empleados en la presente tesis:

Laptop: para el procesamiento de datos y la ejecución del informe.

Imagen Satelital: Para cartografiar las estructuras en superficie.

Planos topográficos: Para cartografiar las estructuras en interior mina.

Protactor de escala 1/500 y 1/200: Para el cartografiado geológico a escala.

Porta hojas de aluminio: Para el realizar cartografiado.

Colores: Para cartografiar (dibujar las estructuras, la mineralogía y la litología)

Brújula brunton: Para tomar los datos estructurales como pitch, rumbo y buzamiento de las estructuras.

Picota: Para la toma de muestras de campo en estructuras tipo veta.

Lupa de 20X: Para la identificación física de los minerales (sistema cristalino)

Rayador: Para la identificación de los minerales (raya y dureza).

Navegador GPS: Para la ubicación correcta de puntos topográficos en superficie.

Libreta de campo: Para apuntes y croquis.

Estación total Leica: Para la medición de puntos y levantamientos topográficos.

Flexómetro de 5m: Para medir el ancho y espaciamiento de las estructuras.

Cámara canon 15MXP: Para la toma de fotografías.

3.9. Geología Regional

El batolito de la costa está constituido por cientos de plutones individuales, agrupados en un número limitado de súper-unidades (pitcher, 1974). Geográficamente está dividido a lo largo del eje del batolito en 5 grandes segmentos, caracterizado cada súper-unidad por un ensamble litológico particular (Cobbing et al., 1977); el segmento de mayor longitud es el de Arequipa con 900 km. de largo, el orden de emplazamiento de los plutones en el segmento de Arequipa está dada de la siguiente manera: (1) gabros tempranos y dioritas, (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).

Todas estas ocurrencias intrusivas están enmarcadas dentro de un conjunto de súper unidades que describiremos a continuación.

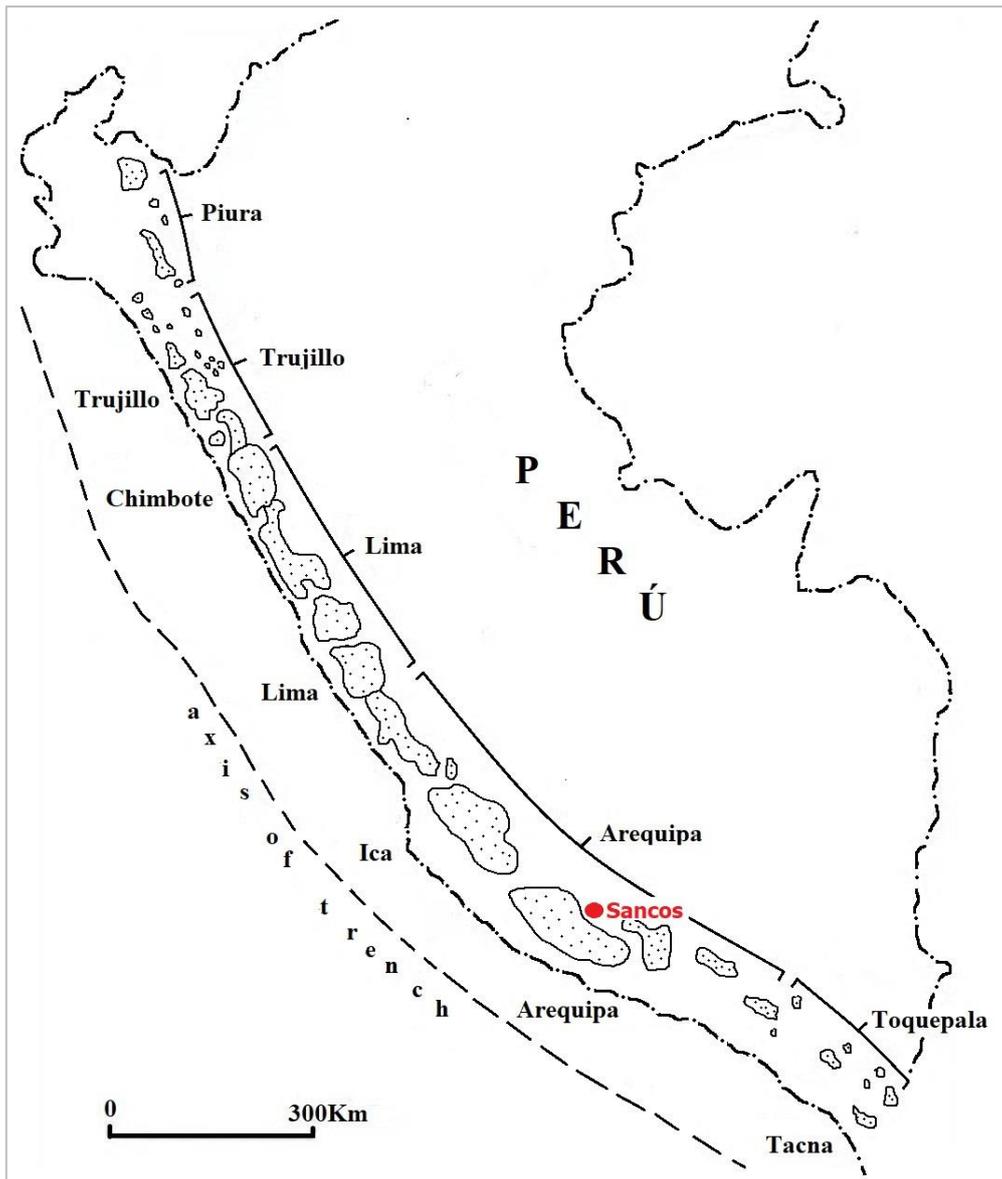


Figura 21: Mapa mostrando la segmentación de las súper unidades del Batolito de la Costa y la distribución de los plutones, (Pitcher, 1985).

3.9.1. Complejo Bella Unión

La litología es muy variada dentro del complejo Bella Unión, se caracteriza por ser una brecha de intrusión de naturaleza andesítica o dacítica, en bloques angulosos y subangulosos, también se observan otros cuerpos de composición básica, como diabasa porfírica gris verdosas, este complejo está cortado por diques de andesita porfírica. Se extiende a lo largo de faja de dirección E-O a NO-SE, limitado por grandes lineamientos estructurales que posiblemente controlen su emplazamiento.

3.9.2. Dacita Molles

Se conoce con este nombre a una dacita hipabisales que aflora en el sector norte del cuadrángulo de Jaqui, a lo largo de una falla longitudinal NO (Andino). Estos afloramientos presentan una textura porfírica, con fenocristales de plagioclasas y granos grandes de cuarzo en una matriz afanítica grisácea, la edad de emplazamiento entre 102 MA, hasta 80 MA (Cobing, 1979).

3.9.3. Gabros

Los gabros pertenecen a la Súper-unidad Patap y tienen una edad de emplazamiento de 107 Ma (Cobbing E. et al., 1977). Los segmentos de Arequipa y Lima son litológicamente bastante similares, caracterizados por gabros horbléndicos melanócratas con variaciones a otras 9 rocas de carácter básico como leucogabros y dioritas horbléndicas. Este tipo de rocas son observadas en afloramiento en áreas muy limitadas. Los contactos entre rocas similares se dan gradaciones, por zonas de brecha miento por dioritas tardías, parches irregulares de pegmatitas horbléndicas en zonas de contacto. Otra característica son las zonas de intensa deformación (bandea miento), ocurrida en fases sin-plutónicas.

3.9.4. Súper Unidad Linga

Esta súper-unidad se caracteriza por mostrar litología bastante distinguible como son gabros y dioritas con contenidos relativamente altos de feldespatos potásicos. Las rocas monzoníticas agrupadas como la Súper-unidad Linga, registran una edad de 97 M.a. y se asume responsable de la mineralización de Cu, Fe, Mo (Cobbing, E. et al., 1977).

La súper unidad Linga fue descrita en detalle en la quebrada Linga en Arequipa (Stewart, 1968). Los mayores afloramientos del Linga están restringidos al flanco oeste del batolito.

3.9.5. Súper Unidad Pampahuasi

El principal afloramiento de esta súper – unidad se ubica en la localidad de Ica – Pisco, está restringida al flanco oeste del batolito, con una extensión de 100 km. de largo con rumbo andino y un ancho aproximado de 10 km, es cortado principalmente por la súper – unidad Tiabaya (N.D. Moore, R.A. Agar). Las rocas

plutónicas dioríticas y tonalíticas, forman parte de la Súper unidad Pampahuasi y reportan una edad de 94 Ma (Cobbing E. et al., 1977).

La litología predominante en esta súper – unidad está dada por las tonalitas y cuarzo dioritas. Los contactos entre estas diferentes facies son bastante irregulares sin poderse establecer una cronología relativa confiable.

3.9.6. Súper Unidad Incahuasi

Esta súper-unidad está dividida en 5 unidades menores cuyo orden de emplazamiento es el siguiente: cuarzo-diorita, cuarzo-monzodiorita, granodiorita, pórfidos monzoníticos y monzograníticos. Siendo la cuarzomonzodiorita y la granodiorita las de mayor ocurrencia en volumen. La súper unidad Incahuasi tiene una edad de emplazamiento de 83 Ma (Moore et al., 1985). La súper – unidad Incahuasi presenta yacimientos de mineral siguiendo el trend andino, sin embargo, existe yacimientos de mineral asociados a fallas normales regionales de rumbo andino, esto indica que dichas fallas estuvieron activas durante el emplazamiento del Plutón.

Se observan 2 sistemas de diques que cortan al Incahuasi, una está relacionada a la súper-unidad Tiabaya, el segundo grupo al emplazamiento de magmas del Incahuasi, estos diques son oscuros y de grano fino probablemente de composición andesítica. La orientación de estas fracturas es de rumbo andino y normal al rumbo andino, indicando que fueron controladas por los mismos esfuerzos regionales que rigieron el emplazamiento de los plutones del Incahuasi.

3.9.7. Súper Unidad Tiabaya

Esta súper-unidad es la más tardía y la de mayor ocurrencia en el segmento de Arequipa, dividiendo las súper-unidades Incahuasi al este y Linga en el flanco oeste del batolito. La súper unidad Tiabaya tiene una edad de emplazamiento 81 M.a. (Moore et al., 1985).

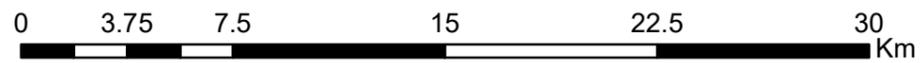
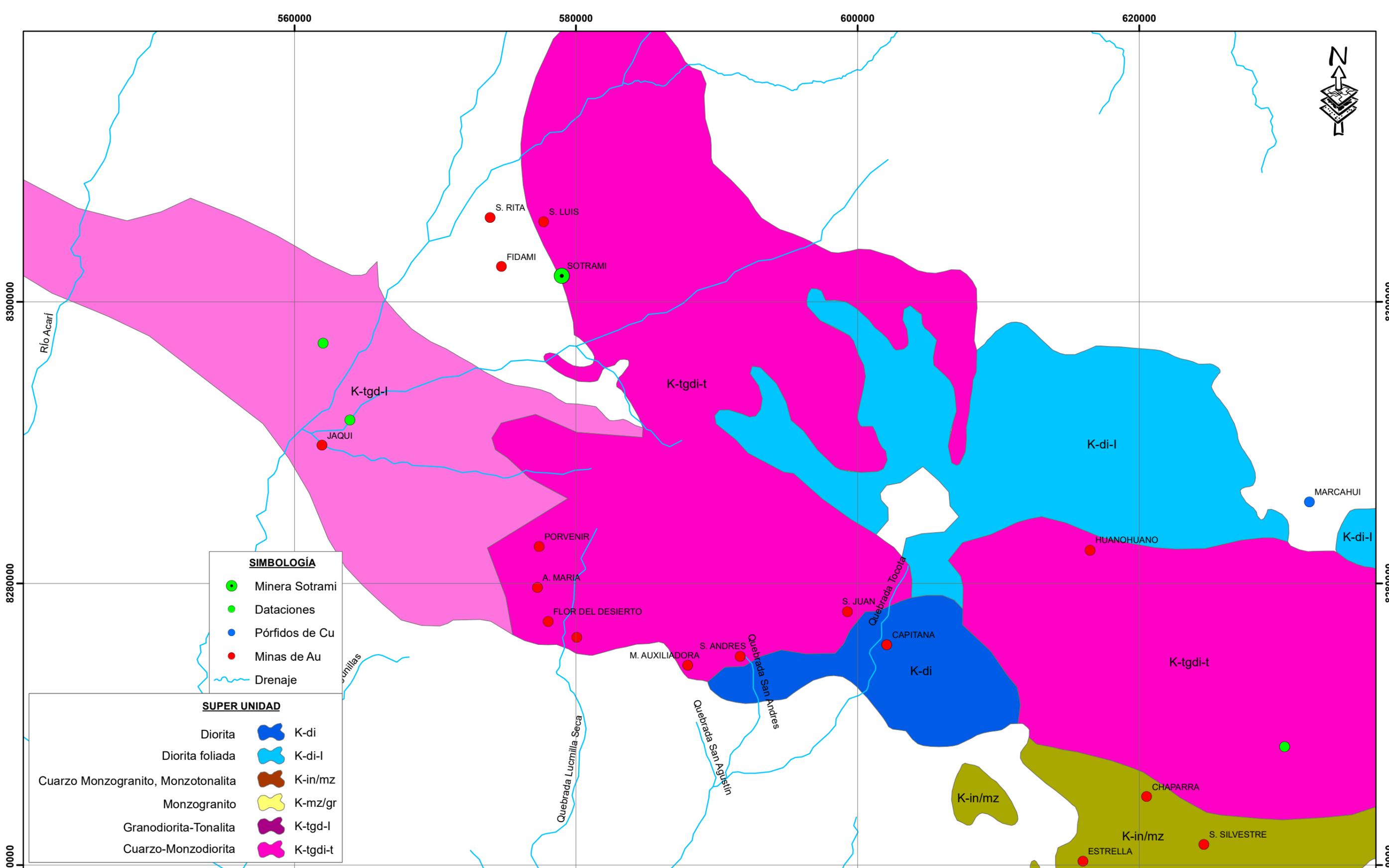
La composición de la súper-unidad Tiabaya varia del rango de tonalita a monzogranito, además se han observado algunos afloramientos de granodioritas.

3.9.8. Complejo Santa Rita

Es un complejo de rocas producto del metamorfismo de contacto, desarrollado por la intrusión del Linga y Tiabaya afectando a rocas sedimentarias, volcánicas, micro gabros y dioritas precursoras, ubicada en sector occidental del cuadrángulo de Jaquí, entre los cerros Cauchete y el Morro. En general las rocas metamórficas son de color gris oscuro, los contactos intrusivos son verticales, encontrándose esquistos sillimaníticos, intrusivos gneisoides, hornfels volcánicos y sedimentarios, metasomatitas, dioritas piroxénicas y microgabros hornfélsicos. Los meta-volcánicos y meta-intrusivos tienen un aspecto lustroso, predominando dioritas piroxénicas, dioritas cuarcíferas y andesitas, cortados por pequeños plutones y diques andesíticos.

3.9.9. Intrusivos Cenozoicos

En el cuadrángulo de Coracora y Chaparra, a lo largo de la zona plegada se extiende una alineación de stocks plutónicos, que por las características petrográficas no corresponden al batolito de la costa, siendo más jóvenes perteneciendo probablemente a un plutonismo Cenozoico. Dichos stocks están compuestos por cuerpos de gabro-diorita de color gris oscuro y tonalita-granodiorita. Estos cuerpos deben haberse emplazado entre fines del Cretácico y el meso-cenozoico.



REF: Hoja geológica 31-ñ (JAQUI) - INGEMMET

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
PLANO GEOLÓGICO REGIONAL	Escala: Indicada	PLANO:
Asesor: Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique	Datum: WGS-84	03
Tesista: Pedro Moises Machuca Cabrera	Fecha: Mayo 2021	

3.10. Geología Estructural

Las estructuras de la región están relacionadas principalmente con los movimientos tectónicos del ciclo andino y las principales zonas estructurales se han diferenciado según la magnitud y el estilo de deformación que han sufrido las rocas debido a su distinta naturaleza y a la variada intensidad de los esfuerzos que han actuado, generando pliegues, fallas y diaclasas. En base a lo mencionado, la región se ha dividido de oeste a este en varias zonas con características estructurales propias, así tenemos: Zona de fallamiento en bloques, zona de emplazamiento del batolito, zona plegada, y zona poco deformada. (Boletín N° 34 serie A - Ingemmet).

La unidad minera Santa Filomena se encuentra dentro de una zona de fallamiento en bloques, entre dos fallas de rumbo y de alcance regional, la falla Gliden al éste y la falla Santa Rita al oeste generando un bloque, entre estas fallas se ubican las vetas que conforman la mina Santa Filomena. La falla Gliden según los sondajes diamantinos realizados presenta anchos de hasta 8.0m, también se han observado diversos sistemas de fallas de orden local y están caracterizadas por fallas de rumbo N10°-30°W y buzamientos de 60°-75°NE, con anchos variables de hasta 1.0 m, a este grupo de fallas se les denomina fallas de primer orden. Existe otro grupo de fallas clasificadas de segundo orden, falla Enriqueta, Filomena, Ecuador y otras de rumbo N30°-60°E, que fueron desplazados por reactivaciones de las fallas de primer orden, cuyos saltos se observan en campo desde 2 hasta 10 m y son de naturaleza sinistral y dextral.

Las vetas se manifiestan en estructuras bien definidas, sus afloramientos son de considerable longitud, llegando a manifestarse hasta en tramos de 1.50 km de forma continua; Las vetas son relleno de fallas y presentan reactivaciones, las mismas están controlados por dos (2) sistemas estructurales principales.

- Sistema E-W, formado por las vetas Filomena y Santa Rosa (vetas en producción).
- Sistema Andino (NW): formado por las vetas Santa Rosa Ramal Piso, Torres, Rubí, Santa Ana, Bonita y demás estructuras mineralizadas.

3.11. Geología Económica

Las vetas auríferas ubicadas en la zona están clasificadas genéticamente como vetas hidrotermales de cuarzo-oro, siendo el cuarzo el mineral principal, seguido por pirita, arsenopirita y oro nativo.



Figura 22: Oro nativo en cuarzo hidrotermal. Nv 07 veta Santa Rosa (a 250m de la bocamina).

Las vetas muestran comúnmente zonas bandeadas crustificadas, con brechamientos puntuales con limitadas aureolas de alteración argílica, silicificación y propilitación de roca caja.

Las vetas contienen principalmente relleno de cuarzo hialino y en algunos casos porosos, es notoria la presencia de sílice tipo vuggy con óxidos de hierro (boxwork). Se tiene presencia de sulfuros en superficie que mayormente se encuentran lixiviados; los principales minerales observados son: pirita, calcopirita de forma puntual, bornita, covelita, cuarzo en tres generaciones (blanco, hialino y gris).

3.12.1 Franja Aurífera Nasca-Ocoña

La franja Nasca–Ocoña con mineralización oro-cobre-hierro, comprende el segmento Arequipa del batolito de la costa (Pitcher et al. 1985), se localiza en la costa sur media del Perú. Por la presencia de nuevos prospectos auríferos, dicha franja se extiende por el Norte hasta Ica y por el Sur hasta La Joya (Arequipa). Esta franja se ha explotado intermitentemente desde el siglo XVII, habiéndose ubicado a la fecha más de un centenar de depósitos de oro, cuyas características son principalmente del tipo filoniano y de origen hidrotermal. Las ocurrencias son minadas por oro-plata- cobre.

Existen otros tipos de depósitos que corresponden a cuerpos irregulares, stock work y diseminados, algunos con leyes de oro económicos que requieren mejores técnicas para su extracción.

Esta franja aurífera que recorre desde Ica hasta Chuquibamba/La Joya (Arequipa); está clasificada como una provincia metalogénica de oro. La franja se localiza en la vertiente del Pacífico de la Cordillera Occidental y comprende los departamentos de Ica, Arequipa y parte sur de Ayacucho. El oro como el elemento más importante se presenta como Oro Libre (zona NO y Central de la franja); en menor proporción como Electrum (zona SE de la franja), y como solución sólida en la pirita (Zona Central y parte SE de la franja).

3.12.2 Provincia de Au-(Cu) Mesotermal del Batolito de la Costa

Esta provincia se localiza a lo largo del Batolito de la Costa, en la franja Palpa-Ocoña. Se caracteriza por tener mineralizaciones de cuarzo, pirita, con contenidos menores de calcopirita, galena, escalerita, calcita y en ocasiones specularita, magnetita, tetrahedrita, boulangerita y bournonita (Montreuil, 1979; 1987). Se tratan de vetas auríferas, sin embargo, hacia el sector Nazca-Palpa, presentan además altos contenidos de Cu asociados a Au, lo que hace que algunas de estas estructuras puedan ser tratadas como vetas de Cu-Au mesotermal, como es el caso de Saramarca y Huarangillo (Injoque & Aranda, 2005).

La profundización de estas vetas es lo más interesante, hacia Nazca-Palpa regularmente tienen entre 100 y 200 m. Más hacia el sur, en Chala, y Orión las vetas alcanzan 400 m de profundidad. En el sector de Caravelí, vetas como Ishihuinca, Calpa, Posco, San Juan de Chorunga, casi profundizan un kilómetro con buena mineralización y ley (Montreuil, 1987). Aun no se tiene explicación a esta variación.

Este tipo de mineralización ha sido considerado siempre como típico del Batolito de la Costa y aunque se presenta asociado a casi todas sus superunidades, aparecen preferencialmente vinculados a las unidades félsicas: Tiabaya y Linga. (Injoque et al., 2002).

Hasta donde se sabe estos dos tipos de asociaciones en el Batolito de la Costa (pórfidos y óxidos de Fe-Cu-Au) son incompatibles, puesto que los primeros

ocurren asociados a procesos hipabisales o subvolcánicos, en tanto los segundos tienden a ocurrir hacia los techos de la cubierta mesozoica en asociación de plutones a grandes fallas y con mezcla de fluidos magmáticos de cuenca y meteóricos (Haynes, 2002). Esto indica que las mineralizaciones mesotermales de Au, por lo menos en el Batolito de la Costa ocurren a diferentes niveles y vinculadas a varios tipos de procesos mineralizadores mayores, combinando su potencial con el de estos procesos (Injoque & Aranda, 2005).

3.12. Geología Local

En mina Santa Filomena y alrededores afloran diferentes tipos de roca intrusiva las cuales son parte del batolito de la costa.

3.12.1 Complejo Santa Rita

Al Oeste de la mina, aflora el Complejo Santa Rita, con distribución NO-SE y está constituido por rocas metamórficas de contacto desarrollado por la intrusión de las súper unidades Linga y Tiabaya, son de coloración gris oscuro algo esquistosa de aspecto lustroso, están constituidas principalmente de dioritas piroxénicas - cuarcíferas y andesitas; estas rocas presentan mineralización sobre todo cerca al contacto con las dioritas y granodioritas de la súper unidad Tiabaya, las vetas de la mina Santa Rita se emplazaron en este tipo de litología.

3.12.2 Super unidad Tiabaya

En su mayoría los afloramientos rocosos corresponden a dioritas y granodioritas de la súper unidad Tiabaya, estas rocas presentan una textura de grano medio a fino y como componentes se distinguen: feldespatos, biotita de gran tamaño y hornblenda. Por el contenido de biotita se puede decir que es una diorita biotítica, en este tipo de roca se emplaza el mayor número de estructuras mineralizadas que actualmente se encuentran en producción (veta Filomena, veta Santa Rosa y ramales); Asimismo, existen afloramientos de tonalitas-granodioritas en el lado norte de la concesión al igual que las dioritas y granodioritas de la súper-unidad Tiabaya conforman el grupo de rocas encajonantes favorables para el emplazamiento de vetas hidrotermales de oro y plata, entre ellas veta Bonita, veta Española, veta Lady, veta Raúl, veta Silvana, veta Torrez, veta Santa Ana,

veta Filomena y Santa Rosa, estas dos últimas estructuras son las más importantes, las cuales se encuentran en etapa de exploración y producción, guardan cierto paralelismo y sus afloramientos en superficie se encuentran separados por una distancia aproximada de 450.00 metros. Existen otras vetas de rumbo andino algunas de estas son ramales propios de veta Santa Rosa y veta Filomena, y otras estructuras mineralizadas de considerable valor económico.



Figura 23: Diorita biotítica de grano medio. Nv 07 Veta Santa Rosa (a 260m de la bocamina).

3.12.3 Diques

Cortando las dioritas y granodioritas se evidencia una serie de diques de composición andesítica, textura afanítica a fanerítica y coloración gris verdosa, cuyos afloramientos presentan de 4 a 8 metros de espesor con dirección promedio de N 305° a N 310° y un buzamiento promedio de entre 60° a 70°, como diques principales tenemos: a dique Santa Ana, dique Santa Rosa y dique Filomena.



Figura 24: Contacto entre dique andesítico y diorita. Nv 08 veta Santa Rosa (a 300m de la bocamina).

3.12.4 Depósitos recientes del Cuaternario

En las depresiones y laderas se evidencia depósitos aluviales y coluviales, también existen depósitos morrénicos y fluvio-glaciares del Plioceno. La granulometría de estos depósitos, varía desde cantos y bloques angulosos a sub-redondeados, de composición análoga a las rocas que afloran dentro de la concesión y alrededores.



Figura 25: Depósitos aluviales de arena, sedimento y grava. E: 577518; N: 8301718.

3.12.5 Veta Santa Rosa

La Veta Santa Rosa encuentra actualmente en explotación, consiste en clavos mineralizados en forma de lentes, los cuales pueden tener longitudes de 0.50m a 20.0m y hasta 1.50m de ancho, las mejores zonas mineralizadas se dan en las intersecciones de dos o más vetas formando así las zonas favorables a la mineralización de alta ley y tonelaje, verticalmente las vetas tienden a formar sigmoides con tendencia a unirse en profundidad. Siendo el comportamiento estructural muy similar tanto en vertical como en horizontal.



Figura 26: Afloramiento en superficie de la veta Santa Rosa. E: 577907; N: 8301670.

Esta veta se tiene reconocida en 1.0 km de longitud y 300 m de profundidad con galerías y chimeneas de exploración, cuyo rumbo es de E-W, con buzamiento promedio de 55°N, sus anchos alcanzan hasta 1.0 m. La mineralización en la veta está constituida por tres generaciones de cuarzo: cuarzo gris, hialino y poroso con relleno de hematita, arcillas verdes, rojas y amarillas. Esta veta es un relleno de falla con posteriores eventos de reactivación emplazada en diorita, cuyas cajas presentan alteración propilítica moderada.

La veta Santa Rosa ha sido trabajada en 8 niveles, se ha interpretado mediante cartografiado geológico y resultados de los muestreos que la mineralización de oro tiene una distribución irregular en sentido longitudinal y vertical. Actualmente en esta veta produce el 20% del mineral de cabeza con 0.60 Oz / TMS de oro y subproducto de plata, esta producción incluye la veta Santa Rosa Ramal Piso. Las reservas en esta veta ascienden a 6,617 TMS con leyes de 0.426 Oz/TCS Au, 0.959 Oz/TCS Ag y los recursos medidos e indicados 40,121 TMS con leyes de 0.568 Oz/TCS Au, 1.594 Oz/TCS Ag, en estos recursos se encuentran incluidas las reservas, pero sin diluir.

3.12.6 Veta Santa Rosa ramal piso

La veta Santa Rosa Ramal Piso ha sido reconocido en el nivel 5 con perforación diamantina, se desarrolló mediante una galería de 150 m, es una veta de rumbo N300° y buzamiento 50°NE y nace en el extremo Este de la veta santa Rosa, cuya mineralización está constituido de cuarzo gris, hialino y poroso con relleno de hematita, arcillas verdes. Las reservas en esta veta ascienden a 4,057 TMS con leyes de 0.371 Oz/TCS Au, 0.882 Oz/TCS Ag y los recursos medidos e indicados 6,287 TMS con leyes de 0.979 Oz/TCS Au, 3.522 Oz/TCS Ag, en estos recursos se encuentran incluidas las reservas, pero sin diluir.

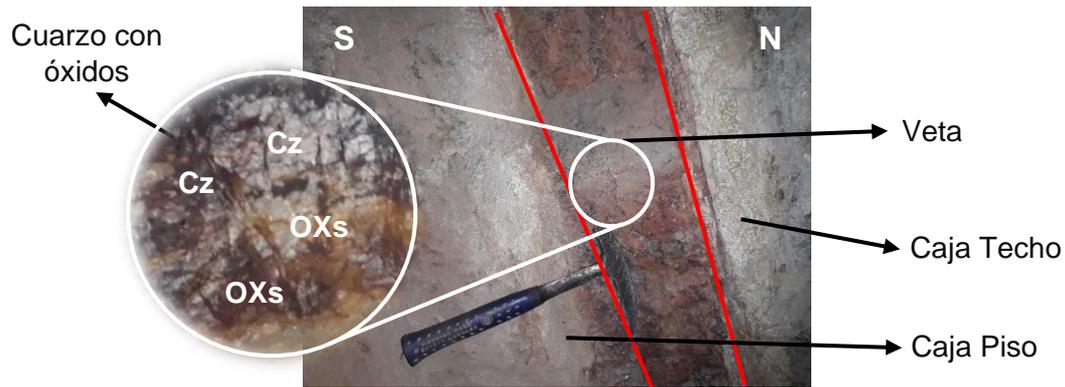


Figura 27: Veta de cuarzo con óxidos, con ancho promedio de 0.20m. Nv 05 veta Santa Rosa ramal piso (a 200m de la bocamina).

3.12.7 Otras vetas

Dentro de la concesión existen ocho (08) vetas más reconocidas en superficie, donde una (veta Santa Filomena) se encuentra en producción y las demás siete (07) se encuentran en proceso de exploración. Estas vetas tienen dirección andina NW-SE y buzanan al NE.

➤ Veta Santa Filomena

Esta veta se tiene reconocida en 1.0 km de longitud y 500 m de profundidad con galerías y chimeneas de exploración, cuyo rumbo es N270°, con buzamiento promedio de 55°N, sus anchos varían hasta 0.50 y 1.0m. La mineralización en la veta es muy similar al sistema Santa Rosa.

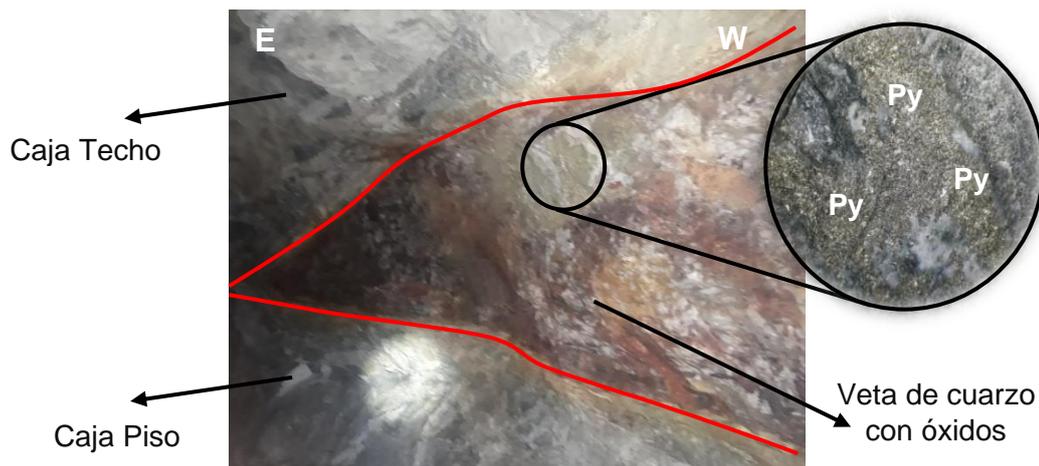


Figura 28: Veta de cuarzo y oro, con óxidos de hierro y pirita, ancho de 0.80m. Nv 15 Veta Filomena (a 500m de la bocamina).

La veta Santa Filomena ha sido trabajada en 15 niveles, donde se ha reconocido que la estructura tiene mineralización de oro con una distribución irregular en

sentido longitudinal y vertical (Zona Jiménez, Escalera y Zona 23). Actualmente en esta veta se produce el 80% de mineral de cabeza con leyes de 0.60 Oz/TMS de oro con contenidos de plata. Las reservas en esta veta ascienden a 116,067 TMS con leyes de 0.482 Oz/TCS Au, 1.132 Oz/TCS Ag y los recursos medidos e indicados ascienden a 304,733 TMS con leyes de 0.792 Oz/TCS Au, 1.781 Oz/TCS Ag, en estos recursos se encuentran las reservas, pero sin diluir.

➤ Otras Vetas

Con los datos obtenidos del muestreo superficial y de sondajes diamantina se ha obtenidos recursos indicados e inferidos.

Los recursos indicados ascienden a un total de 36,890.37 Onzas de Oro y 110,671.11 Onzas de Plata. (Ver Tabla 5). Los recursos inferidos suman un total de 24,398.29 Onzas de Oro y 83,700.30 Onzas de Plata. (Ver Tabla 6).

Tabla 5: Resumen de recursos de otras vetas (Indicados).

VETAS	RECURSOS INDICADOS			
	Ancho (m)	TMS	Au (Oz/TCS)	Ag (Oz/TCS)
VETA BONITA	0.15	3,236	0.209	0.180
VETA ESPAÑOLA	0.17	2,766	0.248	0.309
VETA LADY	0.14	3,827	0.155	0.193
VETA RAUL	0.15	1,840	0.203	0.030
VETA SILVANA	0.21	16,633	0.381	1.825
VETA TORREZ	0.36	80,220	0.256	1.953
VETA SANTA ANA	0.17	15,688	0.625	1.746
TOTAL	0.193	124,210	0.297	0.891

Tabla 6: Resumen de recursos de otras vetas (Inferidos).

VETAS	RECURSOS INFERIDOS			
	Ancho (m)	TMS	Au (Oz/TCS)	Ag (Oz/TCS)
VETA BONITA	0.15	3,664	0.209	0.180
VETA ESPAÑOLA	0.17	7,257	0.248	0.309
VETA LADY	0.14	6,731	0.155	0.193
VETA RAUL	0.15	2,140	0.203	0.030
VETA SILVANA	0.21	23,519	0.402	1.929
VETA TORREZ	0.36	46,224	0.418	2.968
VETA SANTA ANA	0.17			
TOTAL	0.193	89,535	0.273	0.935

3.13. Control Estructural en el Sistema de Vetas

3.13.1 Sistema de fallas

Las estructuras de tendencia NW - SE generalmente corresponde a procesos post mineralización y han fragmentado la geometría inicial del yacimiento, se tiene dos fallas de alcance regional (falla Santa Rita y falla Gliden), en dirección andina. El extremo Oeste de la veta Santa Rosa ha sido desplazada por la falla Santa Rita una longitud aproximada de 100m evidenciada en superficie y corroborada con sondajes de diamantina (ver lámina 1).

En toda el área de investigación estas fallas corresponden a fallas tardías de movimientos trascurrentes y conjugadas (sinestrales ó dextrales, normales e inversas) con desplazamientos de poca extensión, generando vetas y venillas ramificadas post mineral (fallas tipo Riedel), que generalmente se encuentran rellenos por cuarzo blanco y brechas tectónicas.

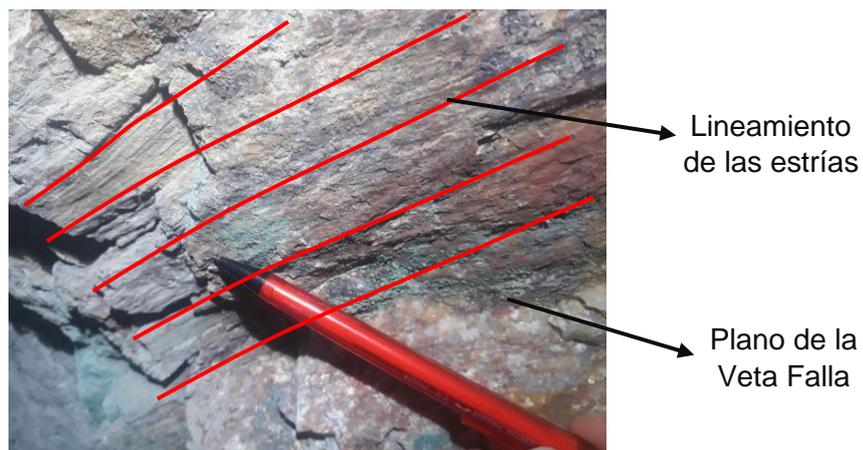


Figura 29: Plano de falla de la veta (caja piso) en el que se muestra el lineamiento de las estrías. Nv. 05 veta Santa Rosa a 180m de la bocamina.

También se observan estructuras con menor frecuencia estructural, generando fallas normales escalonadas y formando venillas y pequeñas juntas de extensión (extentional jogs) rellenos con mineralización.



Figura 30: Fallas normales escalonadas cortando a un dique de cuarzo. Nv 06 Veta Santa Rosa (a 230m de la bocamina).

3.13.2 Sistema de diques

Dentro de la concesión Santa Filomena existen un enjambre de diques de composición andesítica, éstos son post mineralizantes emplazados en dirección NW-SE, los cuales cortan al sistema de vetas en estudio. Estos diques obedecen la dirección de los esfuerzos principales y guardan cierta relación con las estructuras tipo riedel y los clavos mineralizados a lo largo de la estructura principal Santa Rosa.

3.13.3 Estructuras mineralizadas

Existe un fuerte control estructural en el emplazamiento de la mineralización de oro (Au) y plata (Ag), estando esta circunscrita específicamente a vetas fallas de rumbo N80° - 70°E y buzamientos 55° a 45° al NW.

En función a lo observado en las ocurrencias de oro (Au) y plata (Ag) en las estructuras mineralizadas dentro del área de estudio, se han determinado que la mineralización está controlada por estructuras (fallas) de cinemática dextral con una componente secundaria normal, donde la dirección del esfuerzo principal mayor (σ_1) es NW-SE.



Figura 31: En la figura se muestra una falla de cinemática dextral post mineralizante, donde el esfuerzo principal es NW-SE. (Tomada en la corona de la labor).

Las fallas pre rotura (tipo P) son estructuras sin relleno y las fallas post rotura (tipo R) las cuales coinciden con la dirección de esfuerzos (σ_1), son estructuras extensionales y de apertura tectónica con relleno de mineral, son de corto alcance con un máximo de 10.0m de longitud y ancho de 0.30m.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. Análisis Geométrico

Este tipo de análisis se desarrolla mediante el estudio de la geometría de las fallas y vetas en vista en planta y cortes en sección, que permitan comparar estas geometrías con modelos teóricos.

4.1.1.1 Análisis geométrico de la veta Santa Rosa

Según el cartografiado de superficie Santa Rosa tiene una dirección de E-W y una extensión horizontal de 1.6Km, de esta longitud la parte económica sería de 1.0Km. Partiendo del centro hacia el lado Este se tiene reconocido por medio de labores en toda su longitud horizontal y hacia el lado Oeste se encuentra en la etapa de exploración y desarrollo, ya que de superficie se exploró con diamantina siendo los resultados favorables a la mineralización.

Santa Rosa tiene un azimut de 260° y buzamiento de 55° , la longitud horizontal tenemos desarrollado 500m y en la vertical 400m, encontrándose en desarrollo en la horizontal y vertical. La característica principal es que presenta una mineralización muy errática, son bolsonadas o clavos mineralizados cada cierto tramo en forma de sigmoides que hacen la característica de las vetas tipo rosario, de ancho promedio de 1.0m y longitud de hasta 10.0m, con ley ponderada de 1 Onz/Tc Au.

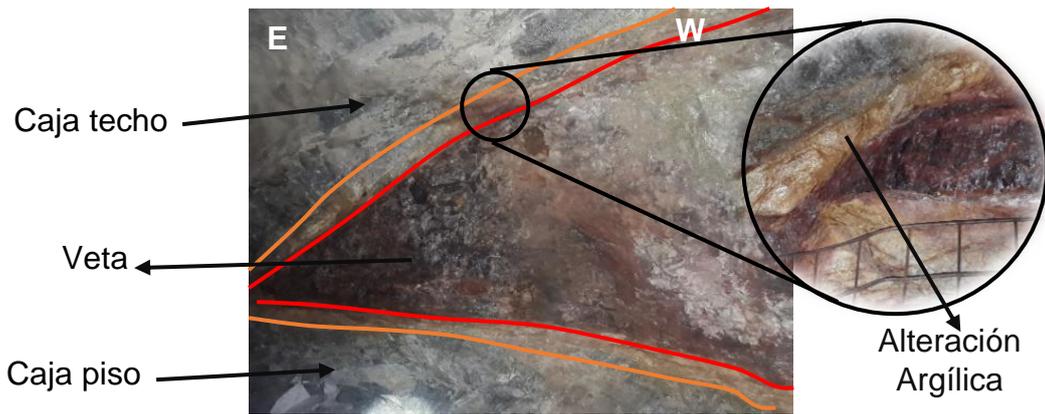


Figura 32: Veta de cuarzo oro con presencia de sulfuros y OXsFe, más los halos de alteración. La geometría de la veta Santa Rosa es típica de una veta tipo rosario.

La vista en planta muestra zonas de apertura y cierre tectónico, esto es por el cambio de rumbo de la falla principal, comparando con los modelos teóricos (ver figura 11) la veta ha sido afectada por un fallamiento de cinemática dextral (ver plano 6).

En la sección transversal muestra zonas de apertura y cierre estructural, las zonas de apertura están relacionadas a los tramos de mayor buzamiento y el cierre estructural a los tramos de menor buzamiento. Lo que explica comparando con los modelos teóricos (ver figura 11) la veta ha sido afectada por un fallamiento de cinemática normal (ver lámina 2, en anexos).

A lo largo de la veta se evidenciaron ciertas estructuras como jog extencionales con movimientos cinemáticos de componentes conjugados de tipo dextral normal.

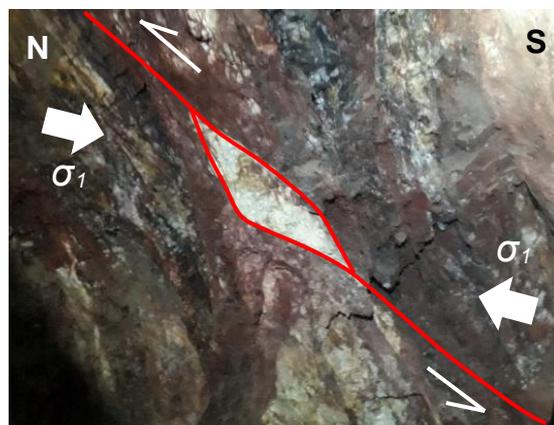


Figura 33: Jog extencional de cinemática dextral. (Tomada en la corona de la labor).

La veta hacia el lado Oeste se encuentra en exploración y desarrollo, al lado Este presenta tres estructuras típicas de un abanico imbricado exteacional o cola de caballo lo que muestra que la veta ha llegado a su límite (ver figura 10). De estas tres estructuras una ha mineralizado, siendo ésta la veta Santa Rosa ramal piso (ver plano 8).

4.1.1.2 Análisis geométrico de la veta Santa Rosa ramal piso

Santa Rosa ramal piso se ubica el extremo Este de la veta Santa Rosa, tiene un azimut de 310° y buzamiento de 53°, en la longitud extensional llega a un máximo de 150m y en la profundización se encuentra en desarrollo, actualmente estamos en el nivel 8(400m). Es una veta continua con una geometría homogénea, de ancho promedio de 0.30m y ley de 1.2 Onz/Tc.

Esta veta es una de las estructuras del abanico imbricado extensional o cola de caballo de la veta Santa Rosa.

4.1.2. Análisis Cinemático

El análisis cinemático está basado en el estudio del movimiento de las fallas sea normal, inverso o transcurrente, tomando como base la identificación los indicadores cinemáticos (figura 7).

El conocimiento del comportamiento de las fallas es de suma importancia, debido a la influencia de éstas sobres la geometría de un yacimiento, esto es si estuvieron activas durante la mineralización sirvieron como zona de precipitación de los fluidos y en caso contrario si son post mineralización modifican la geometría inicial del yacimiento.

Se tomaron datos de campo de las diferentes estructuras como rumbo, buzamiento, pitch, en los diferentes niveles en interior mina (nivel 5, 6, 7 y 8), en los planos de la veta principal y en las fallas de riedel o las estructuras secundarias.

4.1.2.1 Análisis cinemático de la veta Santa Rosa

Antes de realizar el análisis de faultkin, se ha utilizado el diagrama de Angelier (1994), de todas las estaciones estructurales para determinar su posible cinemática según el ángulo de cabeceo o pitch y el ángulo de buzamiento.

Se procesaron 20 estaciones estructurales, las cuales por su ángulo de pitch o cabeceo califican como fallas de deslizamiento oblicuo (dextrales o sinestras) con una componente secundaria normal.

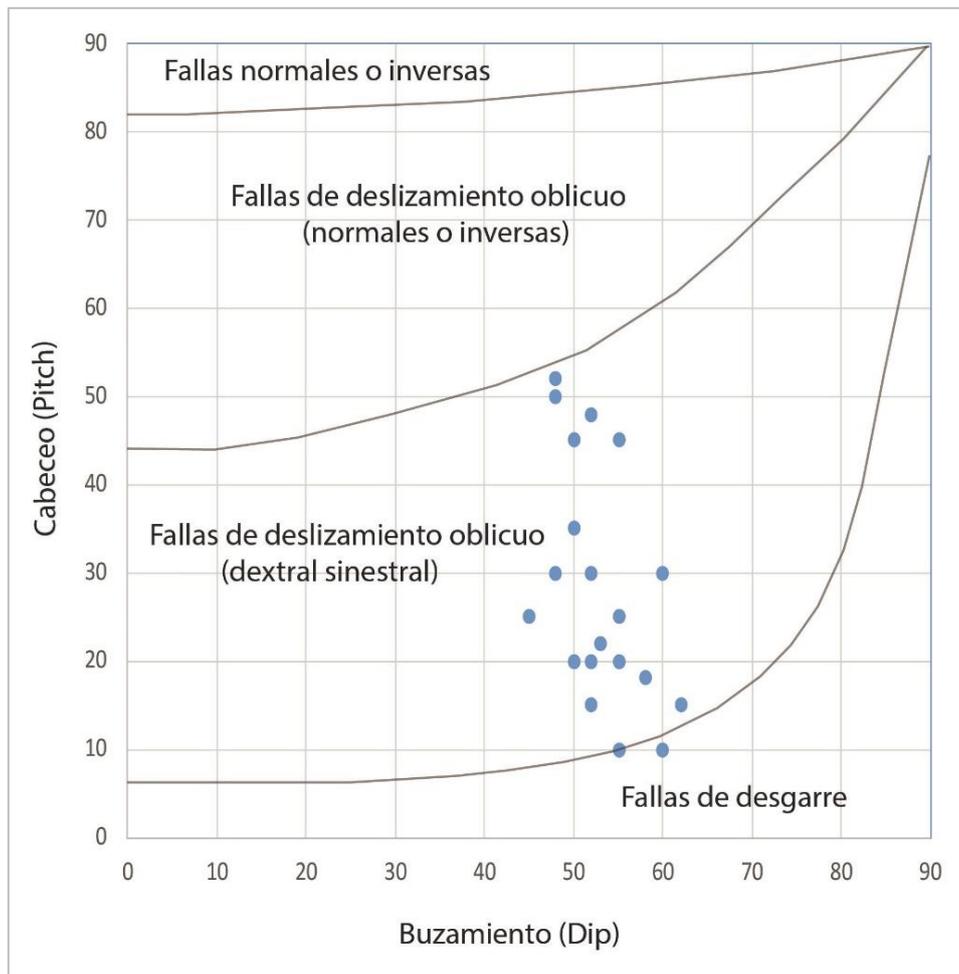


Figura 34: Los puntos en azul son las estaciones, donde por el ángulo de cabeceo califican como fallas de deslizamiento oblicuo según el modelo de Angelier, 1994.

El análisis cinemático y la interpretación del compósito en la veta Santa Rosa se tomaron varias estaciones estructurales en la veta principal y en las estructuras secundarias o fallas de riedel, donde se va a mostrar la estación más representativa por nivel.

En el nivel 5, La dirección del plano de falla que se analizó tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) de 262°/49°NW, el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 109.4°/44.2° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección NE-SW con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 212.7°/13.3°.

La estación pertenece a la veta principal Santa Rosa, la misma que tiene un azimut promedio de 260° y buzamiento de 52°.

Tabla 7: Estación estructural nivel 5 Santa Rosa.

DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	AR-RAKE	CABECEO	CINEMÁTICA	ESTRUCTURA
Strike	Dip		Pitch	Kinematics	
260	50	-160	20	DxNx	VETA
262	52	-160	20	DxNx	
260	45	-155	25	DxNx	
263	48	-150	30	DxNx	
265	50	-145	35	DxNx	

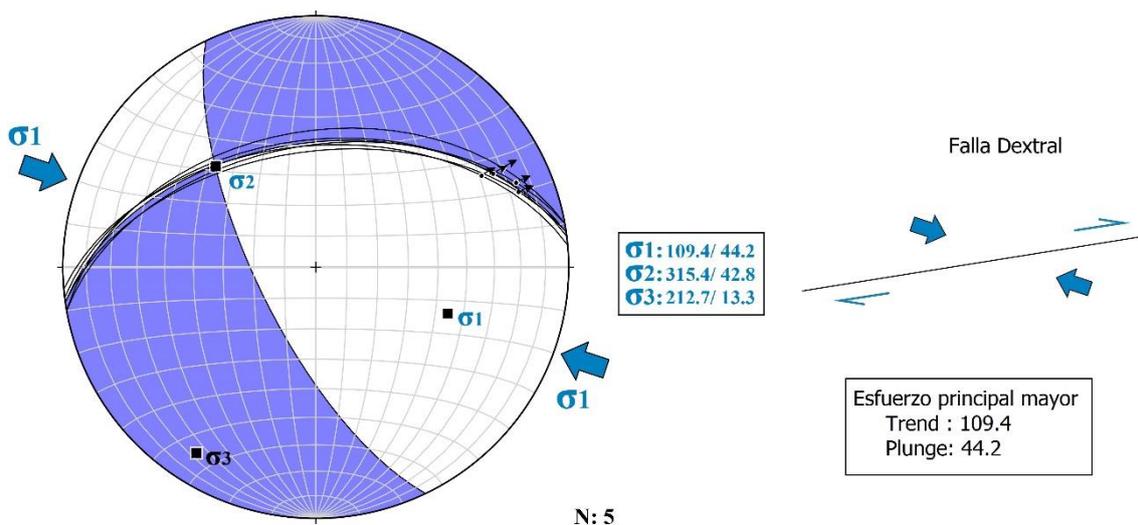


Figura 35: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 109.4°/44.2° originando una falla dextral con una componente secundaria normal.

En el nivel 6, La dirección del plano de falla que se analizó tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) de 263°/51°NW, el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 107.2°/59.6° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección NE-SW con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 201.6°/02.5°.

La estación pertenece a la veta principal Santa Rosa, en este punto la veta tiene un azimut promedio de 262° y buzamiento de 51°.

Tabla 8: Estación estructural nivel 6 Santa Rosa.

DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	AR-RAKE	CABECEO	CINEMÁTICA	ESTRUCTURA
Strike	Dip		Pitch	Kinematics	
260	48	-130	50	DxNx	VETA
270	50	-135	45	DxNx	
255	48	-128	52	DxNx	
258	52	-132	48	DxNx	
272	55	-135	45	DxNx	

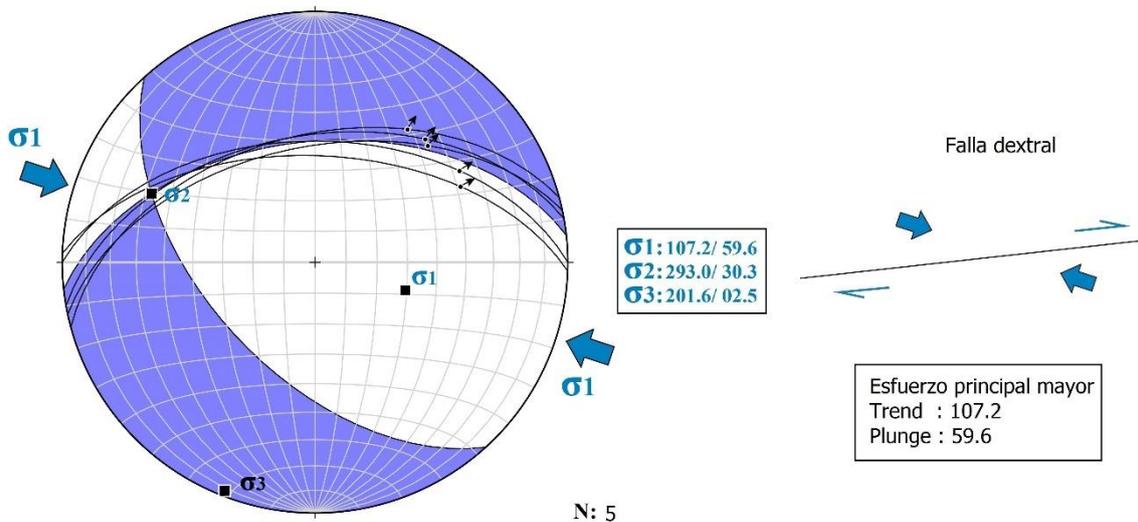


Figura 36: Figura 28: el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 107.2°/59.6°.

En el nivel 7, La dirección del plano de falla que se analizó tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) de 317°/57°NE, el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 281.5°/32.5° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección NE-SW con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 182.8°/13.3°.

La estación pertenece a una falla anti riedel (R') formada con la veta Santa Rosa con un azimuth promedio de 315° y buzamiento de 56°.

Tabla 9: Estación estructural nivel 7 Santa Rosa.

DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	AR-RAKE	CABECEO	CINEMÁTICA	ESTRUCTURA
Strike	Dip		Pitch	Kinematics	
320	60	-10	10	SxNx	FALLA
310	62	-15	15	SxNx	
315	55	-10	10	SxNx	
318	58	-18	18	SxNx	
325	53	-22	22	SxNx	

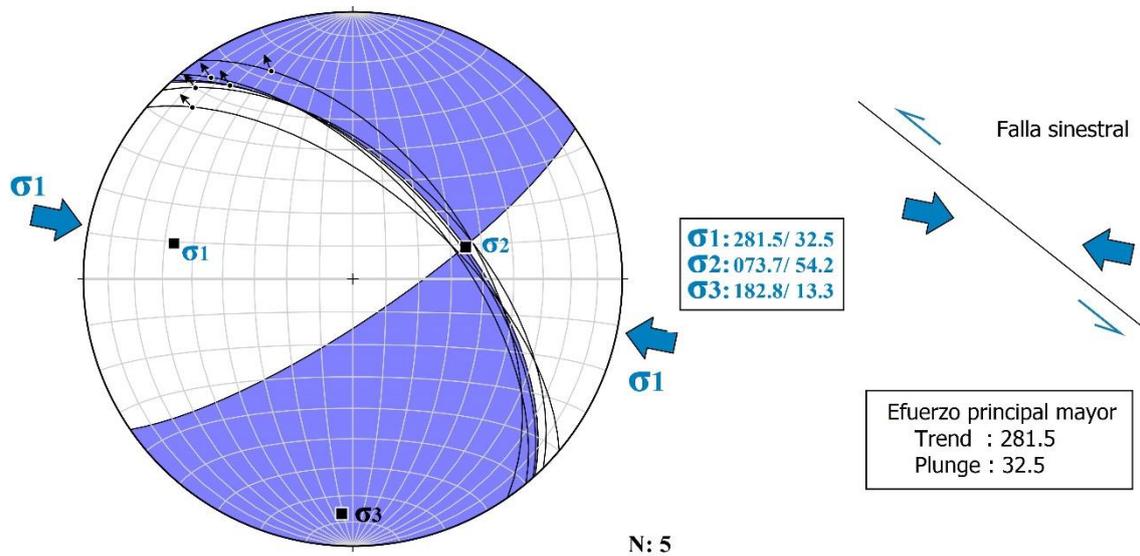


Figura 37: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 281.5°/32.5°, generando una falla sinistral normal.

En el nivel 8, La dirección del plano de falla que se analizó tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) de 290°/55°NE, el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 144.2°/40° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección NE-SW con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 242.6°/09.9°.

La estación pertenece a una estructura tipo lazo sigmoide de la veta Santa Rosa con la misma dirección de las estructuras de riedel, el azimuth promedio es de 290° y buzamiento de 55°.

Tabla 10: Estación estructural nivel 8 Santa Rosa.

DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	AR-RAKE	CABECEO	CINEMÁTICA	ESTRUCTURA
Strike	Dip		Pitch	Kinematics	
288	60	-150	30	DxNx	VETA
290	55	-155	25	DxNx	
295	52	-150	30	DxNx	
295	52	-165	15	DxNx	
290	55	-160	20	DxNx	

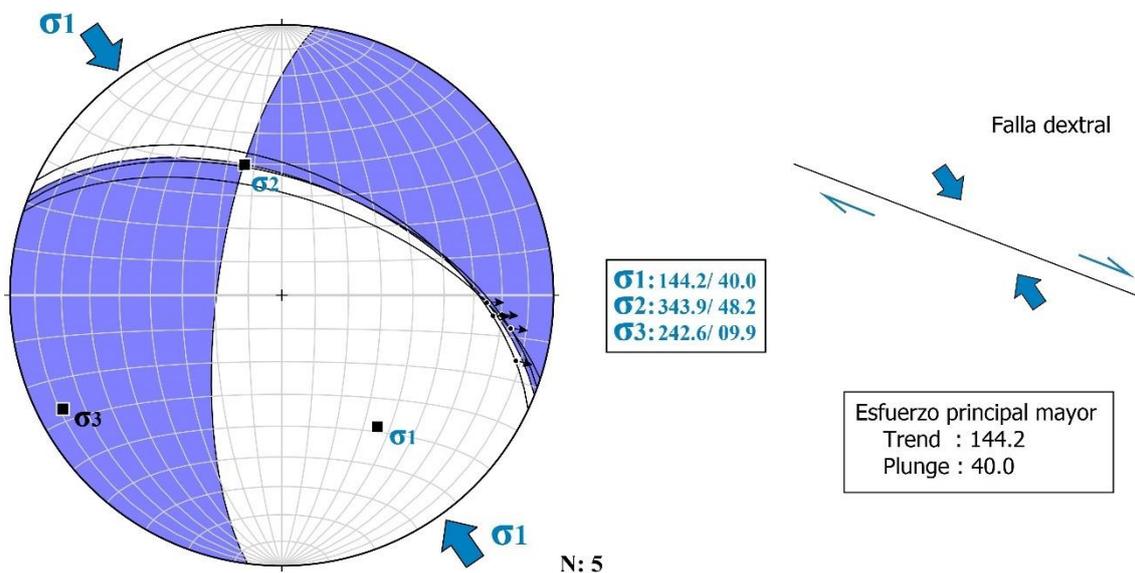


Figura 38: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 144.2°/40°, generando una falla dextral.

Al realizar un compósito de todas las estaciones estructurales (Figura 39a) para obtener una dirección de esfuerzos promedio, se determinó con el Faultkin (Figura 39b) que el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 112.5°/51.5° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección NE-SW con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 208.8°/04.9°. Los datos obtenidos de P (acortamiento) y T (extensión) se presentan distribuidos de manera heterogénea por lo cual se usó el software Orient y se determinó dos Cluster (Figura 39c), lo que nos puede indicar rotación de estructuras. Teniendo en cuenta los resultados anteriores se usó el software MIM el cual nos da un $\Phi=0.6$ y nos muestra una variación de los paleoesfuerzos.

Como las estructuras estudiadas están relacionados al evento tectónico que genero la mineralización, la variación de los paleoesfuerzos en el Orient y MIM nos puede indicar una fuerte rotación de estructuras en una de las estaciones estructurales y como se tiene un $\Phi=0.6$ las estructuras estudiadas corresponden a una zona transtensional.

Siendo la sigma 1 (σ_1) el responsable del emplazamiento de la mineralización y de la distribución de clavos mineralizados.

En la veta Santa Rosa estamos en una zona transtensional dominados por un sistema estructural de desgarre (cinemática dextral) y con una componente secundaria normal o extensional.

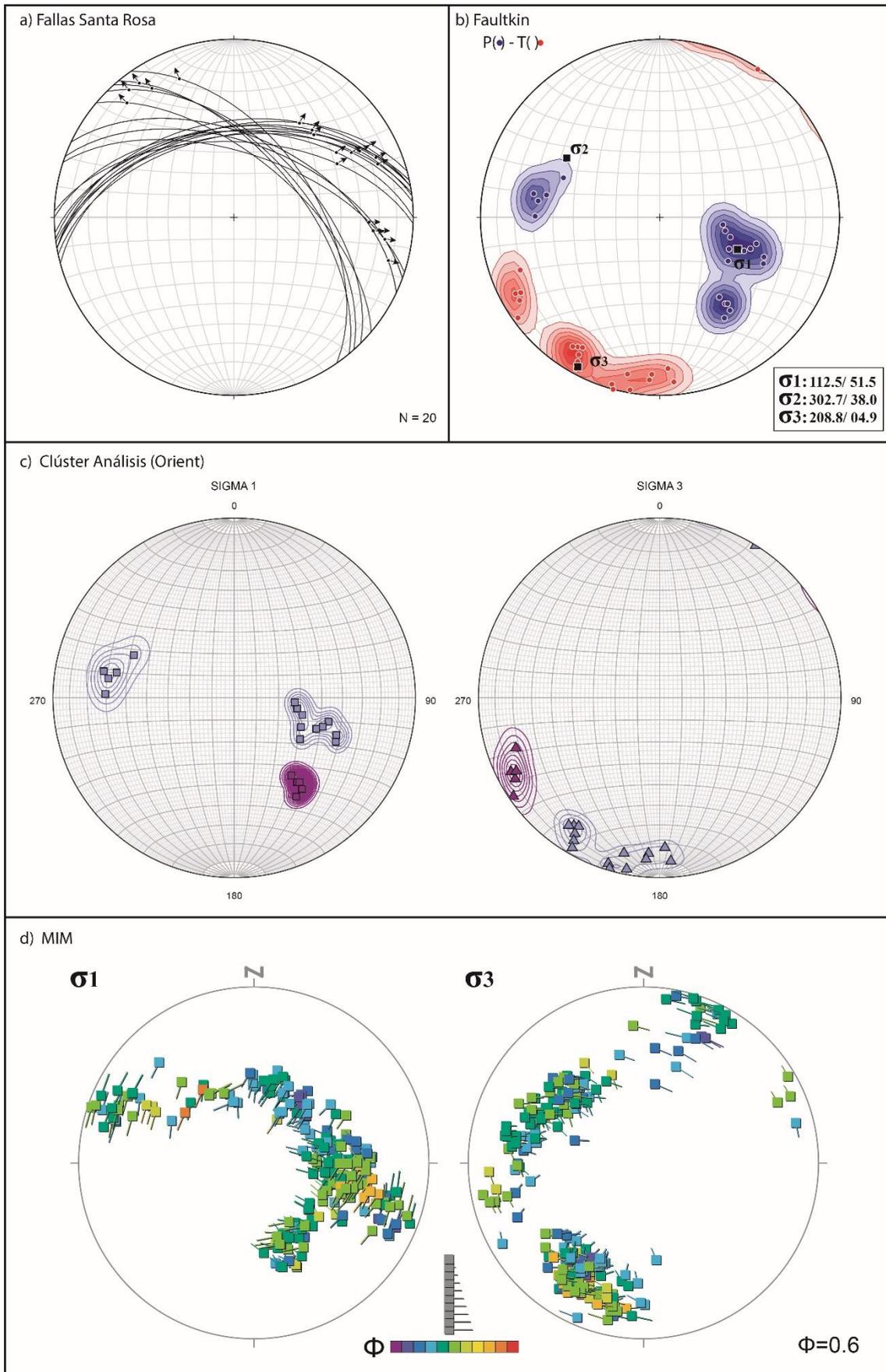


Figura 39: a) Datos de las Fallas de Santa Rosa, b) Datos procesados en el faultkin, c) datos procesados en Orient y d) Datos procesados en el MIM.

4.1.2.2 Análisis cinemático de la veta Santa Rosa ramal piso

Se procede a utilizar el diagrama de Angelier (1994), de todas las estaciones estructurales para determinar su posible cinemática según el ángulo de cabeceo o pitch y el ángulo de buzamiento.

Se procesaron 18 estaciones estructurales, las cuales por su ángulo de pitch o cabeceo califican como fallas de deslizamiento oblicuo (dextrales o sinestrales) con una componente secundaria normal.

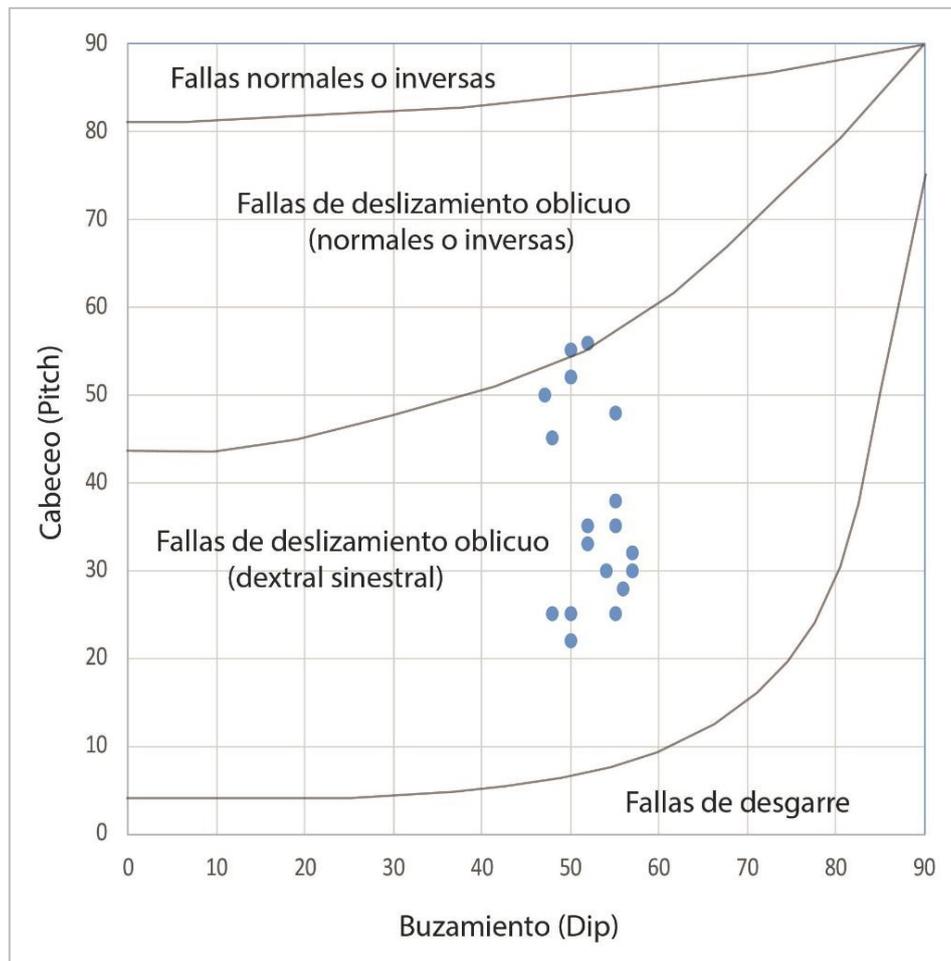


Figura 40: Son las estaciones de Santa Rosa piso, que por el ángulo de cabeceo califican como fallas de deslizamiento oblicuo según el modelo de Angelier, 1994.

El análisis cinemático y la interpretación del compósito en la veta Santa Rosa piso se tomaron varias estaciones estructurales en el plano de veta y en las fallas de riedel o anti riedel, donde se mostrará la estación más representativa por nivel.

En el nivel 5, La dirección del plano de falla que se analizó tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) de 318°/54°NE, el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 287.8°/45.9° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección NE-SW con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 191.1°/06.4°.

La estación pertenece a la veta Santa Rosa piso, la misma que tiene un azimut promedio de 318° y buzamiento de 54°.

Tabla 11: Estación estructural nivel 5 Santa Rosa piso.

DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	AR-RAKE	CABECEO	CINEMÁTICA	ESTRUCTURA
Strike	Dip		Pitch	Kinematics	
310	55	-35	35	SxNx	VETA
320	57	-30	30	SxNx	
325	50	-25	25	SxNx	
318	56	-28	28	SxNx	
315	52	-35	35	SxNx	
322	55	-38	38	SxNx	

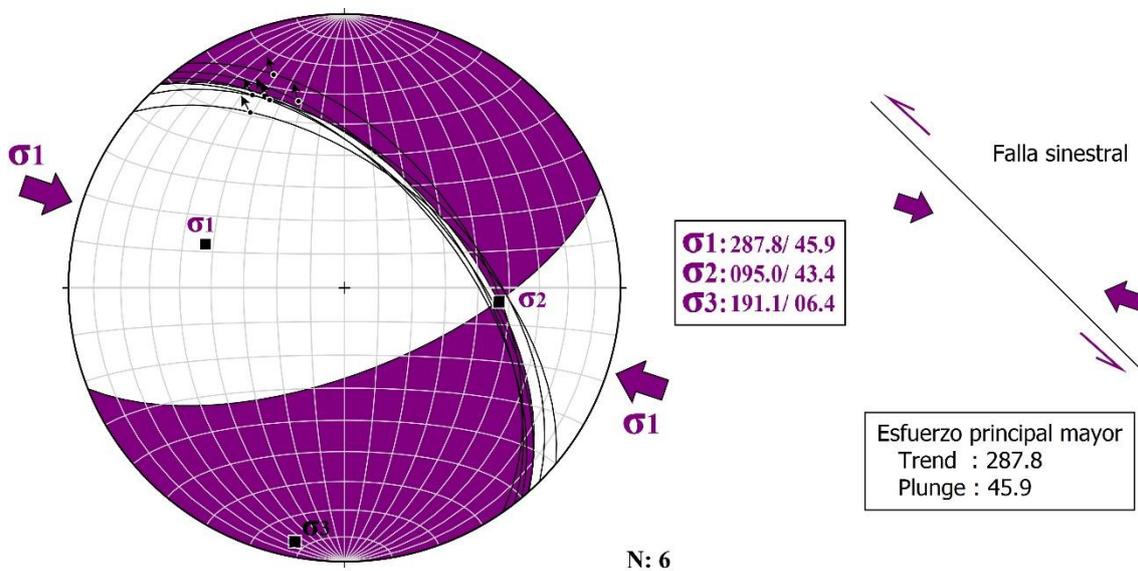


Figura 41: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 287.8°/45.9° originando una falla sinistral con una componente secundaria normal.

En el nivel 6, La dirección del plano de falla que se analizó tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) de 278°/50°NE, el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 107.4°/01.7° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección NE-SW con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 200.4°/61.1°.

La estación pertenece a una falla de la veta Santa Rosa piso, en este punto la veta tiene un azimut promedio de 278° y buzamiento de 50°.

Tabla 12: Estación estructural nivel 6 Santa Rosa piso.

DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	AR-RAKE	CABECEO	CINEMÁTICA	ESTRUCTURA
Strike	Dip		Pitch	Kinematics	
220	47	130	50	lxDx	FALLA
230	48	135	45	lxDx	
225	50	128	52	lxDx	
218	52	124	56	lxDx	
228	50	125	55	lxDx	
222	55	132	48	lxDx	

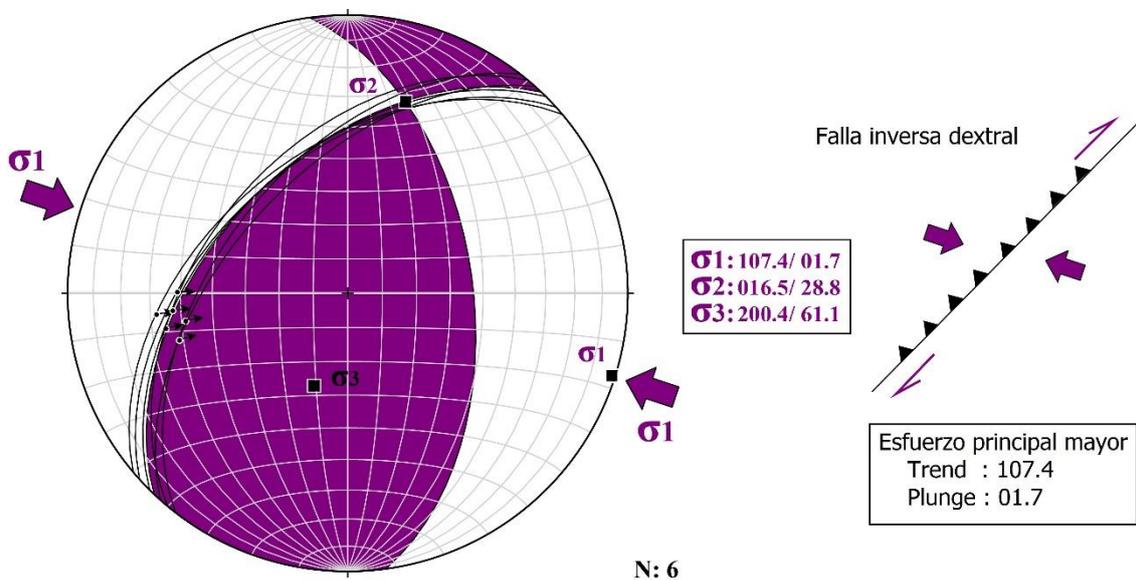


Figura 42: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 107.4°/01.7° originando una falla inversa.

En el nivel 7, La dirección del plano de falla que se analizó tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) de 318°/52°NE, el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 288.5°/44.9° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección NE-SW con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 188.6°/09.7°.

La estación pertenece a la veta Santa Rosa piso, en este punto presenta un azimut promedio de 318° y buzamiento de 52°.

Tabla 13: Estación estructural nivel 7 Santa Rosa piso.

DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	AR-RAKE	CABECEO	CINEMÁTICA	ESTRUCTURA
Strike	Dip		Pitch	Kinematics	
330	55	-25	25	SxNx	VETA
300	57	-32	32	SxNx	
310	52	-33	33	SxNx	
325	54	-30	30	SxNx	
328	50	-22	22	SxNx	
315	48	-25	25	SxNx	

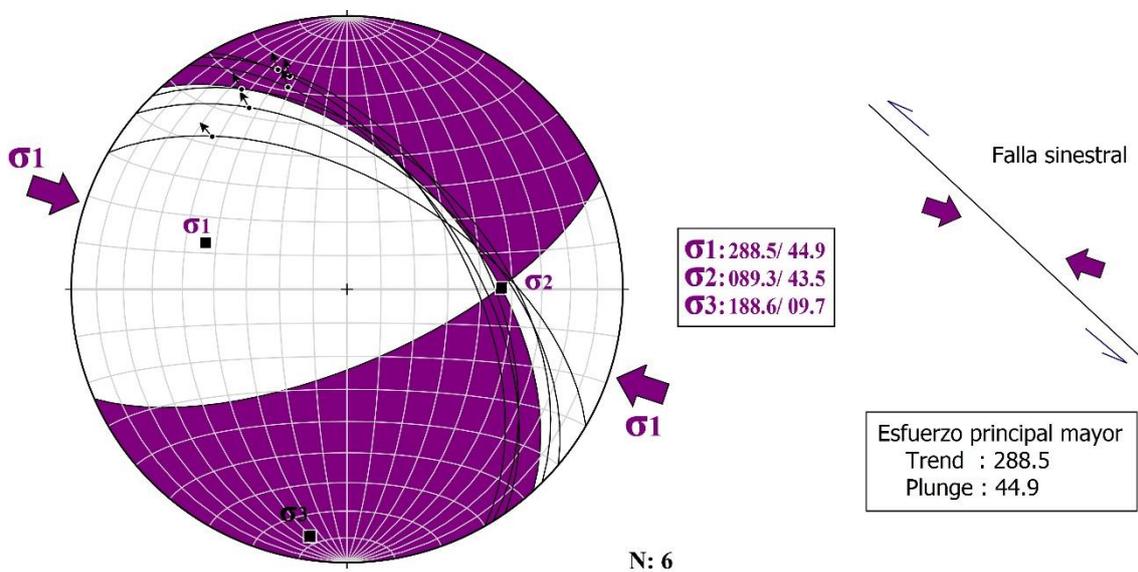


Figura 43: El vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 288.5°/44.9° originando una falla sinistral con una componente secundaria normal.

Al realizar un compósito de todas las estaciones estructurales (Figura 44a) para obtener una dirección de esfuerzos promedio, se determinó con el Faultkin (Figura 44b) que el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 288.6°/24.4° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección NE-SW con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 190.3°/17.7. Los datos obtenidos de P (acortamiento) y T (extensión) se presentan de manera heterogénea por lo cual se usó software Orient y se determinó dos cluster (Figura 44c), lo que nos puede indicar rotación de estructuras. Teniendo en cuenta los resultados anteriores se usó el software MIM el cual nos da un $\Phi=0.3$ y en este caso no muestra una variación representativa de los paleoesfuerzos.

Como las estructuras estudiadas están relacionados al evento tectónico que genero la mineralización, la variación de los paleoesfuerzos en el Orient y MIM nos puede indicar irregularidades en las superficies de las estructuras en una de las estaciones estructurales, ya que es imperceptible o mínima estas variaciones en el MIM, y como se tiene un $\Phi=0.3$ las estructuras estudiadas corresponden a una zona transpresional.

Siendo el sigma 1 (σ_1) el responsable del emplazamiento de la mineralización y de la distribución de clavos mineralizados.

En la veta Santa Rosa ramal piso estamos en una zona transpresional dominados por un sistema estructural de desgarre (cinemática sinistral) y con una componente secundaria normal o extensional.

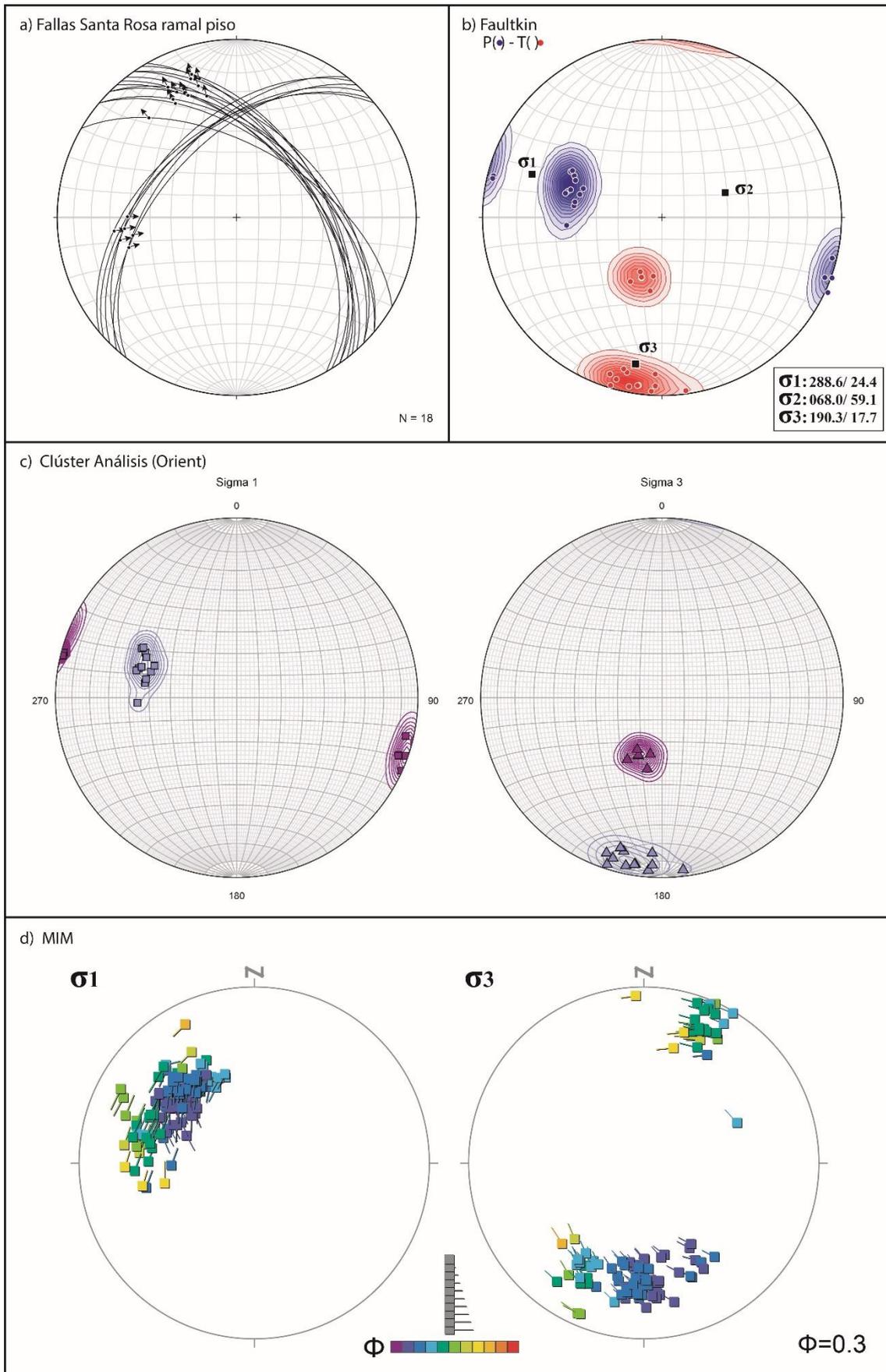


Figura 44: a) Datos de las Fallas de Santa Rosa ramal piso, b) Datos procesados en el faultkin, c) datos procesados en Orient y d) Datos procesados en el MIM.

Finalmente se realizó un compósito de todas las estaciones estructurales para obtener una dirección de esfuerzos promedio en todo el sistema de vetas (Figura 45) se determinó con el faultkin (Figura 45b) que el vector de máxima compresión, σ_1 (σ_1) tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de $291.7^\circ/08.3^\circ$ y el esfuerzo principal menor σ_3 (σ_3) se determinó que tiene dirección NE-SW con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de $200.5^\circ/07.9^\circ$. Los datos obtenidos de P (acortamiento) y T (extensión) tiene variaciones y se determinó tres cluster (Figura 45c), y como se analizó anteriormente se presenta rotación de las fallas e irregularidades en las superficies de fallas. Al analizar estos datos con el software MIM nos da un $\Phi=0.6$ y en este caso no muestra una variación

En el sistema de vetas Santa Rosa estamos en un régimen tectónico transtensional, ya que tenemos un $\Phi=0.6$, dominados por un sistema estructural de desgarre (cinemática dextral y sinistral) y con una componente secundaria normal o extensional. El σ_1 (σ_1) tendría una relación directa, espacial y geométrica con los clavos mineralizados y hasta de la orientación del sistema vetiforme.

Teniendo en cuenta lo anterior y el régimen tectónico en donde nos encontramos, el σ_1 (σ_1) es el responsable de la geometría actual del sistema de vetas Santa Rosa, por ese motivo se realizó una comparación en el modelo de Riedel, 1929 (Figura 46a). En la figura 46b se muestra las estructuras de la Veta Santa Rosa, donde se ha reconocido estructuras Y, R y R'; y se observa en las proyecciones estereográficas rotación de las estructuras R', representadas en las variaciones de los paleoesfuerzos. En la figura 43c se muestra estructuras R' y I (fallas inversas) y se ve una variación principalmente por irregularidades en la superficie (variación en la vertical) en las estructuras I. En la figura 46d se muestran un compósito de todas las estructuras (Y, R, R' y I). En la figura 47a se realizó un esquema con todas las estructuras de las estaciones estructurales estudiadas. En la figura 47b y 47c se muestran la orientación de los paleoesfuerzos determinados por los softwares Faultkin y MIM y estos son muy similares con σ_1 promedio $290^\circ/15^\circ$.

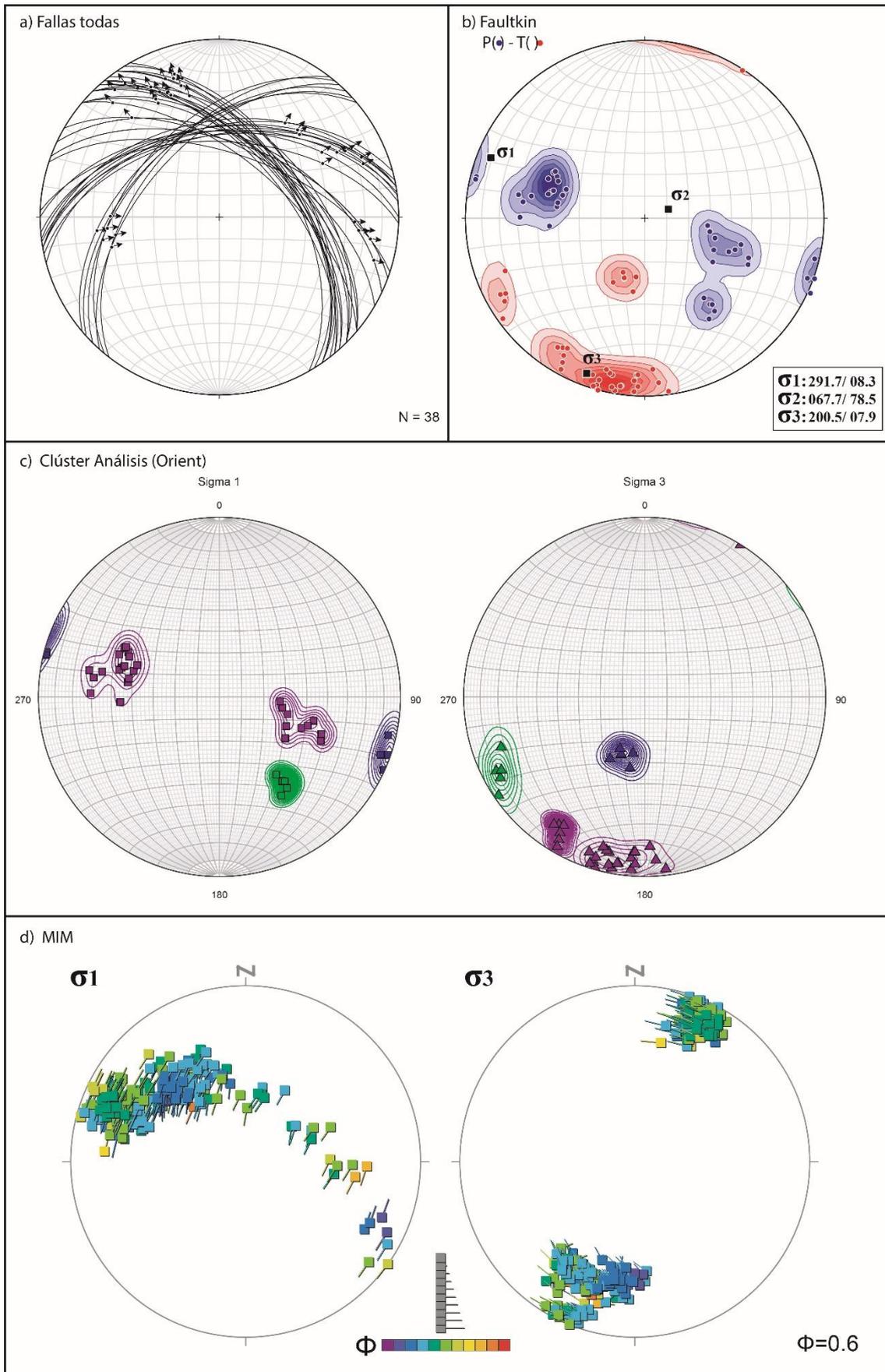


Figura 45: a) Datos de las Fallas de Santa Rosa ramal piso, b) Datos procesados en el faultkin, c) datos procesados en Orient y d) Datos procesados en el MIN.

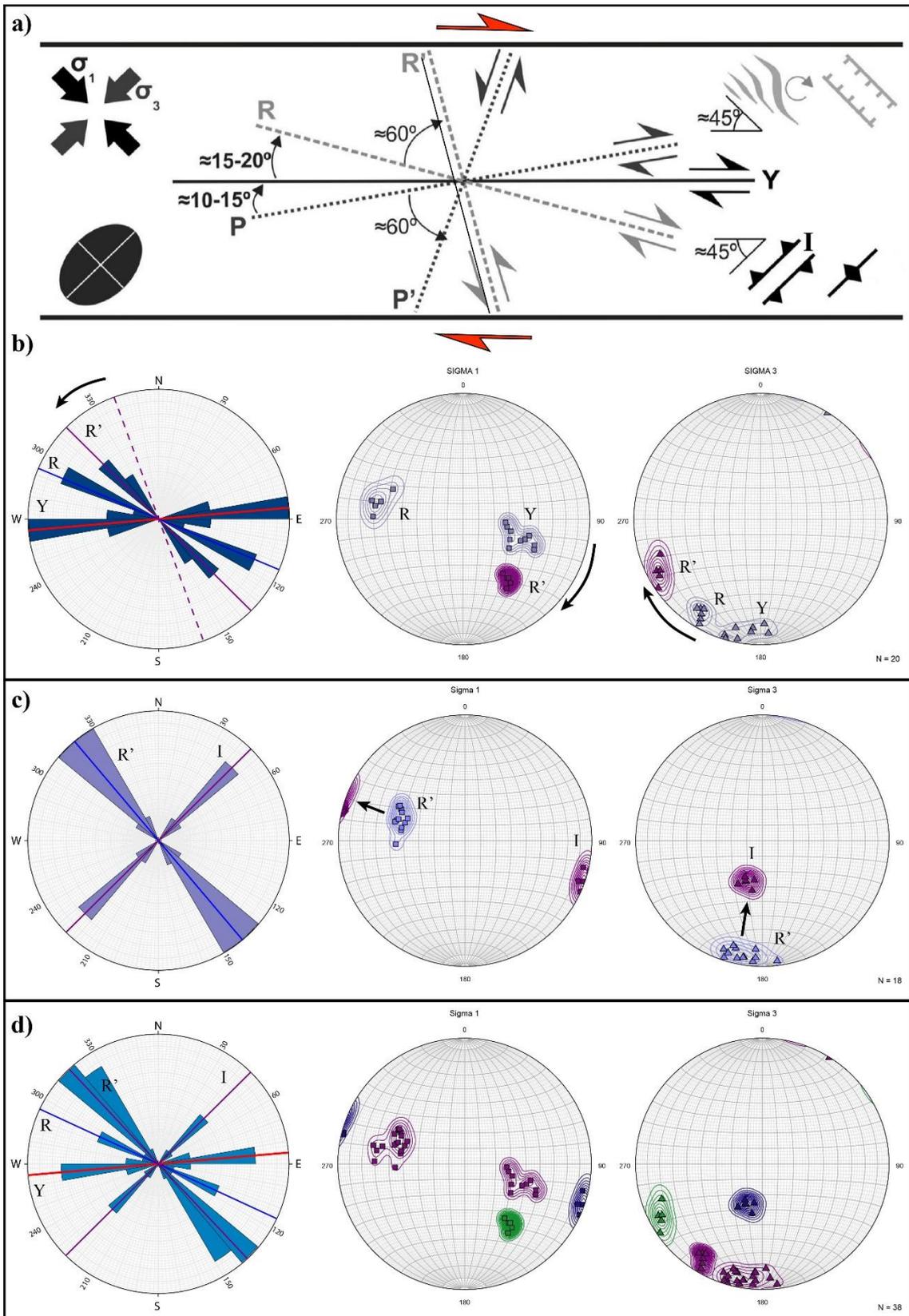


Figura 46: a) Modelo de Riedel b,c,d) Gráficos de rosetas de las estructuras y gráficos de la distribución de los ejes P y ejes T. Tomado de Moreira y Dias (2018).

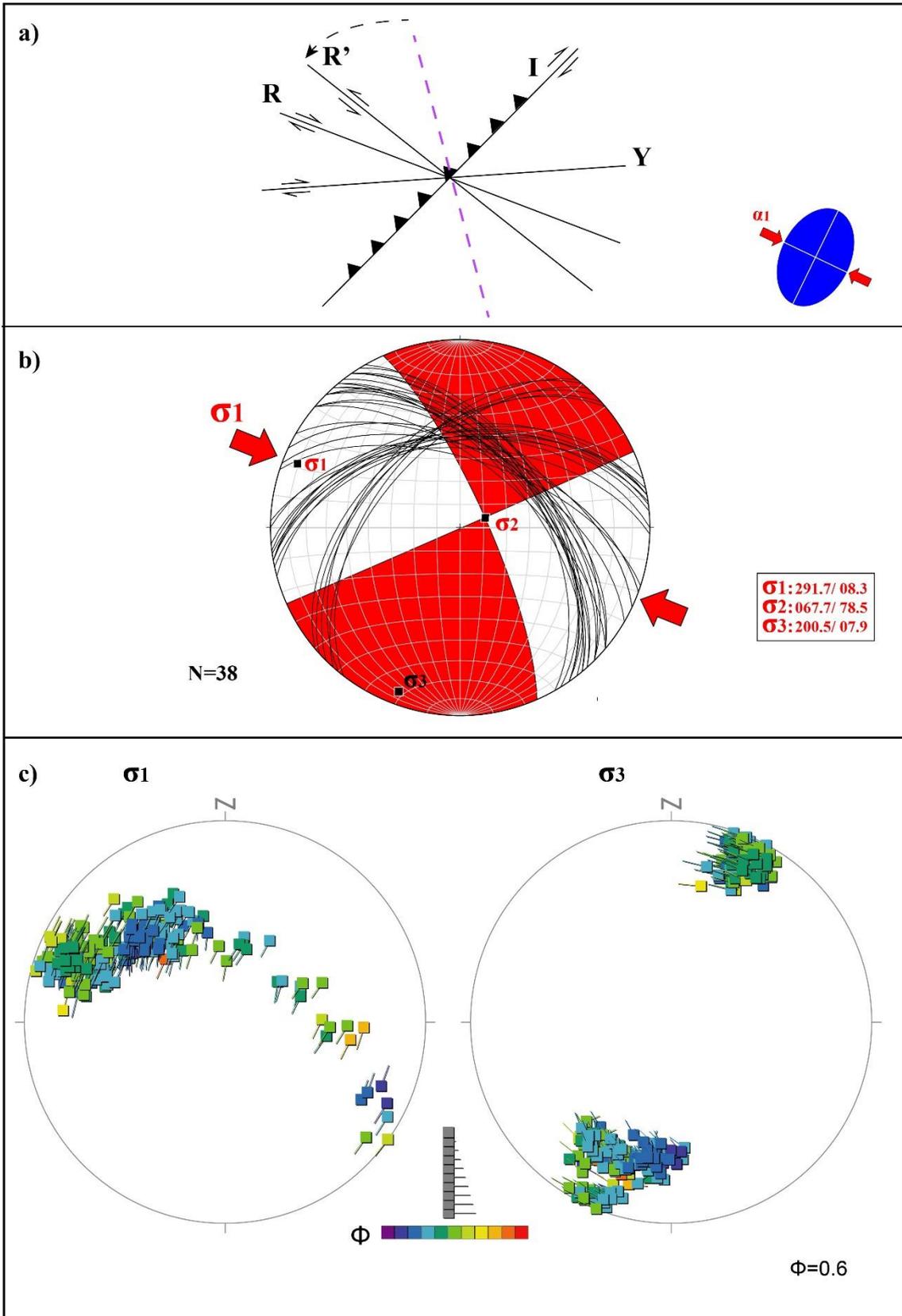


Figura 47: a) Distribución de las estructuras y su relación con el modelo de Riedel y los paleoesfuerzos; b, c) Determinación de los paleoesfuerzos mediante el Faultkin y MIM de todas las estructuras.

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El control estructural y los procesos de mineralización del sistema de vetas mesotermales en la unidad Santa Filomena, se dieron a través de un sistema de fallas tipo Riedel en un régimen tectónico principalmente transtensional ($\Phi > 0.55$) durante el Cretácico, emplazadas en rocas intrusivas. Estas vetas constituyen la principal evidencia estructural entre los procesos de deformación y mineralización de alta ley de oro (3-5 Onz/TC. de Au), lo que permiten establecer criterios estructurales de explotación en la unidad. Se permitió demostrar que la mineralización de oro se emplazó en un sistema de fallas de régimen transtensional de fallas tipo Riedel, Santa Rosa está dada por una cinemática dextral y una componente secundaria normal, a lo largo de la veta hay una serie de estructuras secundarias clasificadas como estructuras de riedel y anti riedel una de las más importantes es la veta Santa Rosa ramal piso de cinemática sinistral normal (anti riedel).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El cartografiado geológico a detalle ha permitido determinar y reconocer estructuras favorables a la mineralización, como estructuras extensionales (dilatational jogs), lazos sigmoides, para correlacionar entre distintos niveles y explorar nuevas estructuras mineralizadas.

La veta Santa Rosa es la estructura principal del sistema, a partir de esta se forman estructuras extensionales (dilatational jogs), secundarias tipo riedel y anti riedel de corto alcance, siendo la más importante por su contenido mineralógico la veta Santa Rosa ramal piso (estructura tipo cola de caballo).

El análisis geométrico y cinemático se concluye que es una zona transtensional ($\Phi=0.6$) de fallas de rumbo con una componente secundaria normal, las mismas que son las responsables del emplazamiento de la mineralización en el sistema, la veta Santa Rosa está dada por una cinemática dextral normal y Santa Rosa ramal es una estructura anti riedel respecto a ésta con una cinemática sinistral normal.

En el sistema de vetas Santa Rosa el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de $290^\circ/15^\circ$ y, siendo el sigma 1 (σ_1) el responsable del emplazamiento de la mineralización de oro y la configuración estructural.

5.2. RECOMENDACIONES

La empresa deberá explorar por medio de perforación diamantina o labores mineras las estructuras tipo riedel, que siguen la dirección del campo de esfuerzos sigma 1 (N292°) para la búsqueda de nuevos clavos mineralizados en la profundización de la veta.

De acuerdo a la dirección del esfuerzo principal mayor sigma 1 (σ_1), que se determinó en la veta Santa Rosa que generan estructuras de dilatación (dilatational jogs), se recomienda explorar todas las estructuras que cumplen con esta dirección ya que son favorables a la mineralización, pero hay que tener en cuenta rotaciones y variaciones de las superficies de las estructuras ya que podemos dejar de lado posibles zonas favorables de mineralización que nos pueden dar otras direcciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. 2006. Características metalogénicas de los yacimientos asociados a los arcos magmáticos mesozoicos del sur del Perú.
- Anderson, E. 1951. The Dynamics of Faulting (2nd ed.). Olivier y Boyd, Edinburgh. 208 pp.
- Angelier, J. 1994. Fault Slip Analysis and Paleostress Reconstruction. In: Hancock, P.L., Ed., Continental Deformation, Pergamon Press, Oxford, p. 53-100.
- Areas, F. 2012. El proyecto de investigación. Venezuela. Sexta edición. Editorial Episteme.
- Babín, R. y Gómez, D. 2010. Problemas de Geología Estructural. Rotaciones Reduca (Geología). Serie Geología Estructural.
- Bellier, O., Zoback, M. Lou, 1995. Recent state of stress change in the Walker Lane zone, western Basin and Range province, United States. Tectonics 14, 564–593.
- Boetch, M. 2014. Control Estructural de la Mineralización Argentó-Aurífera y Criterios de Exploración en el Distrito Cerro Bayo, Región de Aysén, Chile. Universidad de Chile.
- Canllahui, J. 2018. Análisis estructural y su relación con el emplazamiento de la mineralización en el proyecto crucero – Puno. Universidad de Altiplano. Puno.
- Carlotto, et al. 2009. Dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú. Sociedad Geológica del Perú. Boletín, n. 103, pp. 1-89
- Contreras, P. 2013. Caracterización de la mineralogía de alteración hidrotermal en superficie del Volcán Tacora y sus alrededores, región de Arica y Parinacota. Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Dolores, G. 2014. Caracterización mineralógica de las alteraciones hidrotermales en el yacimiento de oro la india. Universidad Nacional Autónoma de México. Sonora, México.
- Loaiza, E. et. Al. 2008. Mineralización y explotación artesanal en la costa sur del Perú.
- Macharé, J. 2016. Aspectos Clave de la Geología Estructural para las

Exploraciones, Universidad Nacional de Ingeniería, Instituto Geofísico del Perú.

- Martell, S. 2021. Estimación de reservas minerales de oro y plata de la veta filomena, Sancos - Lucanas - Ayacucho. Universidad Nacional de Cajamarca. Ayacucho, Perú.
- Moireira, N. 2018. Domino structures evolution in strike-slip shear zones; the importance of the cataclastic Flow.
- Narro, R. 2008. Estudio Litológico, Alteraciones y Moneralización en el Lithocap del Cerro Breapampa, Provincia de Ayacucho. Universidad Nacional de Cajamarca. Ayacucho, Perú.
- Palma, G. 2014. Caracterización de la Litología, Alteración y Mineralización del Clúster de Pórfidos Luciano, distrito minero Casale, III region de Atacama, Chile.
- Ragan, D. M. 1987. Geología Estructural. Ed. Omega. Barcelona. 210 pp.
- Reches, Z. 1983. Faulting of rocks in three-dimensional strain fields. II Theoretical analysis. *Tectonophysics*, 47, 109-129 pp.
- RIEDEL, W. 1929. Zur mechanik geologischer Brucherscheinungen. *Zentralblatt fuer Mineralogie, Geologie und Palaeontologie*: 354-368. Stuttgart.
- Ritz, J. F. 1994. Determining the slip vector by graphical construction: use of a simplified representation of the stress tensor. *Journal of Structural Geology*. Vol. 16: 737-741.
- Sampieri, R. et al 2006. Metodología de la Investigación, México. Sexta edición.
- Siame, L.L., Bellier, O., 2005. Deformation partitioning in flat subduction setting: Case of the Andean foreland of western Argentina (28° S – 33° S), 1–24.
- Ulloa, C. 2009. Control Mineralógico en la Distribución de Leyes en el Cuerpo Nora del Yacimiento Mantos Blancos. Universidad de Chile.
- Vollmer, F.W. 2015. Orient 3: a new integrated software program for orientation data analysis, kinematic analysis, spherical projections, and Schmidt plots *Geolog. Soc. Am. Abstr. Progr.*, 47 (7) (2015), p. 49.
- Yomona, C. 2012. Estudio de la Mineralización y Alteración Hidrotermal en Secuencias Volcánicas Cenozoicas del Cerro Viscachas (San Miguel-Cajamarca). Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.

ANEXOS

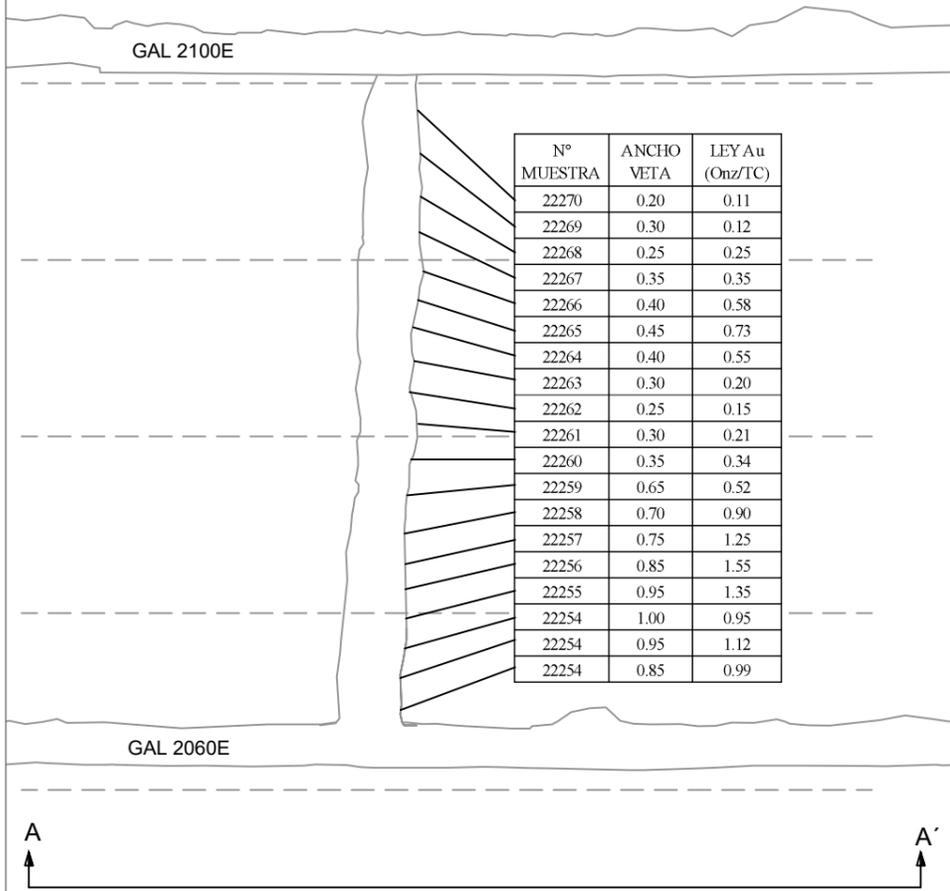
Datos Estructurales (1)

Relación de Láminas y Planos (2)

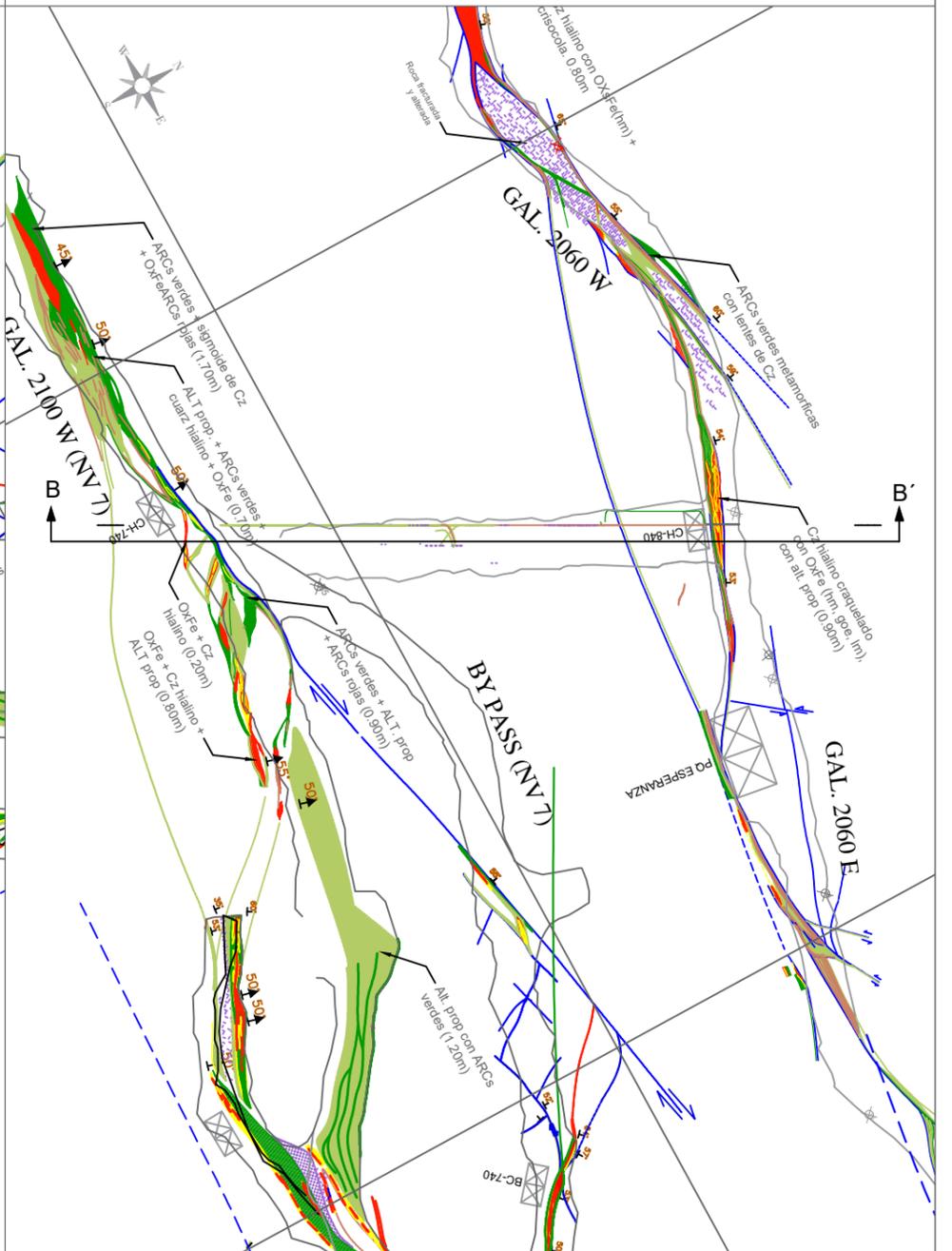
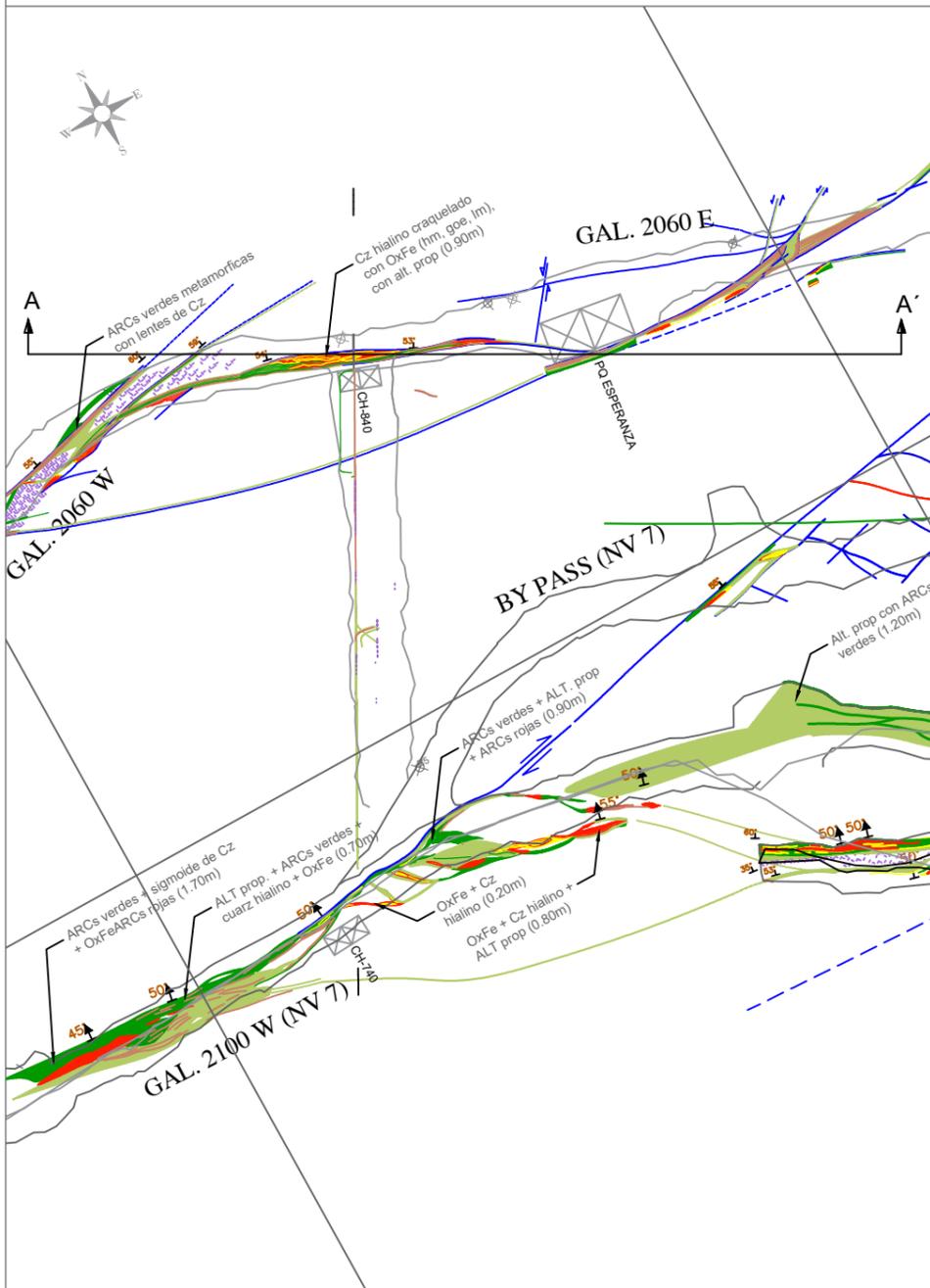
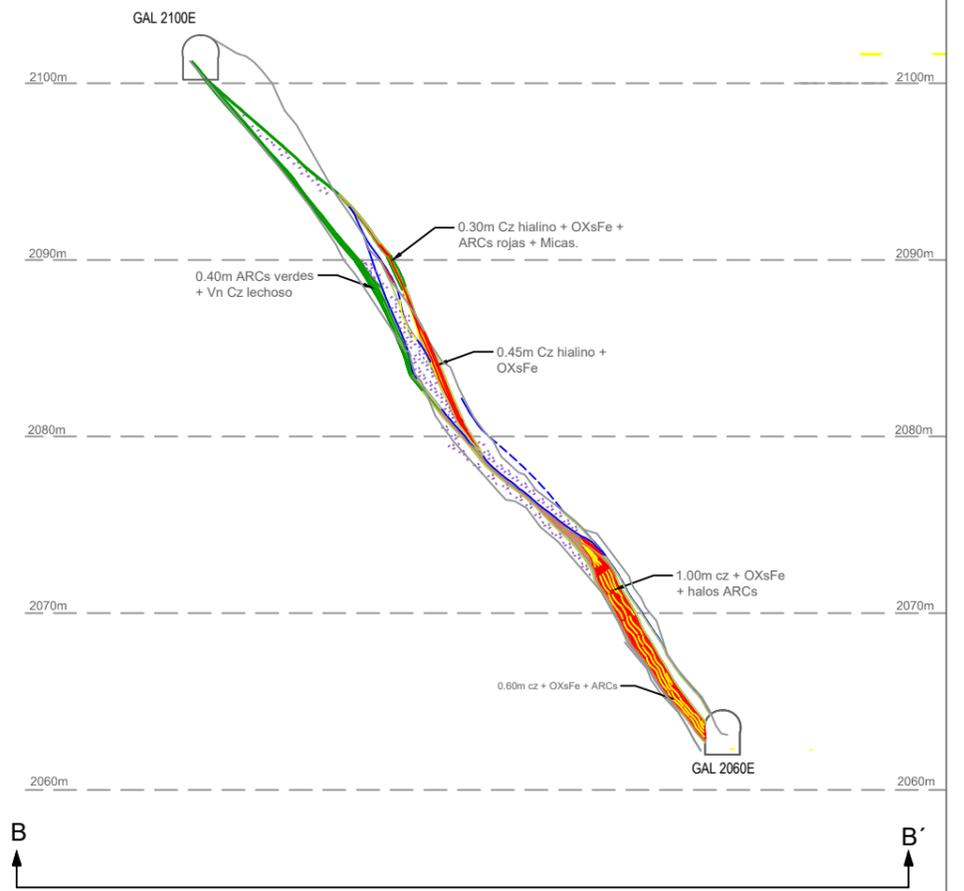
Tabla 14: Datos estructurales (Anexos...1)

DIRECCIÓN Strike	BUZAMIENTO Dip	AR-RAKE	ESTRÍA			CINEMÁTICA Kinematics	SIGMA 3 (T)		SIGMA 1 (P)		ESTRUCTURA
			Pitch	Trend	Plunge		Trend	Plunge	Trend	Plunge	
260	50	-160	20	66.83217	15.18892	DxNx	213.6256	15.61998	110.1674	39.77566	Veta Santa Rosa
262	52	-160	20	69.36966	15.63544	DxNx	215.2598	14.16778	113.5708	38.74935	
260	45	-155	25	61.7511	17.38772	DxNx	212.0174	16.7796	104.2505	45.34153	
263	48	-150	30	61.87732	21.81262	DxNx	211.7846	12.14611	108.2573	47.38232	
265	50	-145	35	60.76822	26.06465	DxNx	210.8251	8.269379	110.8772	49.92582	
260	48	-130	50	41.42978	34.70017	DxNx	197.1072	4.04866	99.73237	61.12673	
270	50	-135	45	57.26759	32.79775	DxNx	210.0849	4.099989	113.7765	56.88143	
255	48	-128	52	34.42166	35.84582	DxNx	190.8553	3.385901	94.32164	62.52756	
258	52	-132	48	43.63719	35.84582	DxNx	196.2457	1.217762	104.2849	58.14913	
272	55	-135	45	62.16243	35.39626	DxNx	32.00026	0.228968	122.3225	54.60277	
320	60	-10	10	325.0384	8.649165	SxNx	184.0551	14.31283	281.6482	27.38006	
310	62	-15	15	317.1698	13.21017	SxNx	176.1203	9.809675	271.7513	29.57465	
315	55	-10	10	320.7751	8.177733	SxNx	178.0126	17.75804	278.8462	30.4085	
318	58	-18	18	327.7695	15.19241	SxNx	184.7726	10.91802	282.2646	34.05682	
325	53	-22	22	338.6662	17.40801	SxNx	192.8428	12.35683	293.2753	39.57558	
288	60	-150	30	91.89789	25.65891	DxNx	235.8111	2.714955	143.4252	41.28002	
290	55	-155	25	95.02599	20.25437	DxNx	240.4892	9.252607	142.4715	40.56966	
295	52	-150	30	95.43213	23.20396	DxNx	243.3187	9.017407	144.0068	45.55658	
295	52	-165	15	105.6325	11.76817	DxNx	250.5561	16.92517	148.0578	35.41921	
290	55	-160	20	98.20802	16.27014	DxNx	242.7845	11.97426	143.5427	37.13445	
310	55	-35	35	331.8815	28.02432	SxNx	184.4937	4.206324	279.1046	47.5453	Veta Santa Rosa ramal piso
320	57	-30	30	337.4556	24.79263	SxNx	192.0633	5.083251	286.8167	42.97137	
325	50	-25	25	341.6854	18.88952	SxNx	193.8666	13.03802	296.3875	43.11315	
318	56	-28	28	334.5587	22.90533	SxNx	189.0312	6.903436	285.3152	42.11508	
315	52	-35	35	338.3204	26.87107	SxNx	189.3278	6.646146	287.0365	49.0201	
322	55	-38	38	346.1384	30.28625	SxNx	198.0909	2.80698	291.4003	49.65748	
220	47	130	50	259.1033	34.07305	lxDx	201.9953	61.45018	102.857	4.938678	
230	48	135	45	263.7877	31.70075	lxDx	209.1014	57.64186	109.8279	5.829837	
225	50	128	52	264.4452	37.13185	lxDx	202.143	61.80751	109.1826	1.585782	
218	52	124	56	260.3884	40.79016	lxDx	191.5985	63.8034	284.6998	1.524692	
228	50	125	55	270.5518	38.86642	lxDx	205.3364	63.92688	114.0711	0.6190994	
222	55	132	48	254.498	37.49907	lxDx	191.5793	56.72325	283.7517	1.42512	
330	55	-25	25	344.974	20.25437	SxNx	199.5108	9.252607	297.5285	40.56966	
300	57	-32	32	318.7949	26.38673	SxNx	173.0461	4.063391	267.032	44.37694	
310	52	-33	33	331.7923	25.41562	SxNx	183.2551	7.577164	281.6407	47.63061	
325	54	-30	30	343.7451	23.86033	SxNx	196.8603	7.446261	294.2552	44.56015	
328	50	-22	22	342.5583	16.67636	SxNx	195.3584	14.57247	298.4683	41.10451	
315	48	-25	25	332.329	18.30447	SxNx	183.5426	14.54073	288.0718	44.04518	

SECCION LONGITUDINAL

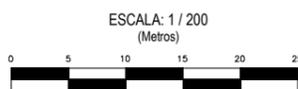


SECCION TRANSVERSAL



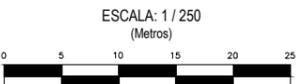
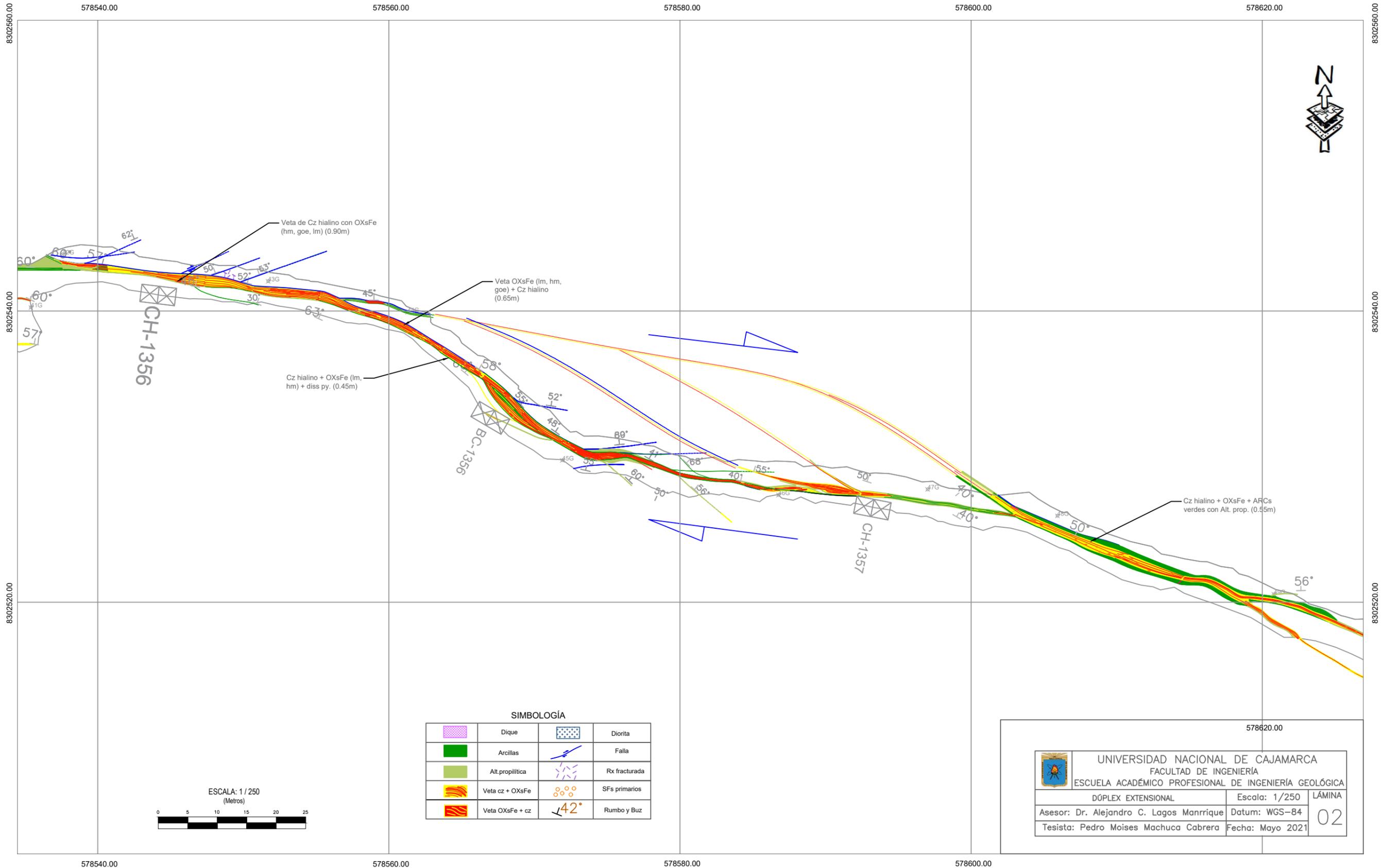
SIMBOLOGÍA

	Dique		Diorita
	Arcillas		Falla
	Alt. propilitica		Rx fracturada
	Veta cz + OXsFe		SFs primarios
	Veta OXsFe + cz		Rumbo y Buz



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

LÁMINA CH 840 – NV 8 SANTA ROSA	Escala: 1/200	LÁMINA
Asesor: Dr. Alejandro C. Lagos Manrique	Datum: WGS-84	01
Tesista: Pedro Moises Machuca Cabrera	Fecha: Mayo 2021	

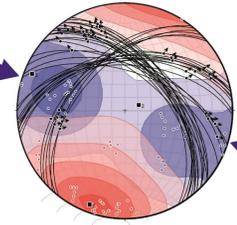


SIMBOLOGÍA

	Dique		Diorita
	Arcillas		Falla
	Alt. propilitica		Rx fracturada
	Veta cz + OXsFe		SFs primarios
	Veta OXsFe + cz		Rumbo y Buz

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
DÚPLEX EXTENSIONAL	Escala: 1/250	LÁMINA
Asesor: Dr. Alejandro C. Lagos Manrique	Datum: WGS-84	02
Tesisista: Pedro Moises Machuca Cabrera	Fecha: Mayo 2021	

577120.00 577200.00 577280.00 577360.00 577440.00 577520.00 577600.00 577680.00



Esfuerzo principal mayor
Trend :292
Plunge: 08



8302000.00

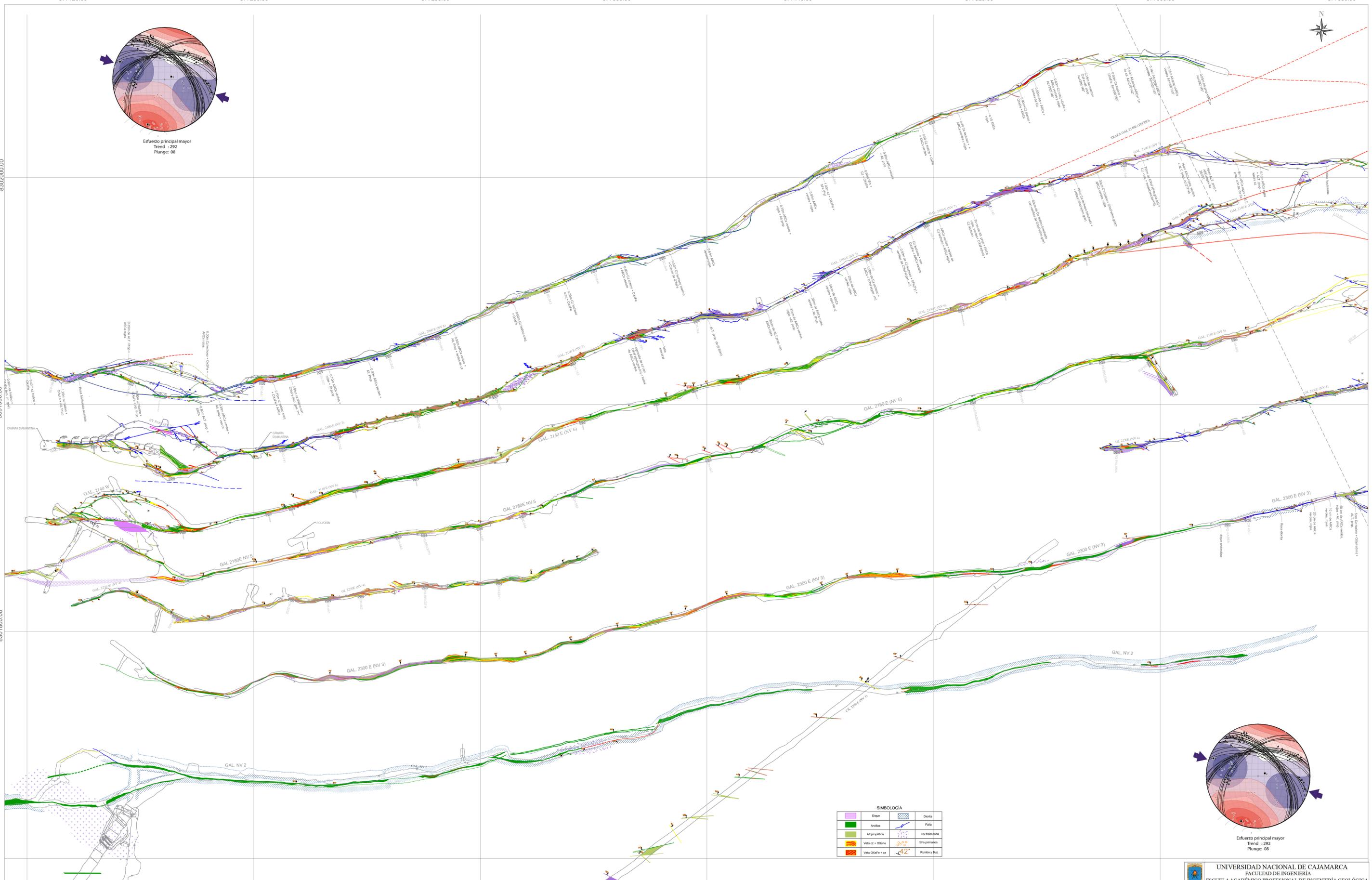
8302000.00

8301900.00

8301900.00

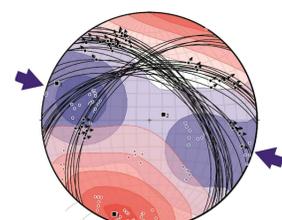
8301800.00

8301800.00



SIMBOLOGÍA

	Diapas		Diapas
	Acútilas		Falla
	Alt. propélica		Ra. fracturada
	Veta cz + OXUa		Sfz primarios
	Veta OXUa + rz		Rumbo y Buc



Esfuerzo principal mayor
Trend :292
Plunge: 08

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
PLANO GEOLOGICO DE SANTA ROSA Escala: 1/750 PLANO:
Asesor: Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique Datum: WGS-84 05
Tesis: Pedro Moisés Machuca Cabrera Fecha: Mayo 2021

577100.00 577200.00 577300.00 577400.00 577500.00 577600.00

577600.00

577700.00

577800.00

8302000.00

8301900.00

8301800.00

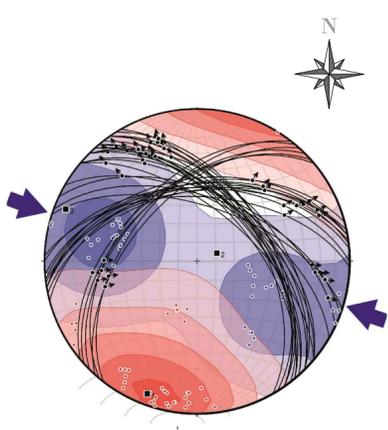
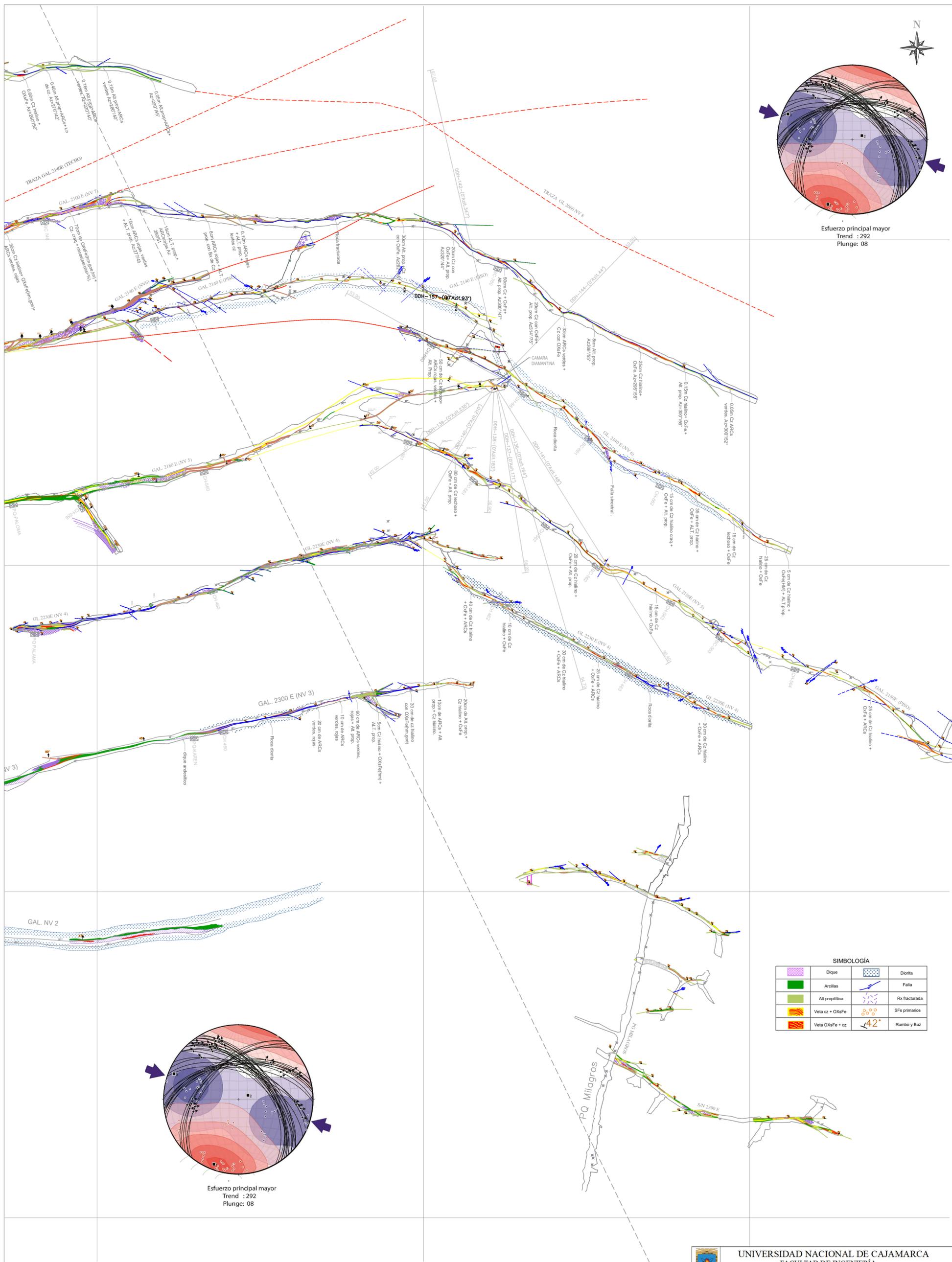
8301700.00

8302000.00

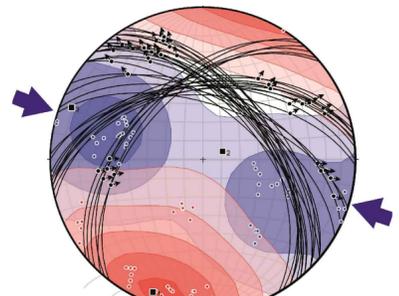
8301900.00

8301800.00

8301700.00



Esfuerzo principal mayor
Trend : 292
Plunge: 08



Esfuerzo principal mayor
Trend : 292
Plunge: 08

SIMBOLOGÍA

	Dique		Dorita
	Ardillas		Falla
	Altiplanicas		Rx fracturada
	Veta cz + OXFe		SFs primarios
	Veta OXFe + cz		Rumbo y Buz

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

PLANO GEOLÓGICO DE SANTA ROSA PISO	Escala: 1/750	PLANO:
Asesor: Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique	Datum: WGS-84	06
Tesista: Pedro Moises Machuca Cabrera	Fecha: Mayo 2021	