

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y SU RELACIÓN CON EL
EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACIÓN EN EL
PROYECTO CRUCERO - PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

JUAN CARLOS CANLLAHUI DURAN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2018

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

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y SU RELACIÓN CON EL
EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACIÓN EN EL
PROYECTO CRUCERO - PUNO**

TESIS
PRESENTADA POR:

JUAN CARLOS CANLLAHUI DURAN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

APROBADA POR:

PRESIDENTE:



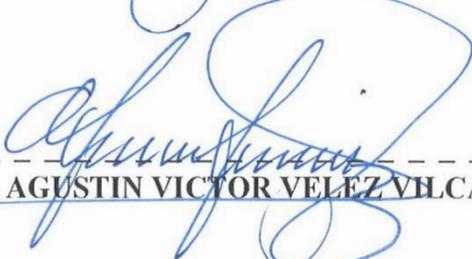
Dr. VICTORIANO ROLANDO APAZA CAMPOS

PRIMER MIEMBRO:



MSc. NEWTON VICTOR MACHACA CUSILAYME

SEGUNDO MIEMBRO:



MSc. AGUSTIN VICTOR VELEZ VILCA

DIRECTOR / ASESOR:



Ing. LUIS VICENTE ORTIZ GALLEGOS

AREA: GEOLOGIA DE MINAS

TEMA: ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Puno, 05 de Abril del 2018

DEDICATORIA

A mis queridos padres que son mi razón de ser Natalia Duran Vilca (☼28-07-1955–†13-11-2015) y Julio Canllahui Mamani

A mi esposa Sonia y mis hermanos Donato, Martha y Maribel Roxana.

A las personas que me motivaron con tanto ánimo y darme su apoyo moral para poder concluir mis estudios y empezar una nueva etapa.

AGRADECIMIENTO

A Dios y Jesús Cristo por darme vida y salud y ser mi fe y guía en cada paso que doy día a día.

Expreso mi agradecimiento a la empresa minera Lupaka Gold Perú S.A.C., empresa que me brindó su apoyo para la realización del trabajo de tesis, así mismo a mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano - Puno que me acogió en sus aulas y haberme permitido alcanzar una meta en mi camino y en mi vida profesional.

A mis docentes de la escuela profesional de Ingeniería Geológica, quienes han contribuido con la enseñanza en mi formación profesional; a mis compañeros de aula en mi época de estudiante en la Universidad y amigos de trabajo de la empresa minera Lupaka Gold Perú S.A.C. por el apoyo en las labores que se les encomendó dentro de la empresa.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	xvi
RESUMEN	xix
ABSTRACT.....	xx

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 INVESTIGACIÓN CIENTIFICA	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 ANTECEDENTES DEL PROYECTO	4
1.3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.3.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL PROYECTO.....	5
1.4 JUSTIFICACIÓN	7
1.5 HIPÓTESIS	8
1.6 OBJETIVOS	8
1.6.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 TECTONICA DE LOS ANDES.....	10
2.1.1 LOS ANDES BAJO EL PESO DE UN PARADIGMA.....	10
2.1.2 LOS ANDES OCCIDENTALES Y ANDES ORIENTALES EN EL SUR DEL PERÚ.....	11
2.2 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA EVOLUCION DE LOS ANDES PERUANOS	12
2.3 DOMINIOS GEOTECTONICOS, METALOGENIA Y SU REALCION CON YACIMIEMTOS MINERALES DE INTERES ECONOMICO	14
2.3.1 EN EL SUR ESTE DEL PERÚ	14
2.3.2 (I) FRANJA DE AU EN ROCAS METASEDIMENTARIAS DEL ORDOVÍCICO Y SILURO-DEVÓNICO	15
2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	19
2.4.1 RELACIÓN ESFUERZO – DEFORMACIÓN DE LAS ROCAS	19
2.4.2 TENSOR DE ESFUERZOS	20
2.4.2.1 TIPOS DE RÉGIMEN DE ESFUERZOS	21
2.4.3 COMPORTAMIENTO FRAGIL	22
2.4.3.1 CIZALLA PURA.....	23
2.4.3.2 CIZALLA SIMPLE	24
2.4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA DEFORMACION Y ROCAS DE FALLA	25
2.4.4.1 CLASES DE FALLAS	27

2.4.5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	28
2.4.5.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO	28
2.4.5.2 ANÁLISIS DINAMICO	29
2.4.6 ANÁLISIS CINEMATICO DE FALLAS.....	32
2.4.6.1 PRINCIPALES INDICADORES CINEMÁTICOS.....	33
2.4.7 ANÁLISIS GRAFICO DE FALLAS	40
2.4.7.1 RELACIÓN GRAFICA DE FALLAS EN EL MODELO DE CIZALLAMIENTO.....	40
2.4.7.2 PLANOS MODALES.....	41
2.5 MODELO CONCEPTUAL PARA YACIMIENTOS TIPO “FAJAS DE PIZARRAS AURIFERAS EN CINTURONES OROGENICOS”.....	45
2.6 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS REGIONALES	47
2.6.1 GEOMORFOLOGIA REGIONAL	47
2.6.1.1 RELIEVE CORDILLERANO (Altas Cumbres)	47
2.6.1.2 ALTIPLANICIE	48
2.6.1.3 LADERA DE VALLE.....	48
2.6.1.4 VALLE GLACIAR.....	48
2.6.1.5 VALLE CAÑON	49
2.6.1.6 NEVADOS	49
2.6.1.7 CIRCOS GLACIARES.....	49
2.6.1.8 DEPÓSITOS MORRENICOS Y GLACIOFLUVIALES	49
2.6.2 ESTRATIGRAFIA REGIONAL.....	51

2.6.2.1 PALEOZOICO	51
2.6.2.2 CENOZOICO	53
2.6.2.3 ROCAS INTRUSIVAS	54
2.7 TECTÓNICA REGIONAL	56
2.7.1 ZONAS ESTRUCTURALES	56
2.7.1.1 BLOQUE DE CRUCERO-ANANEA	56
2.7.1.2 BLOQUE DE CARABAYA-SANDIA	57
2.8 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS LOCALES	57
2.8.1 UBICACIÓN	57
2.8.2 EXTENSIÓN Y PROPIEDAD MINERA	59
2.8.3 VÍAS DE ACCESOS	60
2.8.4 FISIOGRAFIA Y DRENAJE	61
2.8.5 GEOMORFOLOGIA LOCAL	62
2.8.5.1 FACTORES GEOMORFOLOGICOS	62
2.8.5.2 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	63
2.8.6 ESTRATIGRAFÍA LOCAL	64
2.8.6.1 PALEOZOICO	64
2.8.6.2 CENOZOICO	66
2.8.6.3 ROCAS INTRUSIVAS	67
2.8.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	68
2.8.7.1 PLIEGUES	69
2.8.7.2 FALLAS	70

CAPÍTULO III**MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1 INTRODUCCIÓN	74
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS DE TRABAJO	75
3.3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	76
3.3.1 RECOPIACIÓN, REVISIÓN E INTERPRETACION PRELIMINAR	76
3.3.1.1 RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN	76
3.3.1.2 INTERPRETACIÓN PRELIMINAR.....	76
3.3.2 TRABAJO DE CAMPO Y VALIDACIÓN DE LA INTERPRETACIÓN PRELIMINAR.....	77
3.3.2.1 RANURADO CONTINUO (CHANNEL SAMPLING).....	78
3.3.2.2 RANURADO DISCONTINUO (CHIP SAMPLING)	78
3.3.3 TRABAJO DE GABINETE, COMPILACIÓN DE LA BASE DE DATOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	79
3.3.4 FORMULACIÓN DEL DOCUMENTO - MATERIA DE INVESTIGACIÓN... ..	82

CAPÍTULO IV**RESULTADOS Y DISCUSIONES**

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS INDICADORES CINEMATICOS Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PLIEGUES	84
4.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PRINCIPALES LINEAMIENTOS.....	84
4.1.2 CARACTERIZACIÓN DE INDICADORES CINEMATICOS DE FALLAS	85

4.1.2.1 CINEMATICA DE FALLAS DE LA ZONA A-1 EN EL PROYECTO CRUCERO.....	85
4.1.2.2 CINEMATICA DE FALLAS DE LA ZONA A-11.....	87
4.1.2.3 CINEMATICA DE FALLAS DE LA ZONA A-8 Y ZONA A-7.....	88
4.1.3 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA DEFORMACIÓN DE LOS ESTRATOS EN LAS PIZARRAS.....	91
4.1.3.1 DEFORMACIÓN DE LOS ESTRATOS DE LA ZONA A-1 EN EL PROYECTO CRUCERO.....	91
4.1.3.2 DEFORMACIÓN DE LOS ESTRATOS DE LA ZONA A-8 EN EL TARGET TUNTANI.....	92
4.2 DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS PRINCIPALES Y RELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS CON LA MINERALIZACION DE LA ZONA A-1.....	93
4.2.1 DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS PRINCIPALES.....	93
4.2.1.1 DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE LA ZONA A-1 EN EL PROYECTO CRUCERO.....	93
4.2.1.2 DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE LA ZONA A-11.....	94
4.2.1.3 DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE LA ZONA A-8 EN EL TARGET TUNTANI.....	96
4.2.1.4 DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE LA ZONA A-7.....	97
4.2.1.5 RESUMEN DE LOS ESFUERZOS PRINCIPALES EN EL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....	99
4.2.2 RELACIÓN ESTRUCTURAL CON EL EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACIÓN EN LA ZONA A-1.....	100

4.2.2.1 RELACIÓN GEOMETRICA – CINEMATICA DE LAS FALLAS Y LA MINERALIZACIÓN.....	100
4.3 DISCUSIONES	103
CONCLUSIONES.....	106
RECOMENDACIONES.....	108
BIBLIOGRAFÍA	109
ANEXOS	118
DATOS DE CAMPO.....	119
RELACIÓN DE MAPAS	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partición aproximativa entre Andes Occidentales (magmáticos) y Andes Orientales (tectónicos) en el Oroclino Centro-Andino (OCA).....	12
Figura 2. Dominios morfo-estructurales de la Cordillera de los Andes en el Perú, se muestra de SO al NE.....	13
Figura 3. Mapa geotectónico del Perú & principales minas y proyectos	14
Figura 4. Mapa mostrando las ubicaciones de los prospectos de Sn-Cu-Sn, U y depósitos de Ag-Pb-Zn, Au	16
Figura 5. Mapa metalogénico del Sur del Perú mostrando las grandes fallas que delimitan los bloques litosféricos	17
Figura 6. Sección estructural del Sur del Perú mostrando las franjas metalogénicas.	18
Figura 7. Graficas de “esfuerzo deformación” y los tipos de comportamiento de las rocas	19
Figura 8. Componentes del tensor tensión en un punto P de un sólido deformable.....	21
Figura 9. Regímenes tectónicos puros en función de la orientación de los ejes de esfuerzos	22
Figura 10. Deformación por cizalla pura y la geometría de las fallas asociadas a este tipo de deformación	24
Figura 11. Deformación por cizalla simple y la geometría de las fallas asociadas a este tipo de deformación	25
Figura 12. Clasificación de rocas de falla.....	27
Figura 13. Esquema de los diferentes tipos de fallas de acuerdo con el desplazamiento real	28
Figura 14. Clasificación dinámica de fallas.....	30

Figura 15. Modelo de Riedel representando relaciones angulares, siendo σ_1 el esfuerzo principal máximo	31
Figura 16. Representación del sistema de fracturamiento de Riedel	32
Figura 17. Nomenclatura de fallas con base en el ángulo del pitch de las estrías	33
Figura 18. Fracturas secundarias asociadas a fallas mostrando las relaciones con el sentido de cizalla.....	34
Figura 19. Tipos de indicadores cinemáticos - tectoglifos	36
Figura 20. Escalones congruentes que no encaran, con cristalización de mineral	37
Figura 21. Criterios para determinar movimiento de falla	38
Figura 22. Formación de lentes o estructuras sigmoidales, por la rotación de fallas secundarias R, R' y P	39
Figura 23. Esquema de movimientos en una zona transcurrente.....	41
Figura 24. Proyección de planos nodales en el hemisferio inferior de la red estereográfica de Schmit	41
Figura 25. Planos nodales, trazados a partir de poblaciones de polos. Círculos blancos son polos extensivos y círculos negros son polos compresivos.....	42
Figura 26. Representación gráfica de planos modales de distintos tipos de movimientos de fallas	43
Figura 27. Deformación de una muestra de roca, indicando ejes de extensión y acortamiento.....	44
Figura 28. Modelo conceptual para yacimientos del tipo orogénicos de oro “faja de pizarras auríferas en cinturones orogénicos”	47
Figura 29. Vista panorámica de la Cordillera Oriental	48
Figura 30. Geomorfología regional	50
Figura 31. Columna estratigráfica regional	51

Figura 32. Rocas del Paleozoico.....	53
Figura 33. Depósitos del Cenozoico	55
Figura 34. Rocas intrusivas.....	56
Figura 35. Mapa de ubicación del Proyecto Crucero de la empresa minera Lupaka Gold Perú S.A.C.	58
Figura 36. Mapa de Propiedades Mineras del proyecto Crucero de la empresa minera Lupaka Gold Perú S.A.C.	60
Figura 37. Vía de acceso por trocha carrozable.....	61
Figura 38. Vista panorámica del relieve topográfico.....	62
Figura 39. Vista panorámica del relieve geomorfológico	64
Figura 40. Vista panorámica del contacto entre pizarra e intrusivo Aricoma	65
Figura 41. Vista de la acumulación de depósitos aluviales y depósitos de talud	67
Figura 42. Vista panorámica del contacto entre areniscas e intrusivo Aricoma.....	68
Figura 43. Vista panorámica del anticlinal Pacacorral en el proyecto Crucero.....	69
Figura 44. Vista panorámica de fallas principales, diques y vetas	70
Figura 45. Principales estructuras mineralizadas en la zona A-1 y zona A-8	71
Figura 46. Principales estructuras mineralizadas en la zona A-1 y zona A-11	72
Figura 47. Principales estructuras y deformaciones en la zona A-7.....	73
Figura 48. Metodología de los diedros rectos para determinación de las direcciones de acortamiento y extensión	81
Figura 49. Construcción de la gráfica de mecanismo focal (P&T)	81
Figura 50. Indicadores cinemáticos-tectoglifos en la zona A-1	86
Figura 51. Diagrama de rosas de orientación de las fallas en la zona A-1 en el proyecto Crucero.....	87
Figura 52. Indicadores cinemáticos-tectoglifos en la zona A-11	87

Figura 53. Indicadores cinemáticos-tectoglifos en la zona A-11	88
Figura 54. Diagrama de rosas de orientaciones de las fallas en la zona A-11, anomalía de mineralización	88
Figura 55. Indicadores cinemáticos-tectoglifos en la zona A-8 y zona A-7	89
Figura 56. Diagrama de rosas de orientaciones de las fallas en la zona A-8 (target tuntani) anomalía de mineralización	90
Figura 57. Diagrama de rosas de orientaciones de las fallas en la zona A-7, con intensa presencia de oxidación	90
Figura 58. Análisis estereográfico de la estratificación de las pizarras en el proyecto Crucero (zona A-1)	92
Figura 59. Análisis estereográfico de la estratificación de las pizarras en el target Tuntani (zona A-8)	93
Figura 60. Análisis de fallas y determinación de esfuerzos con cinemática dextral normal en la zona A-1	94
Figura 61. Análisis de fallas y determinación de esfuerzos con cinemática dextral normal en la zona A-11	95
Figura 62. Vista panorámica de la zona A-8 en el target Tuntani	96
Figura 63. Análisis de fallas y determinación de esfuerzos con cinemática dextral normal en la zona A-8	97
Figura 64. Análisis de fallas y determinación de esfuerzos con cinemática dextral inversa en la zona A-7	98
Figura 65. Ocurrencia de la mineralización en la zona A-1, en ambos casos con venillas y diseminación de sulfuros	101
Figura 66. Sistema de fallas e indicadores cinemáticos-tectoglifos en la zona A-1	102
Figura 67. Indicador cinemático-tectoglifo en la zona A-1	103

Figura 68. Orientación de los esfuerzos principales que están asociados a la generación de vetas producto del desplazamiento de un plano de falla en diferentes regímenes tectónicos 105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de cizalla y sus diferencias	23
Tabla 2. Clasificación textural de las rocas de falla.....	26
Tabla 3. Clasificación de una falla según el ángulo de pitch con respecto a la horizontal de las estrías	32
Tabla 4. Ubicación en coordenadas UTM PSAD 56 del punto central del área de investigación	58
Tabla 5. Ubicación en coordenadas UTM PSAD 56 del área de investigación	59
Tabla 6. Propiedades mineras CEDIMIN-Buenaventura y Lupaka Gold Perú S.A.C.	59
Tabla 7. Coordenadas UTM PSAD 56 del área de la concesión de Lupaka Gold Perú S.A.C.....	60
Tabla 8. Distancias y tiempos al proyecto Crucero (área de investigación).....	61
Tabla 9. Factores que caracterizan las unidades geomorfológicas	63
Tabla 10. Unidades geomorfológicas	63
Tabla 11. Matriz de los objetivos específicos, el cuadro muestra la relación de los objetivos específicos con los indicadores y métodos usados.....	75
Tabla 12. Lista de materiales y equipos de uso en campo y gabinete	75
Tabla 13. Flujograma metodológico de la elaboración del Trabajo de Investigación ..	83
Tabla 14. Resumen de los esfuerzos sigma 1 (σ_1) y sigma 3 (σ_3) en el área de investigación	99

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A	: Unidad de área
Ag	: Elemento Plata
And	: Tendencia Andino
Aprox	: Aproximadamente
As	: Elemento Arsénico
Au	: Elemento Oro
CEDIMIN	: Compañía de Exploraciones Desarrollo e Inversiones Mineras
CO ₂	: Formula química del dióxido de carbono
Cu	: Elemento Cobre
CuFeS ₂	: Formula química del mineral calcopirita
DDH	: Diamont Drill Hole (Agujero de taladro de diamante)
DIA	: Declaración de Impacto Ambiental
EC	: Cordillera Oriental
EO	: Tendencia Este – Oeste
F	: Símbolo de Fuerza
Fm	: Formación
FeS ₂	: Formula química del mineral pirita
FeAsS	: Formula química del mineral arsenopirita
Fe _{1-x} S	: Formula química del mineral pirrotita
FPACO	: Fajas de Pizarras Auríferas en Cinturones Orogénicos
g/ton	: Gramos por tonelada
GIS-ArcMap	:Geographic Information Sistem (Sistema de información geográfica)
Gpo	: Grupo
GPS	: Global Position Sistem (Sistema de posición global)

Has	: Hectáreas
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero Metalúrgico
Km	: Kilómetros
K ₂ O	: Formula química del óxido de potasio
M	: Metros
Ma	: Millones de años
MOz	: Millones de onzas
M.S.N.M.	: Metros sobre el nivel del mar
N	: Norte
NE	: Dirección Noreste
Ni	: Elemento Niquel
NO	: Dirección Noroeste
NS	: Tendencia Norte-Sur
NNO	: Dirección Nor Noroeste
NNE	: Dirección Nor Noreste
OCA	: Oroclino Centro Andino
P	: Acortamiento o Presión
Pb	: Elemento Plomo
PSAD 56	: Provisional South American Datum of 1956 (Datum Provisional Sudamericano de 1956)
P&T	: Presión y Tensión
S	: Elemento Azufre
Sb	: Elemento Antimonio
Sn	: Elemento Estaño
SE	: Dirección Sureste

SO	: Dirección Suroeste
S.A.C.	: Sociedad Anónima Cerrada
SSE	: Dirección Sur Sureste
Sb ₂ S ₃	: Formula química del mineral estibina
SFCO	: Sistema de Fallas de la Cordillera Oriental
SFUSA	: Sistema de Fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri
SFUACC	: Sistema de Fallas Urcos-Ayaviri-Copacabana-Coniri
T	: Extensión o Tensión
Tan	: Tendencia Trasandino
U	: Elemento Uranio
UTM	: Universal Transversal Mercator
W	: Elemento Wolframio
WC	: Cordillera Occidental
Zn	: Elemento Zinc
ZZSG	: Zona Tectotermal Eocena Zongo-San Gabán
σ	: Esfuerzo
σ_1, σ_2 y σ_3	: Sigma 1, Sigma 2 y Sigma 3
D1 & D2	: Eventos de deformación de 1er orden y 2do orden
S1 & S2	: Eventos de foliación de 1er orden y 2do orden
CPC10	: Collar del Proyecto Crucero 2010

RESUMEN

El trabajo de investigación que se desarrolló en la cordillera Oriental de los Andes, al sur del territorio peruano se encuentra entre los $14^{\circ} 10'S$ y $69^{\circ} 49'O$, aproximadamente a 30 kilómetros al noreste del distrito de Crucero, provincia de Carabaya, departamento de Puno, donde afloran mayormente rocas del Paleozoico, estas rocas se deformaron de manera intensa durante la orogenia Hercinica, formando una zona estructural de orientación Noroeste-Sureste, con plegamientos y fallas regionales. Estas rocas y estructuras hospedan las venillas, vetillas y diseminación con mineralización de oro (Au), emplazadas en un ambiente orogénico. El objetivo de la investigación fue realizar el análisis estructural y determinar la relación con el emplazamiento de la mineralización en las pizarras y lutitas de la formación Ananea que actuaron como rocas hospedantes para el desarrollo del depósito; para realizar el análisis estructural donde se obtuvo la cinemática de la falla Canihuancani de dirección 352° NE y falla Pacacorral de dirección 332° NE; se caracterizaron las fallas de las zonas A-1, A-11, A-8 y A-7, para tal caso se usaron los indicadores cinemáticos de movimiento, y el método de los diedros rectos para obtener el sigma 1 y sigma 3, donde se obtuvo una cinemática de tipo dextral normal. En la zona A-1 la mineralización está relacionada al esfuerzo principal mayor sigma 1 y a una estructura plegada con el eje orientado al $N27^{\circ}-33^{\circ}O$ y con flancos que están abiertos hacia el SE denominada anticlinal Pacacorral, evidenciando mayores concentraciones de valores de oro (> 2 g/ton de Au).

PALABRAS CLAVE: Análisis estructural, Indicadores cinemáticos, Diedros rectos, Mineralización, Oro orogénico.

ABSTRACT

The research work that was developed in the Eastern Andes mountain range, south of the Peruvian territory is between $14^{\circ} 10'S$ and $69^{\circ} 49'W$, approximately 30 kilometers northeast of Crucero district, Carabaya province, Puno department, where mostly Paleozoic rocks emerge, these rocks deformed intensely during Hercinic orogeny, forming a structural zone of Northwest-Southeast orientation, with regional folds and faults. These rocks and structures host the veinlets, veins and dissemination with gold mineralization (Au), Emplaced in an orogenic environment. The objective of the research was to perform the structural analysis and determine the relationship with the emplacement of the mineralization on the slates and shales of the Ananea formation that acted as host rocks for the development of the deposit; to perform the structural analysis where it was obtained the kinematics of the Canihuanconi fault from direction 352° NE and Pacacorral fault from direction 332° NE; were characterized the faults of the zones A-1, A-11, A-8 and A-7, for this case were used the kinematic indicators of movement, and the straight dihedral method to obtain the sigma 1 and sigma 3, where a normal dextral type kinematics were obtained. In the zone A-1 the mineralization is related to the principal effort major sigma 1 and to a folded structure with the axis oriented to $N27^{\circ}-33^{\circ}W$ and with flanks that are open to the SE called Pacacorral anticline, evidencing higher concentrations of gold values (> 2 g/ton of Au).

KEY WORDS: Structural analysis, Kinematic indicators, Straight dihedral, Mineralization, Orogenic gold.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La evolución de los Andes y su relación con la geología regional y la evolución geodinámica de estas grandes estructuras, constituye una base para la metalogenia del Perú. Uno de estos sistemas importantes en el Sur del Perú, es la denominada faja plegada que se ubica en gran parte de la zona axial de la Cordillera Oriental, sobre esta estructura de más o menos 50 km de ancho, se ha producido desde el Ordovícico, el magmatismo de tras-arco con mineralización de Au, Sn, W, U, Ni, Cu, Pb y Zn.

El trabajo de investigación toma énfasis en el análisis estructural y su relación con el emplazamiento de la mineralización, para realizar el trabajo se recurre a los indicadores estructurales, que ayudan identificar rasgos característicos en las fallas y zonas de deformación; con especial énfasis en el análisis estructural - objetivo y la aplicación de los conceptos básicos. El trabajo de investigación se efectúa durante los cronogramas de exploraciones del proyecto Crucero, centrándose en la zona donde se ubica la mineralización, a los alrededores y en la misma dirección siguiendo la tendencia estructural (trend estructural) Andino SE-NO.

La investigación complementa los trabajos de exploración de todas las campañas realizadas, contribuyendo al entendimiento estructural así como la determinación de la dirección principal de los esfuerzos en la zona de estudio, situado en el paraje Conjuña -

Pacacorral, Comunidad de Oruro, Distrito de Crucero, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno.

1.1 INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Por las definiciones y características; para (Kerlinger & Lee, 2002) se considera que existen tres criterios para valorar el planteamiento del problema y los define de la siguiente manera.

- El problema debe expresarse como una relación entre dos o más variables
- El problema debe ser redactado en forma de pregunta, utilizando términos y conceptos científicos que designen a los fenómenos.
- El enunciado del problema debe implicar la posibilidad de ser sometido a una prueba empírica.

Según las definiciones de las características de la investigación científica, el presente trabajo de investigación refleja el problema, de manera descriptiva, sistemática y empírica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los yacimientos de oro orogénico se encuentran presentes en diferentes litologías con edades del Precámbrico hasta el Mesozoico (Goldfarb, Groves, & Gardoll, 2001), emplazados en un amplio rango de profundidades. “Con base a esto el término *mesotermal* no es aplicable en su totalidad, siendo su vinculación más acorde con las orogenias, por lo cual es más conveniente denominarlos depósitos de oro orogénico” (Groves et al., 1998). Yacimientos como Muruntau de 140 MOz y Kumtor de 19 MOz de gran tamaño. Esto lleva a que las estrategias y acciones orientadas al aprovechamiento ordenado, responsable y a la constante demanda de recursos minerales en el mundo, ocasione una exhaustiva actividad de prospección y exploración encaminadas a descubrir nuevas fuentes de recursos minerales, llegando a desarrollar nuevas y mejoradas técnicas

de prospección usando métodos directos e indirectos, así como estudios detallados en diferentes ramas de la geología, una de esas ramas es la geología estructural, para Ciciarelli (1990), “el problema principal reside en la falta de una adecuada base de observaciones estructurales que permite, sobre la base de criterios objetivos, establecer la geometría, cinemática y orientación de los esfuerzos que controlan el emplazamiento del mineral (...). Ubicada en un marco geológico regional coherente que permite no sólo evaluar el comportamiento estructural, sino también considerar los límites temporales de la deformación”.

También es necesario aclarar el papel de las estructuras geológicas, debido a que comúnmente los filones están controlados por fracturas. Sin embargo, esta afirmación es generalizada y se debe precisar el papel estructural en la generación y emplazamiento de la mineralización (Rodríguez, Soberon, Callo, & Choquehuanca, 2017).

Esto motiva a desarrollar en el área del proyecto un estudio de análisis estructural para relacionar las diferentes estructuras con la dirección del esfuerzo de compresión y distensión, a la vez determinar la relación con el emplazamiento de la mineralización en el proyecto Crucero. Sirviendo de gran ayuda en la ubicación de nuevas zonas con similares características estructurales para el emplazamiento de mineralización a lo largo de la tendencia estructural (structural trend).

Ante la exposición y consideraciones señaladas anteriormente se plantea la siguiente interrogante general.

- ¿Cuáles son las características y comportamiento estructural en el área que se generaron por los esfuerzos principales y qué relación tienen estas estructuras con el emplazamiento de la mineralización en el proyecto Crucero – Puno?

Y como interrogantes específicas se tiene.

- ¿Cuáles son las características de los indicadores cinemáticos de fallas y que comportamiento estructural tienen los pliegues en el área de investigación?
- ¿Qué dirección tienen los esfuerzos que actuaron en el área de investigación y cuál es la relación de las estructuras con el emplazamiento de mineralización en la zona A-1?

1.3 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

1.3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el estudio de las características generales de la evolución geológica de los Andes Peruanos, donde menciona que la cadena de los Andes, es un gigantesco sistema montañoso, ubicado al borde Este del continente Sudamericano y colindante con el Océano Pacífico. Los Andes peruanos tienen una dirección orográfica NO-SE a NNO-SSE, con modificaciones locales de dirección en las deflexiones de Huancabamba - Cajamarca y de Abancay, siendo los andes resultado de la superposición de las orogénias Precambriana, Herciniana y Andina y tiene una longitud de más de 2000 km, de Norte a Sur (Dalmayrac, Laubacher, & Marocco, 1980).

Del trabajo realizado por Lipa & Saraiva (2006) concluyen que basados en el análisis estructural y petrográfico llevado a cabo en el plutón Abancay se ha caracterizado dos zonas de deformación y metamorfismo, (...). Denotando que las condiciones de deformación sugieren que las rocas del plutón Abancay, (...). Que en la primera fase de deformación D1 ocurrió probablemente en el Triásico superior, generando la formación de la foliación S1 y la segunda fase de deformación D2 ocurrió probablemente en el Cenozoico que generó la formación de pliegues sobre la foliación principal a diferentes escalas. En el trabajo menciona un análisis cinemático determinando la dirección del máximo esfuerzo que actuó en el plutón; hecho similar al tema de investigación que se propone realizar.

Valdivieso (2011) En un trabajo que realizó en la franja orogénica del Paleozoico (Ollachea - La Rinconada), menciona las características geológicas de cada yacimiento importante ubicado en esta franja, que tiene una longitud de 120 x 60 km, donde se hospedan más de 50 yacimientos de oro orogénico y blancos de exploración, algunos de ellos con potencial > 0.5 MOz de Au, resaltando que la edad, litología y estructuras son similares a la franja “Tien Shan Gold Belt” en Asia Central; estos yacimientos se encuentran hospedados en capas tectonizadas de pizarras-siltitas de las formaciones San José, formación Sandia y formación Ananea así como en diques-sills pre mineral emplazados en charnelas de pliegues fallados, etc.

Diaz (2011) En un trabajo realizado en la zona del proyecto destaca en sus conclusiones que la relación de la zona mineralizada correspondiente a la Anomalía A-1, definiendo la dinámica de las fallas en el proyecto, teniendo un predominio de fallas de rumbo (transcurrentes), con cinemática Sinestral Normal o Dextral Normal. Otra de sus conclusiones con relación al plegamiento en la anomalía A-1, se define que corresponde a un pliegue volcado con los flancos inclinándose hacia el Este, el que se determinó en base a la relación del buzamiento de la esquistosidad vs el buzamiento de los estratos, el pliegue tiene inclinación (plunge) tanto hacia el Norte como al Sur.

1.3.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL PROYECTO

La zona donde se ubica el proyecto Crucero fue delimitada inicialmente a través de una intensa campaña de prospección geoquímica de sedimentos de quebrada (stream sediment) regional llevado a cabo entre los años 1996 a 1998 por la empresa minera CEDIMIN S.A. determinando varias anomalías geoquímicas con afiliación Au-As-Sb y Au-As.

En el año 2003 la empresa minera CEDIMIN S.A. decide iniciar una campaña de exploración al detalle en el proyecto Crucero, los trabajos realizados fueron

levantamiento topográfico y mapeo geológico local y regionales a escalas 1:2000 y 1:10,000, paralelo al mapeo se recolecto muestras de control de rocas, reportado los resultados de laboratorio de las muestras de control resultan con valores anómalos y se decide a ejecutar 11 trincheras con un total de 875 metros lineales, posteriormente prospección geofísica con los métodos IP y Magnetometría, obteniéndose buenos resultados tanto en la geoquímica y geofísica, finalmente se ejecutó una campaña de perforación diamantina distribuidos en 07 sondajes que hacen un total de 1767.30 metros con códigos que van desde el CR-01 hasta CR-07 (Ito & Pinto, 2003).

En el 2008 se forma la empresa Minera Pacacorral S.A.C. de capitales peruanos y en el año 2009 se retoma los trabajos de exploración basándose a los resultados obtenidos en la campaña de exploración del 2003, realizando los trabajos de mapeo geológico detallado a escala 1:2000 y una campaña de perforación diamantina distribuidos en 12 sondajes que hacen un total de 3620.55 metros lineales con códigos que van desde el DDH-01 hasta DDH-12, muestreo de sondajes que hacen un total de 1910 muestras y prospección geofísica (Velásquez, Canllahui, Aguirre, & Quispe, 2010).

La empresa Canadiense K-Rock Minerals entra en negociación con Minera Pacacorral S.A.C. a inicios del año 2010 tomando mucho interés en el proyecto, acordando perforar 03 sondajes gemelos códigos de CPC10-01 hasta CPC10-03, teniendo buenos resultados de laboratorio, en ese mismo año se crea la empresa Lupaka Gold Corp. en Canadá, firmando un acuerdo por la adquisición del 50 % del proyecto con la posibilidad abierta de adquisición del 100% del proyecto, a inicios del año 2011 Lupaka Gold Corp. adquiere el 100% de Minera Pacacorral S.A.C., denominándolo proyecto Crucero.

Desde el año 2011 hasta el año 2015 se realizó la exploración por campañas de perforación diamantina continuando la secuencia de códigos que van del DDH-13 hasta

DDH-64, estos sondeos están distribuidos en el proyecto Crucero, paralelo a los trabajos de perforación diamantina se realizaron trabajos en superficie para poder ubicar nuevos targets de exploración.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Rodríguez et al., (2017) mencionan que “La Cordillera de los Andes en casi toda su extensión tiene minerales de cuantioso valor”. Parte de esta riqueza mineral se ubica en la Cordillera Oriental del Sur del Perú, que consiste en la existencia y emplazamiento de yacimientos minerales y apertura de minas de metales preciosos de oro, cobre, plata, estaño, hierro, zinc y plomo. “Estas riquezas se originan por procesos geodinámicos internos, en donde La subducción de la placa oceánica, esencialmente la placa de Nazca que se pone por debajo de la placa continental generando intrusiones ricas en metales” (Dewey, 1972). Otros procesos como el volcanismo y la acción de las aguas subterráneas que se infiltran en el subsuelo, explican la presencia de tan alta concentración de recursos minerales.

En la Cordillera Oriental afloran rocas antiguas de edades Paleozoicas, las que sufrieron intensa deformación tectónica a lo largo del tiempo (R. Rodríguez et al., 2017). Estas rocas albergan yacimientos minerales, donde se desarrollaron minas explotando diversos minerales como Au, Ag, Cu, Sn, Pb, Zn, etc. (Ingemmet, 2012), y proyectos de exploración por Au, como es el caso del proyecto Crucero y es la razón que lleva a desarrollar este trabajo de investigación; justamente para caracterizar el comportamiento estructural que tienen las fallas y pliegues con relación a la dirección de los esfuerzos que actuaron en el área del proyecto con la mineralización, este trabajo de investigación justifica la ubicación y generación de objetivos de exploración (exploration targets) con características estructurales similares, que relacionados con muestreo geoquímico de

superficie sustenta una mejor ubicación de los sondajes diamantinos, para realizar nuevos estudios que incremente los recursos geológicos en el proyecto.

El presente trabajo puede servir de guía para la ejecución de nuevos estudios similares, relacionados a la geología estructural, sea en este mismo tipo de ambiente de mineralización de yacimiento tipo oro orogénico a nivel regional y local, y en diferentes ambientes geológicos.

1.5 HIPÓTESIS

Considerando el planteamiento del problema se formula la siguiente hipótesis general.

HG: Las características y comportamiento estructural de las fallas y pliegues determinan la dirección del esfuerzo principal mayor que generan condiciones favorables para el emplazamiento de mineralización en la zona A-1.

Y como hipótesis específicas se tiene.

H1: La caracterización cinemática de fallas y comportamiento estructural de las fallas y pliegues determinan la dirección del esfuerzo principal mayor y el grado de deformación en el área de investigación.

H2: La dirección de los esfuerzos generan fallas y deformaciones en el área de investigación y el esfuerzo principal mayor genera condiciones favorables para el emplazamiento de mineralización en la zona A-1.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar el análisis estructural y determinar la relación con el emplazamiento de la mineralización en el Proyecto Crucero – Puno.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización de los indicadores cinemáticos de fallas y determinar el comportamiento estructural que tienen los pliegues en el área de investigación.
- Analizar y determinar la dirección que tienen los esfuerzos principales que actuaron en el área de investigación y ver la relación de las estructuras con el emplazamiento de la mineralización en la zona A-1.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 TECTONICA DE LOS ANDES

Los Andes constituyen la cadena montañosa más larga del planeta y una de las más elevada, “Se originó cuando una placa tectónica de Nazca se deslizó contra el continente sudamericano y se hundió bajo él, un proceso conocido como subducción. Como consecuencia, la corteza continental se comprimió y se engrosó gradualmente, dando lugar a la formación de los Andes” (Investigacion y Ciencia, 2019).

2.1.1 LOS ANDES BAJO EL PESO DE UN PARADIGMA

Según Kuhn (1962), la actividad científica se desarrolla bajo la influencia de paradigmas y las geociencias no hacen excepción. La tectónica de placas gobierna a gran escala nuestra comprensión de la Tierra. (...). En los Andes Centrales han privilegiado estudios e interpretaciones favoreciendo el acortamiento tectónico; sin embargo, el espesor no puede explicarse por las estimaciones disponibles del acortamiento, especialmente en el arco y antearco (Sempere, 2004).

“Los orógenos de arco se forman por acreción magmática por efectos de la subducción siendo aceptada en arcos insulares o en arcos continentales” (Lee, Morton, Kistler, & Baird, 2007). La creencia que los Andes Centrales se originaron principalmente por acortamiento ha generado que en el cartografiado geológico, se mapeen

sistemáticamente como fallas inversas y cabalgamientos y estructuras extensionales fueron a menudo pasadas por alto. Además, observaciones y modelos basados en varios contextos indudablemente extensionales en Europa y África ahora enseñan que geometrías estructurales que anteriormente se creían típicas de deformaciones compresionales, como en los Andes Centrales, en realidad también ocurren en contextos extensionales, en particular donde fallas normales se iniciaron como fallas ciegas formando flexuras (Finch et al., 2004).

2.1.2 LOS ANDES OCCIDENTALES Y ANDES ORIENTALES EN EL SUR DEL PERÚ

El Sur del Perú proporciona un observatorio conveniente para estudiar detalladamente la anatomía del Oroclino Centro-Andino (OCA) La identificación y corrección de sesgos de mapeo conduce a mayores revisiones y aparece que el antearco, arco (Cordillera Occidental “WC”), y Altiplano SO (en adelante “Andes Occidentales”) han sido dominados por transcurrencia (incluyendo deformación transpresional) y extensión desde ~30 Ma (Sempere & Jacay, 2006), en contraste con el Altiplano NE, Cordillera Oriental y faja subandina (en adelante “Andes Orientales”), donde el acortamiento sí ha sido efectivamente importante.

En el Oroclino Centro-Andino (OCA) se caracterizan por un acortamiento tectónico insignificante o ausente y una corteza que alcanza sus mayores espesores bajo el arco, mientras que el acortamiento es evidente y sustancial en los Andes Orientales (Altiplano NE, Cordillera Oriental “EC”, faja subandina). En el Sur del Perú y oeste de Bolivia, el límite entre Andes magmáticos y Andes tectónicos es marcado por el sistema de fallas Urcos-Ayaviri-Copacabana-Coniri (SFUACC), que es de escala litosférica, pero podría ser transicionales en otras regiones (Sempere & Jacay, 2006). En la Figura 1 el

patrón rayado indica aproximadamente las áreas afectadas por un acortamiento cenozoico anterior a ~25 Ma.

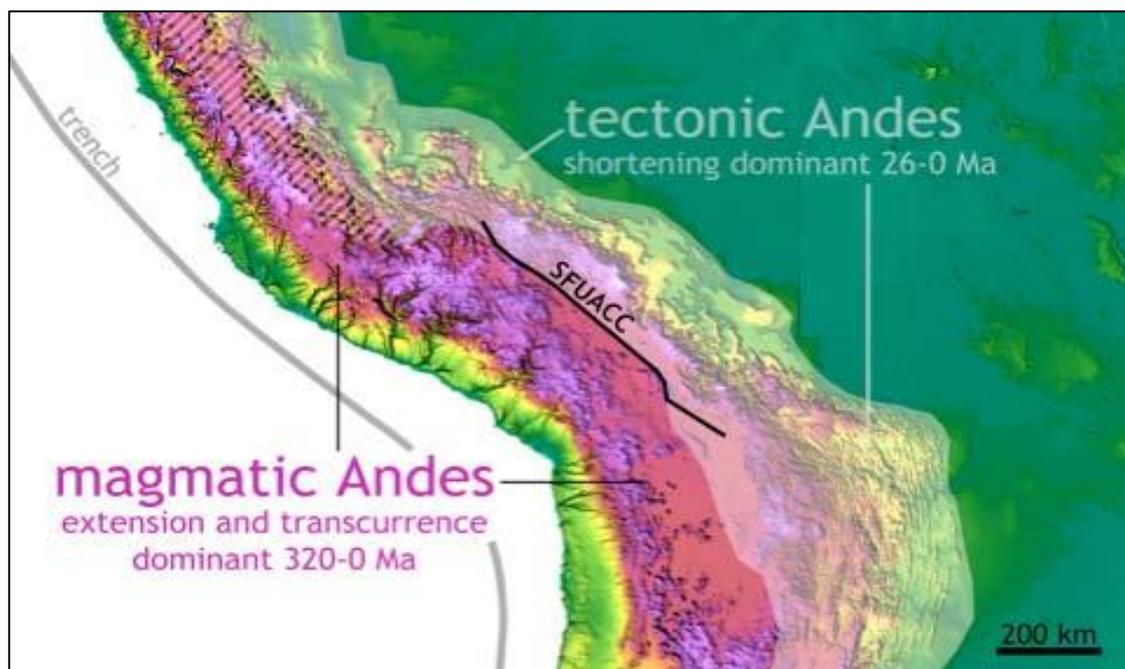


Figura 1. Partición aproximativa entre Andes Occidentales (magmáticos) y Andes Orientales (tectónicos) en el Oroclino Centro-Andino (OCA)

Fuente: Sempere & Jacay (2006)

2.2 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA EVOLUCION DE LOS ANDES PERUANOS

Dalmayrac et al. (1988) menciona que la cadena de los Andes, es un gigantesco sistema montañoso, ubicado al borde este del Continente sudamericano y colindante con el Océano Pacífico. Su longitud es de 8000 km. Aproximadamente, y se extiende desde el mar del Caribe hasta de la tierra del Fuego, los Andes peruanos, tienen una dirección orográfica NO-SE a NNO-SSE, con modificaciones locales de dirección en las deflexiones de Huancabamba-Cajamarca y de Abancay, teniendo una longitud de más de 2000 km, de Norte a Sur; su topografía es bien regulada sobre toda su extensión, mostrándose del SO al NE (Figura 2), de la siguiente manera.

- La planicie costera; tiene un ancho de 20 km. a 100 km., ocupada por un desierto bastante árido.

- La Cordillera Occidental; donde las más altas cumbres, pasan los 6000 m.s.n.m. de altitud.
- La Zona Intercordillerana, formada por zonas de altas planicies (ej. Altiplano del Sur del Perú), donde la altitud media varia de 1800 m.s.n.m. a 4000 m.s.n.m. según las regiones.
- La Cordillera Oriental, región de topografía accidentada, con cumbres que pasan los 6000 m.s.n.m. de altitud.
- El Piedemonte Amazónico “Ceja de Montaña”, cubierta de vegetación tropical, constituye una vertiente abrupta que pasa de 3800 m.s.n.m. a 1000 m.s.n.m. de altitud.
- La Planicie Amazónica, denominada por la selva virgen.

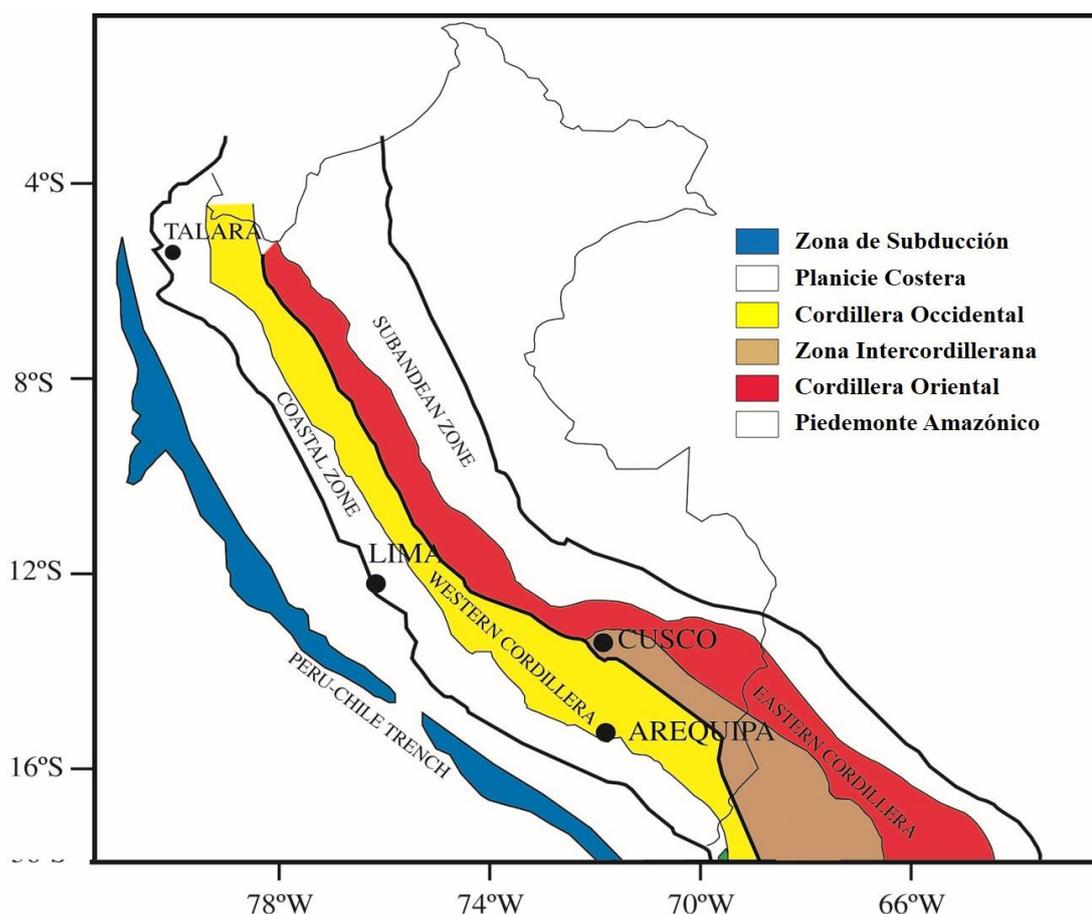


Figura 2. Dominios morfo-estructurales de la Cordillera de los Andes en el Perú, se muestra de SO al NE

Fuente: Ingemmet

2.3 DOMINIOS GEOTECTONICOS, METALOGENIA Y SU REALCION CON YACIMIEMTOS MINERALES DE INTERES ECONOMICO

2.3.1 EN EL SUR ESTE DEL PERÚ

Uno de los sistemas de fallas más importantes en el Sur del territorio peruano, es el que está ubicado en la zona axial de la Cordillera Oriental, (...), con dirección NO-SE hasta la zona de Vilcabamba en el departamento del Cusco; donde esta desplazada por las fallas transformantes de Patacancha y Puyentimari, tratándose de una sutura principal de la acreción del conjunto, Macizo de Arequipa-Altiplano Occidental-Altiplano Oriental con la Amazonia, que ocurrió hace 1000 Ma. (...), desde el Ordovícico, el magmatismo de tras-arco genero mineralizaciones de Au, Sn, W, U, Ni, Cu, Pb y Zn, donde destacan: (Figura 3) San Rafael-Quenamari (Sn-W), la Rinconada (Au), Gavilán de Au (Au, Sn, W), y el distrito Minero de Macusani (U), Ingemmet (2012).

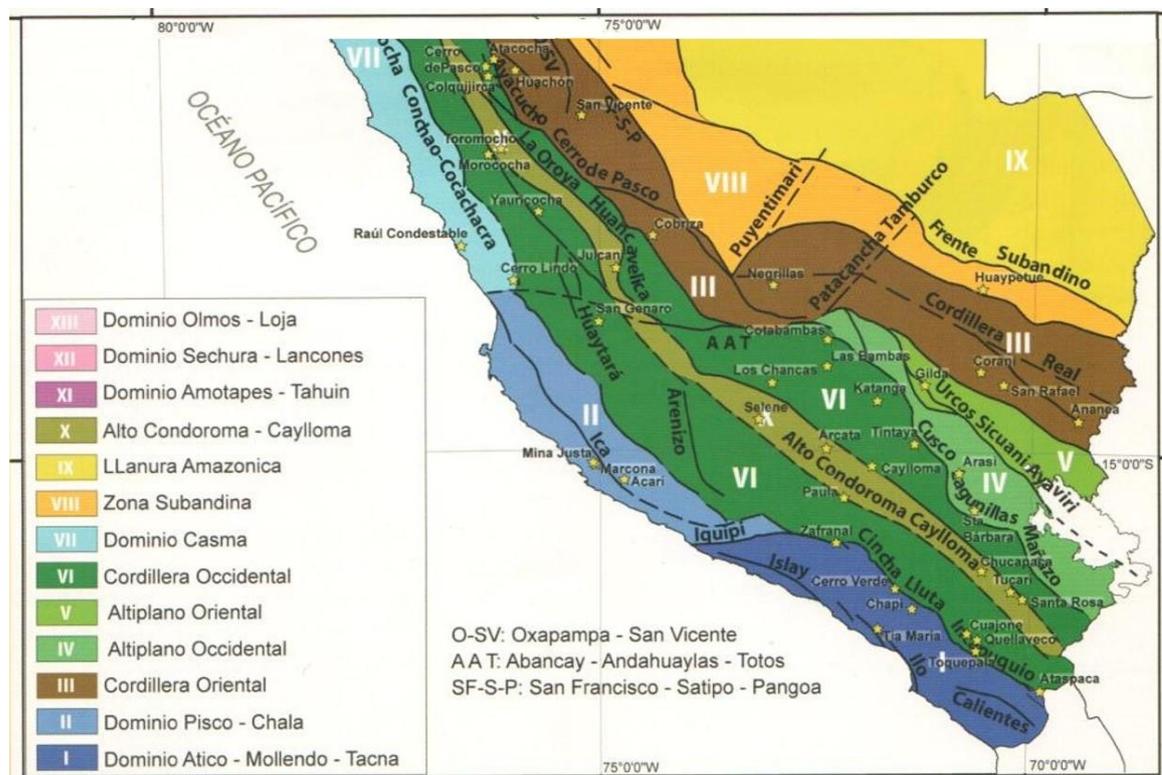


Figura 3. Mapa geotectónico del Perú & principales minas y proyectos
 Fuente: Ingemmet (2012)

2.3.2 (I) FRANJA DE AU EN ROCAS METASEDIMENTARIAS DEL ORDOVÍCICO Y SILURO-DEVÓNICO

Esta franja aurífera se localiza a lo largo de la Cordillera Oriental y parte de la zona Subandina del territorio peruano. Las rocas hospedantes de mineralización están conformadas por metasedimentos del Paleozoico inferior y medio, resaltando las pizarras, esquistos y cuarcitas de la formación San José del Ordovícico (Dalmayrac et al., 1980), también mencionar a la formación Sandia y formación Ananea del Ordovícico superior-Devónico.

Carlotto (2006) menciona que la franja aurífera está delimitada al Este por el sistema de fallas del frente Subandino (Figura 5) que hace cabalgar la Cordillera Oriental sobre la llanura Amazónica, y hacia el Oeste corresponde sucesivamente de Sur a Norte a los sistemas de fallas de la Cordillera Oriental que se junta con el sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri, (...). En el Permo-Triásico actuaron como fallas normales y de rumbo debido al régimen distensivo. Durante la evolución andina estas fallas normales sufren la inversión tectónica y actúan como fallas inversas y de rumbo en régimen transpresivo (Carlotto et al., 2005), lo que ha producido el fuerte levantamiento y erosión de la actual Cordillera Oriental, ver Figura 6.

Esta franja está caracterizada por la presencia de oro (Au) hospedado en las rocas del Ordovícico y Siluro-Devónico, distribuido en mantos y vetas de cuarzo, lentes con arsenopirita y pirrotita paralelas a la esquistosidad de los metasedimentos. Los dos tipos de mineralización están genéticamente ligados. (Fornari, Laubacher, Hérial, & Delaune, 1988) interpretan como resultado de la circulación de fluidos hidrotermales submarinos relacionados con actividad magmática desarrollada entre el Ordovícico y Devónico, que atravesaron una columna sedimentaria en proceso de compactación, como es el caso de La Rinconada. Según (Clark et al., 1990) y (Fornari et al., 1988) coinciden que las vetas

de Ananea se formaron en relación con los últimos estados cinemáticos de cuerpos plutónicos durante el ascenso, con fluidos derivados del metamorfismo. Además, la estrecha asociación de metales litófilos (Sn, W) con el Au en Ananea, apuntan a analogías con el distrito cercano de Condoriquiña (Figura 4).

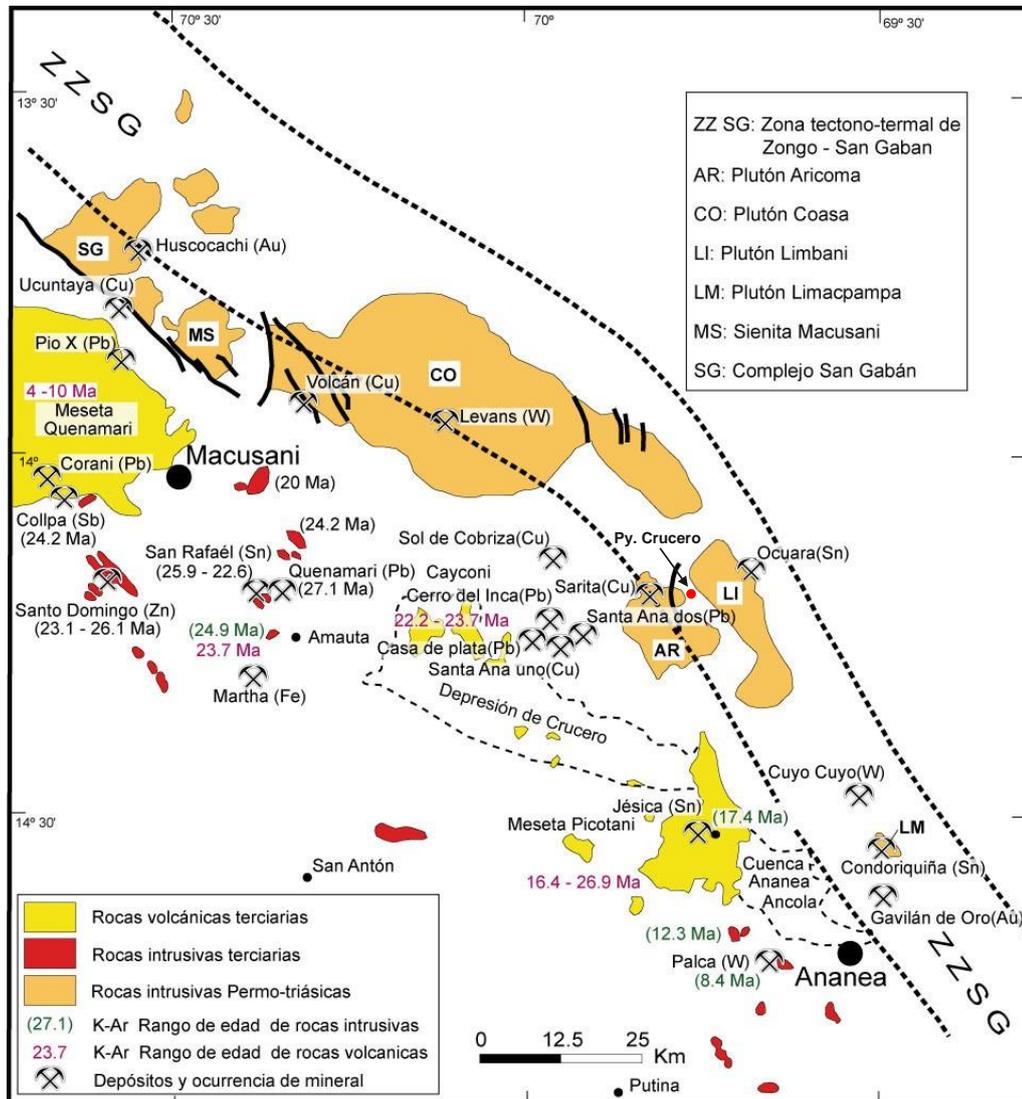


Figura 4. Mapa mostrando las ubicaciones de los prospectos de Sn-Cu-Sn, U y depósitos de Ag-Pb-Zn, Au, en el contexto tectónico regional donde resaltan las rocas intrusivas del Permo-Triásico-Jurásico, los pequeños cuerpos intrusivos del Mioceno y las rocas volcánicas Miocenas del Quenamari, Crucero, Cayconi y Ananea. Además, se aprecia la zona tectotermal Eocena Zongo-San Gabán (ZZSG)
 Fuente: Modificado de Clark et al., (1990)

Entre los principales distritos mineros y yacimientos, además de Ananea y Rinconada, se puede mencionar Capac Orcco, Untuca, Manco Capac, Santo Domingo y los prospectos Ccori, Ivan Tercero y Choquetacarpo, Ollachea, Crucero.

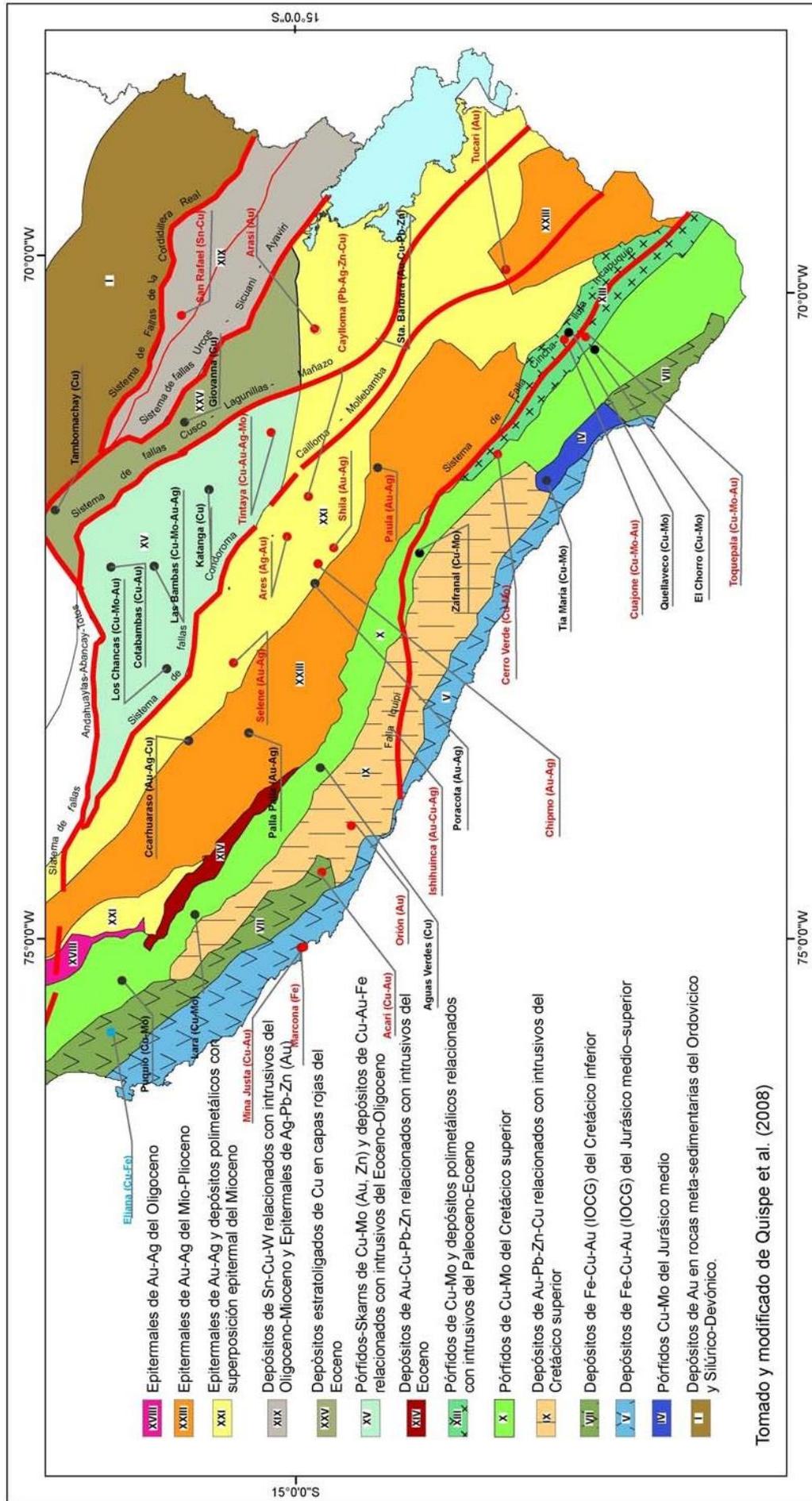


Figura 5. Mapa metalogénico del Sur del Perú mostrando las grandes fallas que delimitan los bloques litosféricos Fuente: Modificado de Quispe et al., (2008)

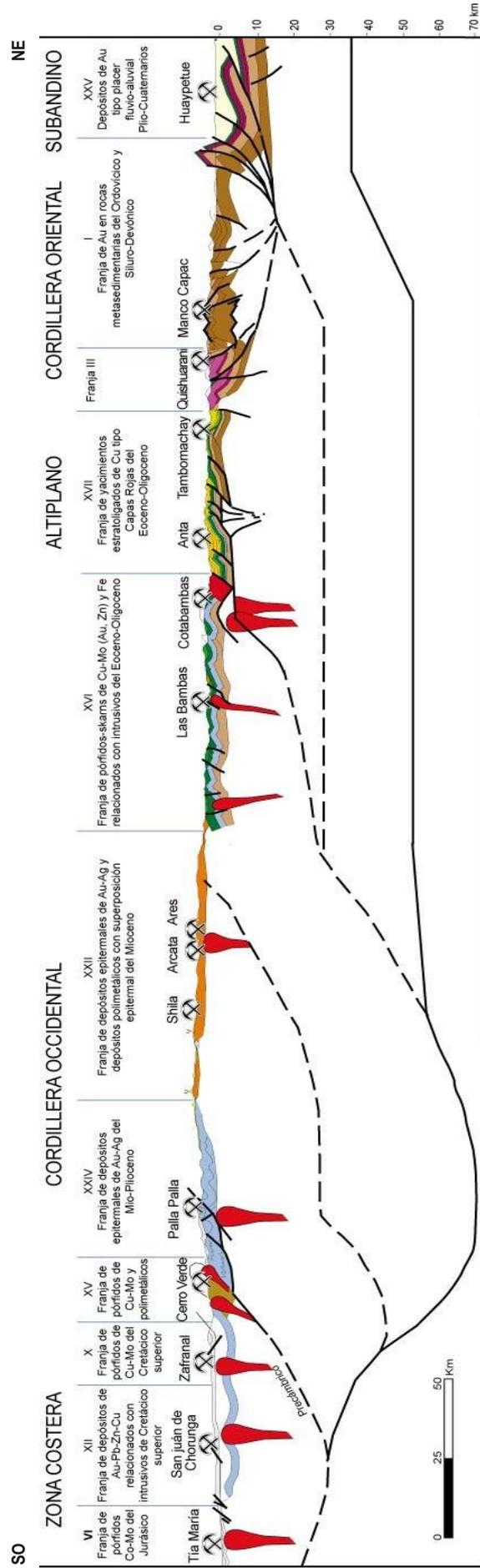


Figura 6. Sección estructural del Sur del Perú mostrando las franjas metalogénicas
 Fuente. Modificado de Carlotto (2006)

2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

2.4.1 RELACIÓN ESFUERZO – DEFORMACIÓN DE LAS ROCAS

Las pruebas de compresión uniaxial de laboratorio (cilíndricos de roca) consisten en aplicar un esfuerzo axial o de compresión que corresponde con “sigma 1”, la presión de confinamiento de la prueba tiene la misma magnitud y corresponde con los valores de “sigma 2” y “sigma 3”. Estas pruebas proporcionan datos de esfuerzo y deformación que se representan en gráficas (Figura 7) para obtener la curva de esfuerzo y deformación cuyo comportamiento depende principalmente de las características de la roca (Gonzalez de Vallejo et al., 2002).

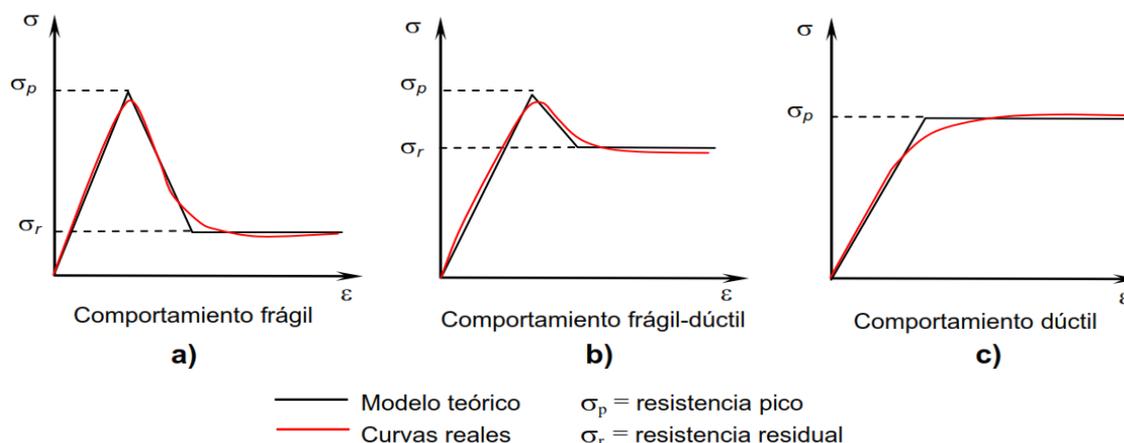


Figura 7. Gráficas de “esfuerzo deformación” y los tipos de comportamiento de las rocas
 Fuente: Tomado de González de Vallejo et al. (2002)

La rama ascendente de la curva, antes de alcanzar la resistencia máxima, se define por una recta de fuerte pendiente, indicativa de una deformación poco importante de comportamiento **lineal o elástico**. En la deformación elástica si se retira el esfuerzo aplicado las deformaciones se recuperan y la roca recupera su estado original. A partir de determinado nivel de deformaciones, la roca no puede mantener el comportamiento elástico y se pasa entonces a un estado de **deformación dúctil o plástica**, donde la deformación de la roca ocurre sin pérdida de cohesión, la curva esfuerzo - deformación deja entonces su comportamiento lineal y ocurre una inflexión de la curva a partir de un

punto que recibe el nombre de **límite de elasticidad**. A partir de este punto, la roca todavía puede soportar deformaciones importantes antes de llegar al límite de su resistencia, en la Figura 7c “la deformación dúctil o plástica no se recobra sino más bien se acumula en la roca y ésta empieza a fluir produciendo un cambio permanente en la forma de la roca sin llegar a la fractura por ruptura” (Jaeger, Cook, & Zimmerman, 1969).

2.4.2 TENSOR DE ESFUERZOS

El tensor de deformaciones es un tensor simétrico usado en mecánica de medios continuos y mecánica de sólidos deformables para caracterizar el cambio de forma y volumen de un cuerpo (Wikipedia, 2017a). Entonces el esfuerzo (σ) se define como:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dónde: F = Fuerza

A = Unidad de área

Para visualizar el estado de esfuerzos en un punto, se recurre al elipsoide de esfuerzos, que no es sino la transformación del tensor a sus ejes principales mediante una rotación. De este modo el tensor reducido está compuesto por los 3 ejes principales, con su orientación y magnitud relativa, definido por el factor de forma R (Muñoz & De Vicente, 2005).

$$R = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

Factor de forma

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{pmatrix}$$

Tensor de esfuerzos reducido

La notación ha de estar referida, bien a las magnitudes relativas o absolutas de cada uno de los ejes principales, o bien a su posición en el espacio:

- Relación de magnitudes relativas o absolutas: σ_1 , σ_2 y σ_3 (siendo $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$)

- Notación con respecto a su posición en el espacio: Esfuerzos principales en la horizontal: σ_x y σ_y , siendo σ_y ($\sigma_{H \max}$) \geq σ_x ($\sigma_{H \min}$)
- Esfuerzo en la vertical: σ_z (σ_{vert})

Téngase en cuenta que estas componentes σ_{ij} en general varían de punto a punto del cuerpo y por tanto la deformación de cuerpos tridimensionales se representa por un campo tensorial (Wikipedia, 2017b), ver Figura 8.

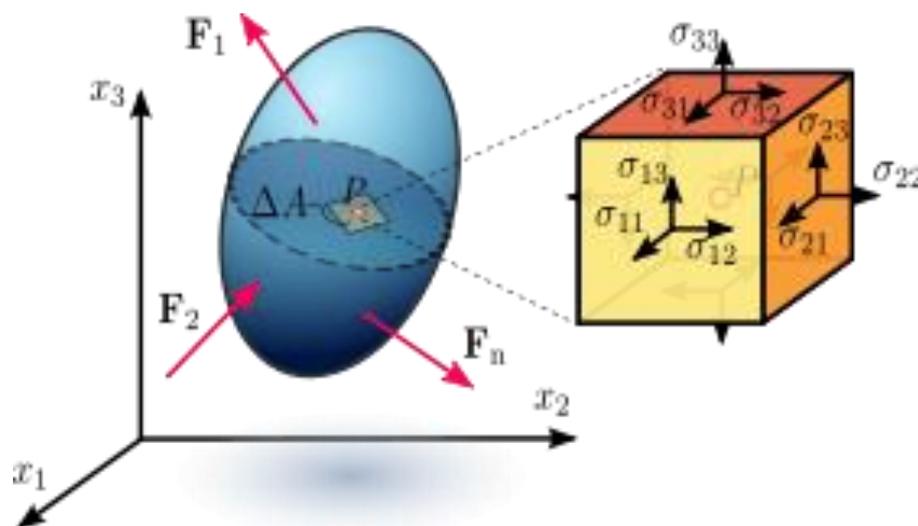


Figura 8. Componentes del tensor tensión en un punto P de un sólido deformable
Fuente: Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Tensor_tensión

2.4.2.1 TIPOS DE RÉGIMEN DE ESFUERZOS

Los movimientos y deformaciones en la corteza terrestre se generan por una serie de fuerzas primarias que son transmitidas a lo largo de miles de kilómetros. El resultado del balance de estos esfuerzos en una zona determinada, controla la dinámica deformacional frágil de dicha área (Muñoz & De Vicente, 2005).

En función de la orientación de los ejes principales y la relación existente entre sus magnitudes relativas podemos describir el régimen tectónico (Figura 9), según tres tipos puros con casos intermedios (Muñoz & De Vicente, 2005).

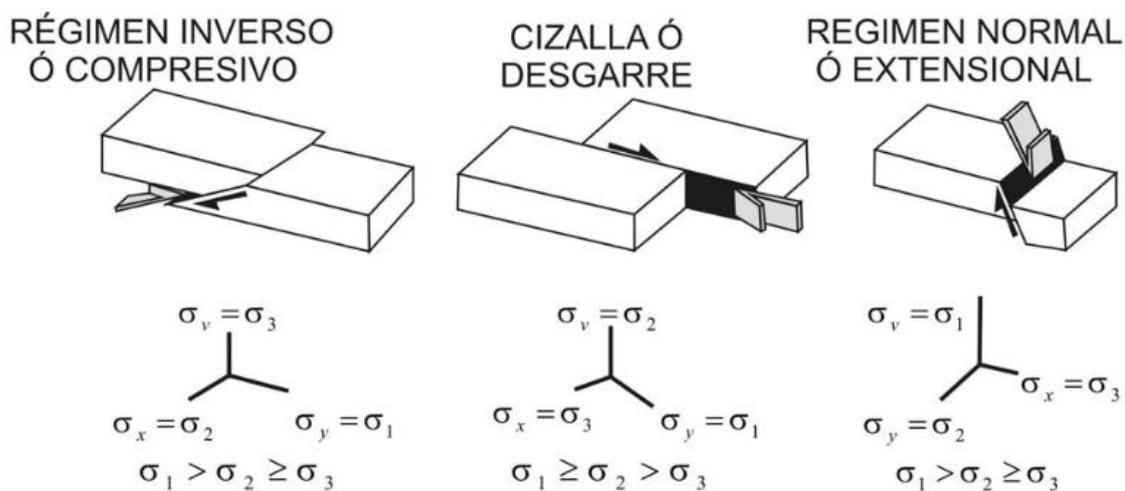


Figura 9. Regímenes tectónicos puros en función de la orientación de los ejes de esfuerzos
Fuente: Tomado de (Muñoz & De Vicente, 2005)

2.4.3 COMPORTAMIENTO FRÁGIL

Según Davis, Reynolds, & Kluth (1996) “La aplicación de fuerzas sobre las rocas genera esfuerzos que producen su deformación y rompimiento. A la formación de fallas y fracturas se le conoce como deformación frágil y atendiendo a que el concepto de deformación es netamente geométrico y carente de significado mecánico, para explicarlo se recurre a las relaciones geométricas que guardan los ejes de un círculo en el estado inicial no deformado y la elipse a la que da origen en el estado deformado finito e infinitesimal, de esta forma se distinguen dos mecanismos de deformación” (como es citado en Páez, 2010, p.35).

- **Coaxial.** Los ejes de la elipse de deformación finita e infinitesimal son paralelos.
- **No coaxial.** Los ejes de la elipse de deformación finita e infinitesimal no son paralelos.

Según Hills (1972), refiriéndose sólo a la deformación finita se distinguen dos mecanismos:

- **Rotacional.** Donde los ejes de la elipse no son paralelos a su estado original no deformado.
- **No rotacional.** Los ejes en el estado inicial y deformado son paralelos.

En geología se emplean estos términos para clasificar la deformación de las rocas en dos tipos que explican la geometría y las relaciones dinámicas en las fallas, ver Tabla 1.

Tabla 1.

Tipos de cizalla y sus diferencias

CIZALLA PURA	CIZALLA SIMPLE
Deformación de tipo no rotacional y coaxial	Deformación de tipo rotacional y no coaxial

Fuente: Tomado de Páez (2010)

2.4.3.1 CIZALLA PURA

Se menciona en Insugeo (2019) y UNSL (2015), si durante la deformación progresiva los ejes del elipsoide de deformación permanecen paralelos a las direcciones de los esfuerzos principales la deformación es coaxial. Comúnmente se produce por cizalla pura y puede estar asociada a:

- Extensión axial simétrica
- Acortamiento axial simétrico
- Deformación plana
- Deformación general

Según McClay (1987) “se le conoce también como el modelo de Anderson o Coulomb-Anderson. La elipse de deformación finita guarda la misma orientación después de cada incremento en la deformación (Figura 10), lo cual demuestra que este tipo de deformación es coaxial e irrotacional. Las fallas y fracturas que se forman bajo este régimen consisten en pares conjugados que forman un ángulo agudo entre si bisectado por la dirección de máxima compresión, también se forman fallas menores, inversas perpendiculares a la misma dirección y estructuras de tensión y fallas normales paralelos a ésta. Este tipo de deformación generalmente es típica de deformación de pliegues y cabalgaduras con sistemas de fallas conjugadas que cortan a los ejes de pliegues” (como es citado en Páez, 2010, p.35).

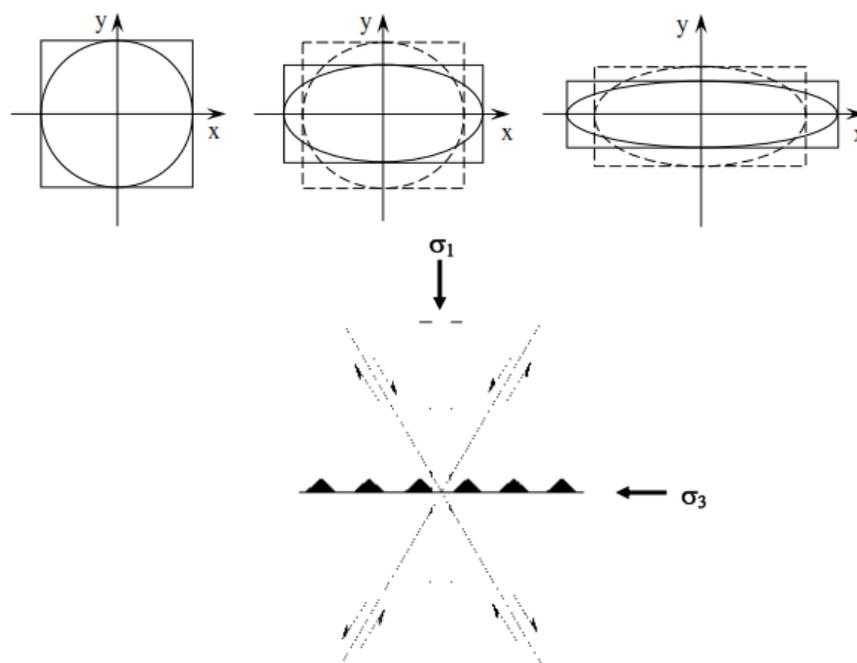


Figura 10. Deformación por cizalla pura y la geometría de las fallas asociadas a este tipo de deformación

Fuente: Modificado de Ramsay (1989), citado en Páez (2010), p.36

2.4.3.2 CIZALLA SIMPLE

Petit (1987), “también menciona que este sistema se conoce también como el modelo de Riedel, no coaxial, lo que implica que las direcciones principales de la elipse de deformación rotan (Figura 11). La determinación de una elipse de distorsión interna definida a partir de un círculo unitario inicial tiene deformación que provoca giro en el sentido de la cizalla con cada incremento de la deformación” (como es citado en Páez, 2010, p.36).

Las primeras fracturas formadas en un experimento de cizalla simple no son paralelas a la dirección de la cizalla aplicada, se forman dos tipos de fallas conocidos como sintética (R) y antitética (R') que forman ángulos más comunes son 15° y 75°. Se forman grietas de extensión (T) con un ángulo de aproximadamente 45° con respecto a la falla principal. En este régimen se forman también las fallas denominadas P y X. las fallas P se forman a 15° con respecto a la zona de falla principal y presentan un movimiento lateral con componente inverso (Ramsay & Martin, 1989).

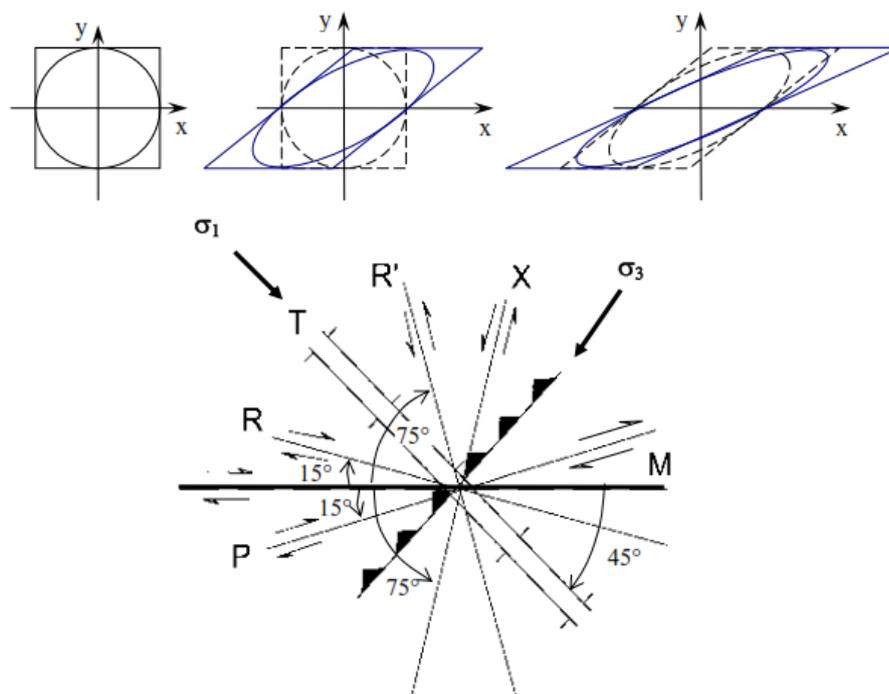


Figura 11. Deformación por cizalla simple y la geometría de las fallas asociadas a este tipo de deformación

Fuente: Modificado de Ramsay (1989), citado en Páez (2010), p.37

2.4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA DEFORMACION Y ROCAS DE FALLA

Para Snoko et al., (1998) “Las rocas formadas a partir de falla son generadas durante los episodios de intensa deformación, registrados en las zonas de cizalla, e incluyen desde las salbandas y brechas de falla del nivel más alto de la corteza terrestre, hasta las milonitas de temperatura alta de la corteza inferior o manto superior”.

Entonces, “los diferentes esquemas de clasificación presentados no pueden ser considerados “todo propósito”, e incluso bajo ciertas circunstancias pueden llegar a ser “inapropiados”, en gran parte debido al uso de términos genéticos para describir o nombrar rocas de falla cuando los mecanismos de deformación son pobremente conocidos o incorrectamente inferidos” (Tullis & Snoko, 1982; Snoko et al., 1998).

Por lo tanto, durante la cartografía geológica u otros estudios de campo, en la cual las descripciones mesoscópicas son el criterio principal, entonces se puede tomar la clasificación propuesta por Sibson (1977) (como es citado en Gutierrez, 1992, p.96), ver Tabla 2. En contraste, para estudios de análisis microestructural, en los cuales las

descripciones microscópicas y submicroscópicas permiten la identificación de los mecanismos de deformación operantes a escala de granos, puede llegar a ser de mayor utilidad efectuar la combinación de las propuestas de Wise et al. (1984), como se muestra en la Figura 12.

Tabla 2.
Clasificación textural de las rocas de falla

		FABRICA ALEATORIA		FOLIACIÓN				
INCOHESIVA	Brecha de falla (Fragmentos visibles > 30 % de la masa de roca)			?				
	Harina de falla (Fragmentos visibles < 30% de la masa de roca)			Harina de falla foliada				
COHESIVA	NATURALEZA DE LA MATRIZ	Vidrio y vidrio desvitrificado	Pseudotaquilita		?			
			Reducción tectónica del tamaño de grano y dominio del crecimiento de grano por recristalización y neomineralización	Brecha molida (fragmentos > 0.5 cm)		0-10	PORCENTAJE DE MATRIZ	
		Brecha fina molida (0.1 < fragmentos > 0.5 cm)						
		Microbrecha molida (fragmentos < 0.1 cm)						
		SERIE DE CATACLASTITAS	SERIE DE LAS MILONITAS	Protocataclastita	Protomilonita	10-50		
				Cataclastita	Milonita	50-90		
				Ultracataclastita	Ultramilonita	90-100		
		Crecimiento de granos pronunciado	?		Blastomilonitas			

Fuente: Modificado de Sibson (1977), citado en Gutierrez (1992), p.96.

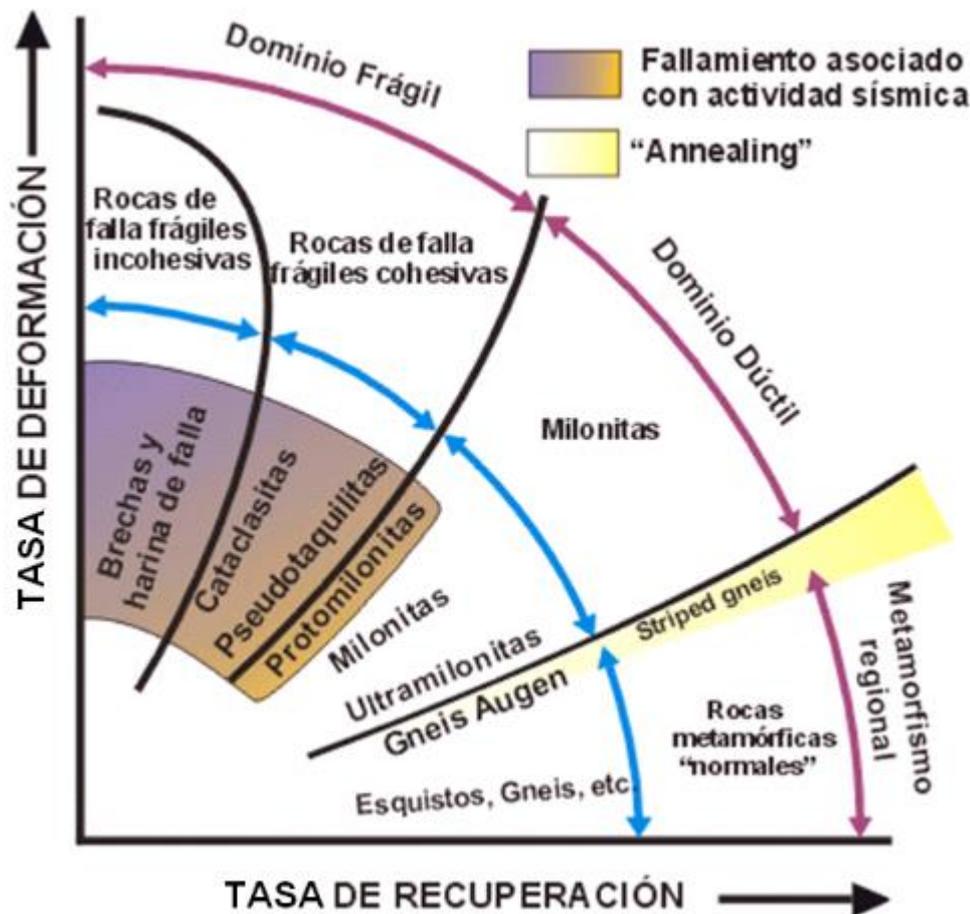


Figura 12. Clasificación de rocas de falla
Fuente: Modificado de Wise et al. (1984)

2.4.4.1 CLASES DE FALLAS

Mercier & Vergely (2001) mencionan que “Existen numerosas clasificaciones de fallas. A continuación se analiza una; la cual se considera fundamental puesto que se basa en el deslizamiento de los bloques separados por la falla”.

Una **falla normal** (Figura 13a), presenta un deslizamiento hacia abajo del techo con respecto al piso, y se produce un alargamiento horizontal ($+\Delta l$) del material. Una **falla inversa** (Figura 13b) presenta un deslizamiento del techo hacia arriba con relación al piso, y se produce una reducción horizontal ($-\Delta l$) del material. Mientras que las fallas con deslizamiento horizontal son fallas de rumbo. Una falla de rumbo es lateral **dextral** (Figura 13c) es si el observador, parado frente a la dirección de la falla, observa que el bloque de su derecha se desliza hacia él. Una falla de rumbo lateral **sinistral** (Figura 13d)

es si el bloque de su izquierda se desliza hacia él. Cuando las fallas de rumbo **dextral** y **sinestral** se asocian en un sistema de fallamiento, (Figura 13e), produce a la vez un alargamiento y una reducción horizontal sin que exista un aumento ni una reducción vertical del material (Mercier & Vergely, 2001, p. 52-53).

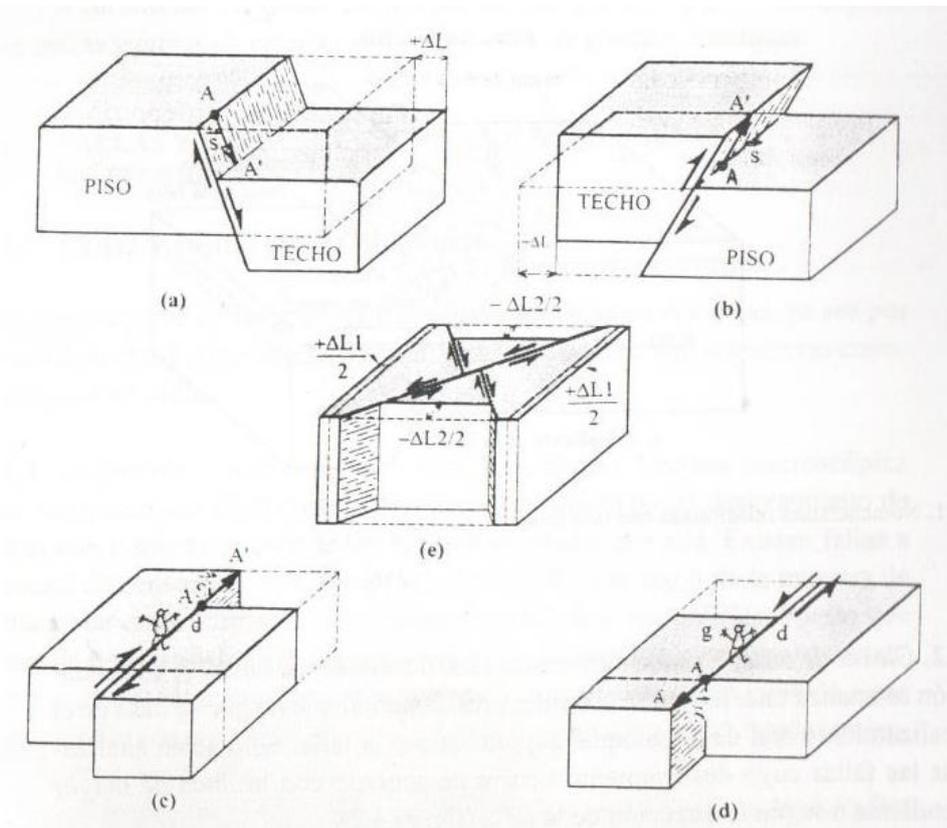


Figura 13. Esquema de los diferentes tipos de fallas de acuerdo con el desplazamiento real
Fuente: Tomado de Mercier & Vergely (2001)

2.4.5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para Davis, Reynolds, & Kluth (1996) “El Análisis Estructural de detalle, tiene particular énfasis en el análisis del esfuerzo. Donde se toma en consideración estas dos principales perspectivas fundamentales en las cuales se basa el análisis estructural”.

2.4.5.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Cada estructura está compuesta por elementos estructurales que deben ser identificados y descritos para permitirnos llevar a cabo un completo análisis descriptivo. Los elementos estructurales son los componentes físicos y geométricos de las estructuras

(elementos físicos reales y tangibles), que tienen una geometría y orientación medibles (Davis et al., 1996).

El fundamento para un sólido análisis estructural es el mapeo geológico, el cual revela la naturaleza entre los cuerpos de roca, ayudándonos a reconstruir la historia secuencial de eventos mayores; siendo de vital importancia en la confección de blocks diagramas tridimensionales para apreciar la arquitectura geométrica de los cuerpos rocosos bajo investigación, constituyendo una base para la interpretación de la historia estructural y tectónica de un área (Davis et al., 1996).

Los rasgos estructurales que puedan ser reconocidos y descritos dependen en gran parte de la escala de observación:

- Escala microscópica (corte delgado). Ej: defectos reticulares, maclas, acodamientos, reptación, recuperación, recristalización, clivajes, lineaciones, foliaciones, etc.
- Escala mesoscópica (muestra de mano). Ej: clivajes, lineaciones, foliaciones, etc.
- Escala megascópica (afloramientos). Ej: diaclasas, fracturas de cizalla, fallas, pliegues, zonas de cizalla, etc. (nos basaremos en esta escala principalmente).

2.4.5.2 ANÁLISIS DINAMICO

Para Davis et al. (1996) El análisis dinámico interpreta las fuerzas y esfuerzos así como los mecanismos que dan origen a las estructuras. Para que un análisis dinámico sea significativo, éste debe explicar las características físicas y geométricas de las estructuras, la cinemática y las relaciones entre los esfuerzos y la deformación. Las bases para el análisis dinámico son investigaciones teóricas y experimentales, que están basados en la teoría de Anderson y el modelo estructural de Riedel.

Basándose en el criterio de fracturación de Mohr Coulomb, Anderson (1951) establece que, como norma general, las fallas aparecen según dos familias conjugadas

que se cortan formando un diedro agudo y otro obtuso; las estrías situadas sobre ellas son perpendiculares a la línea de intersección de los planos. En la bisectriz de los diedros agudo y obtuso se sitúan los ejes de compresión máxima (σ_1) y mínima (σ_3), respectivamente; en la línea de intersección de las dos familias de planos se halla el eje intermedio (σ_2).

La teoría predice que se formarían fallas normales allí donde el esfuerzo vertical sea el esfuerzo máximo, fallas inversas donde el esfuerzo vertical sea el mínimo y fallas de rumbo donde el esfuerzo vertical sea el intermedio (Figura 14).

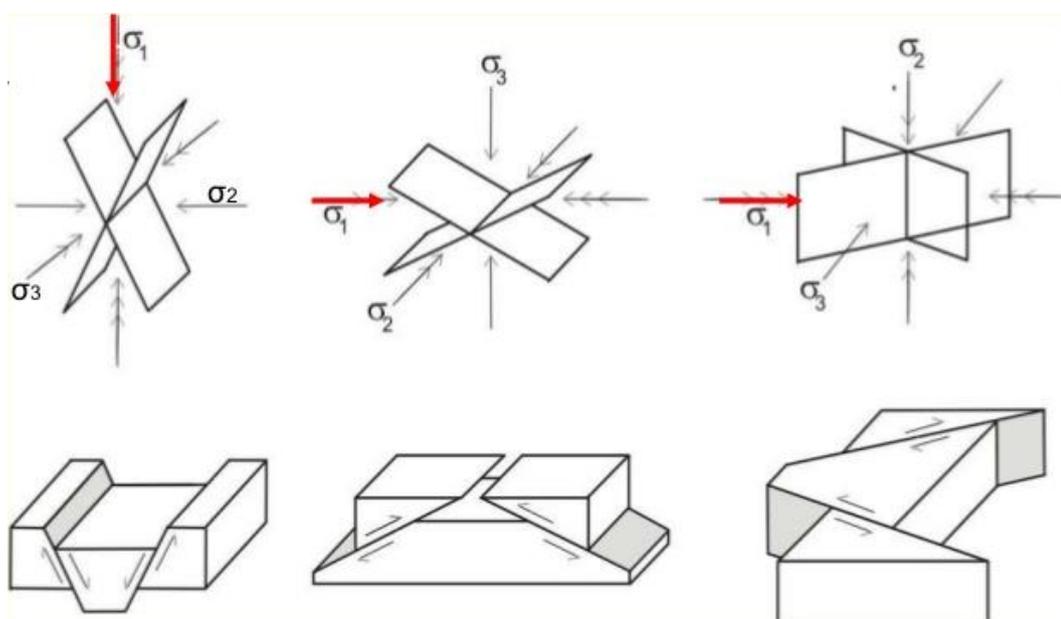


Figura 14. Clasificación dinámica de fallas
Fuente: Tomado de Anderson (1951)

El modelo de Riedel (1929), explica la deformación adentro de una zona que sufre las fuerzas que corresponden a una falla del rumbo. Riedel originalmente solo se refiere a una escala de decímetros. Pero más tarde su modelo fue adoptado a escalas de kilómetros. Mediante modelos experimentales y observaciones geológicas se ha establecido que cuando una zona se somete a deformación por cizallamiento en un dominio de cizalla simple, en la cobertura se forma comúnmente un patrón predecible de

cinco familias de fracturas (Silvester, 1988), (Figura 15), las cuales presentamos a continuación:

- Cizallas (Y)-fallas principales paralelas a la zona de desplazamiento principal.
- Cizalla Riedel (R)-fallas sintéticas de desplazamiento lateral.
- Cizalla Riedel conjugada (R')-fallas antitéticas de desplazamiento lateral.
- Cizallas (P)-fallas sintéticas secundarias de desplazamiento lateral simétrico a (R).
- Fracturas de tensión (T)-fallas normales.

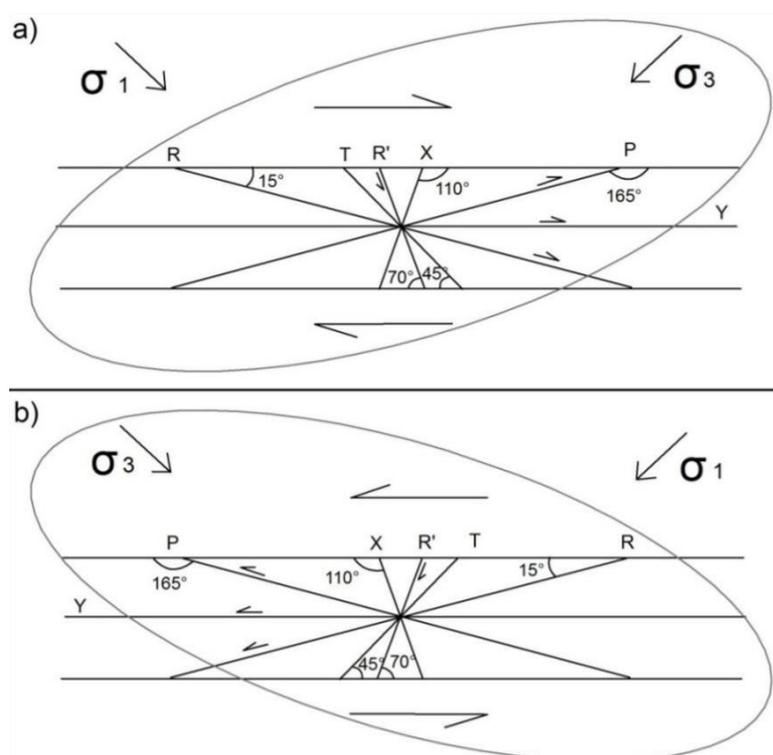


Figura 15. Modelo de Riedel representando relaciones angulares, siendo σ_1 el esfuerzo principal máximo; a) derecho (dextral); b) izquierdo (sinistral)

Fuente: Tomado de Riedel (1929)

Los pliegues abundarían, junto con las fallas inversas y de empuje de bajo ángulo en caso que el régimen fuera transpresional. En cambio en un régimen transtensional los pliegues corresponden a flexuras. No todos los elementos del sistema Riedel se desarrollan forzosamente, bajo condiciones naturales se ha establecido que no se producen simultáneamente sino de una forma secuencial (Silvester, 1988), como se observa en la Figura 16.

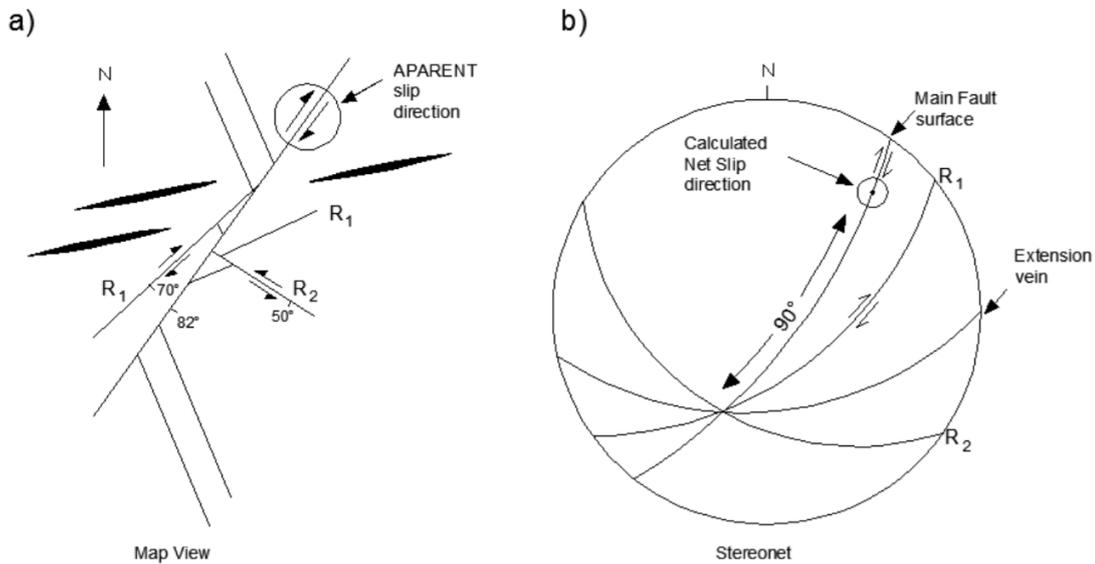


Figura 16. Representación del sistema de fracturamiento de Riedel: a) ejemplo del fracturamiento de Riedel mapeado en campo, b) fracturamientos mapeados dibujados en la red estereográfica. (Nótese que los planos de las estructuras dibujadas interceptan en un punto en el diagrama de planos (b))
 Fuente: Tomado de Silvester (1988)

2.4.6 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLAS

La nomenclatura utilizada para clasificar las fallas se basa en el ángulo pitch que tienen las estrías sobre el plano de falla de acuerdo a la clasificación (Figura 17), de esta forma se define de la siguiente manera, ver Tabla 3.

Tabla 3.
 Clasificación de una falla según el ángulo de pitch con respecto a la horizontal de las estrías

MOVIMIENTO DE LA FALLA	ANGULO DE PITCH
Movimiento lateral (dextral o sinistral)	Ángulos <10°
Lateral (dextral o sinistral) con componente normal	Ángulos entre 10° a 45°
Normal con componente lateral (dextral o sinistral)	Ángulos entre 46° a 80°
Movimiento normal	Ángulos >81°
Lateral (dextral o sinistral) con componente inverso	Ángulos entre 10° a 45°
Inverso con componente lateral (dextral o sinistral)	Ángulos entre 46° a 80°
Movimiento inverso	Ángulos >81°

Fuente: Elaboración propia

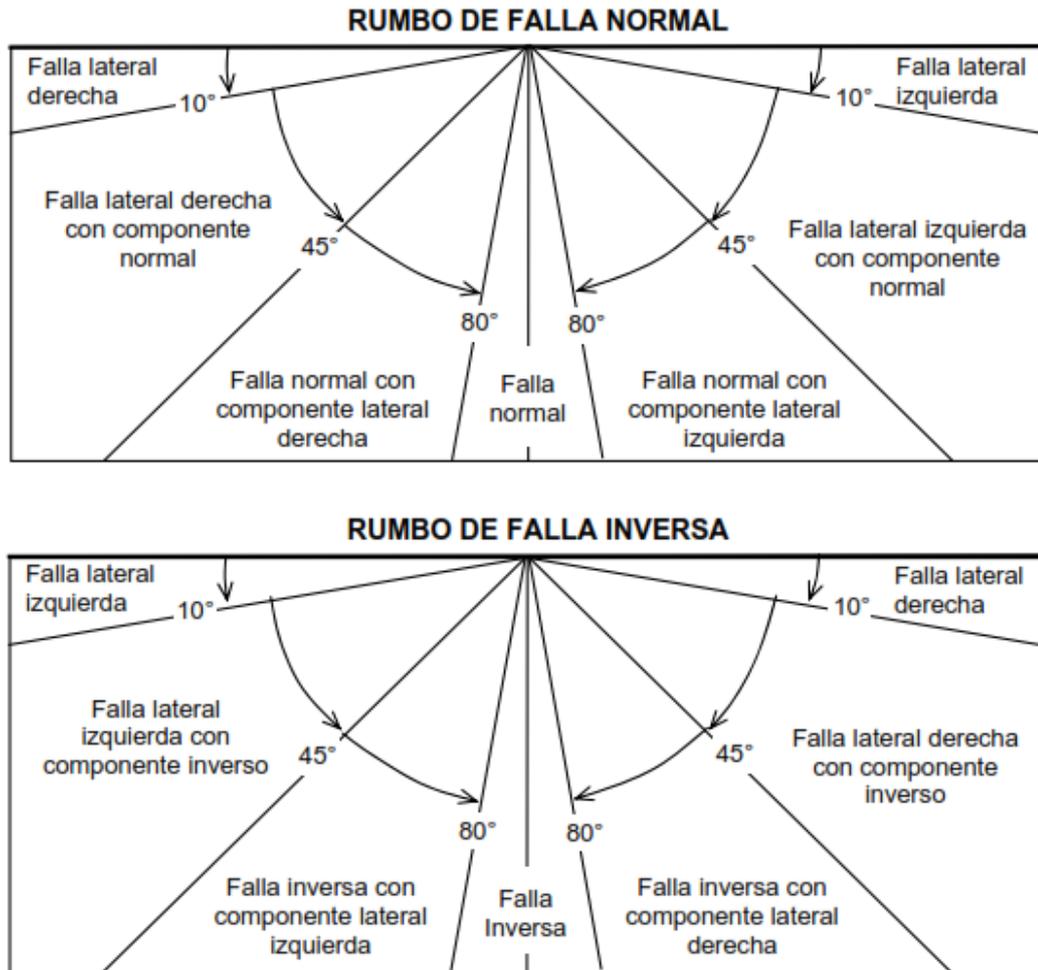


Figura 17. Nomenclatura de fallas con base en el ángulo del pitch de las estrías
 Fuente: Tomado de Páez (2010)

2.4.6.1 PRINCIPALES INDICADORES CINEMÁTICOS

El **pitch** es el ángulo formado entre la horizontal y la dirección de estría. Lo que permite clasificar el sentido de fallas conjugadas respecto al ángulo. Los indicadores cinemáticos o tectoglifos son una serie de estructuras (milimétricas y métricas), desarrolladas en un medio frágil y asociadas a fallas. Se emplean para determinar la dirección y sentido de desplazamiento sobre un plano de falla (Páez, 2010).

Las **fracturas secundarias asociadas a fallas**. Las fallas desarrollan una serie de fracturas secundarias cuya orientación y cinemática acusan el sentido de desplazamiento sobre la falla. Las fracturas secundarias pueden ser de cizalla (R y R' así como P) o extensionales (T). Si R y P se confunden, la interpretación del sentido de cizalla es

incorrecta. Las fracturas crescénticas con el lado cóncavo hacia la dirección de desplazamiento del bloque alto son muy confiables (Páez, 2010), ver Figura 18.

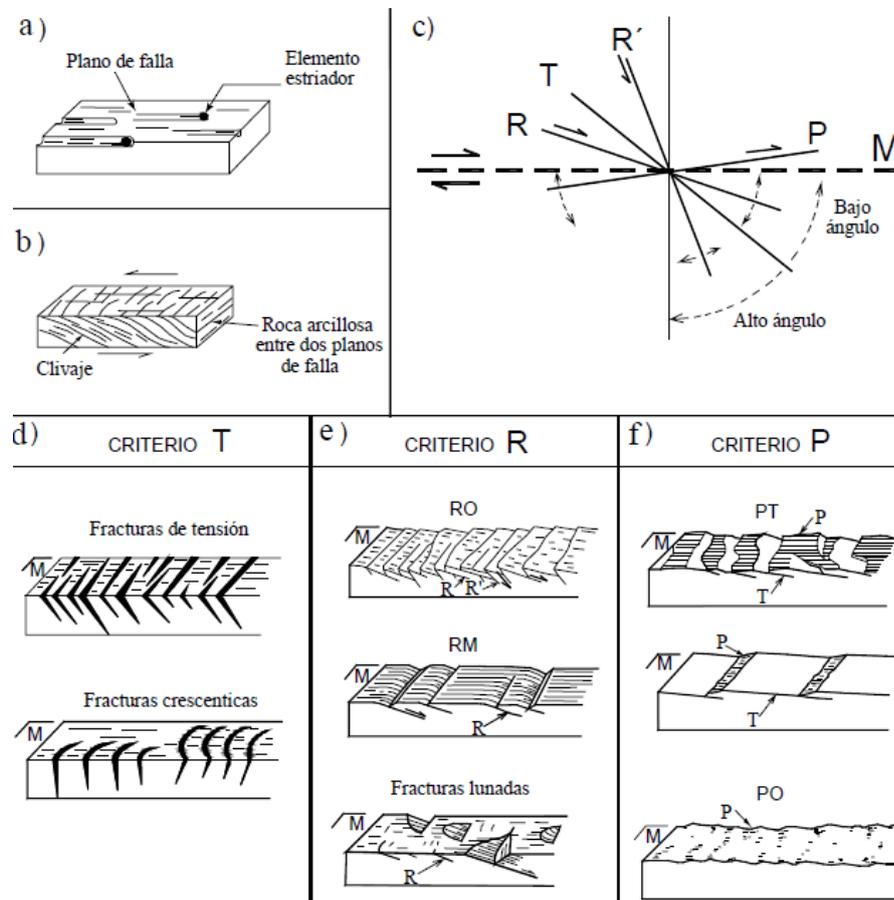


Figura 18. Fracturas secundarias asociadas a fallas mostrando las relaciones con el sentido de cizalla. a) relaciones angulares entre las fallas maestra, secundarias y grietas de tensión. b) clivaje de falla desarrollado entre dos planos de falla. c), d), e) y f) criterios de indicadores cinemáticos
 Fuente: Tomado de Petit (1987)

En la Figura 18 y Figura 19, se muestran los principales tectoglifos empleados para definir el sentido de movimiento del bloque faltante (GeoCosas, 2008).

- A) El elemento estriador al cabo de la estría, que puede ser un fragmento de roca.
- B) El 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) La banqueta al cabo de la estría se forma a partir del material arrancado del plano de falla, el cual es acumulado al extremo de la estría en forma de un pequeño promontorio.

- D)** La escama de arrastre se forma cuando el material arrancado del plano de falla es depositado al extremo de la estría en forma de una escama.
- E)** Los nichos de arranque se manifiesta como microdeslizamientos.
- F)** La escama de arranque se generan a partir de las estrías que tiene uno de sus extremos levantados, arrancando material del plano de falla y dejando como resultado una superficie irregular.
- G)** Las colas de mineral se caracterizan por tener presencia de minerales a un extremo de la estrías, mientras que hacia el lado opuesto de tiene polvo de mineral, dispuesto a manera de microbandas.
- H)** Para que se formen los lomos al abrigo se requiere de un elemento estriador endentado en el plano de falla, de tal manera que durante el desplazamiento relativo de bloques, el material arrancado del plano de falla se deposita a manera de lomas y es protegido por el elemento estriador endentado.
- I)** Los planos de falla ondulados, según sea el movimiento, 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)** La cristalización al abrigo, se produce dentro de las estrías a partir ciertos desniveles que generan el crecimiento de minerales como cuarzo, calcita, zeolitas o sulfuros, en la dirección del movimiento.
- K)** Las fallas de R1 se produce por esfuerzos de cizalla en la proximidad del plano de falla y forman un ángulo de 15° a 20° con el plano de falla principal. Son sintéticas o presentan movimiento en el mismo sentido de la falla mayor.
- L)** Las fallas de Riedel R2 se producen por esfuerzos de cizalla en la proximidad del plano de falla y forman un ángulo de 70° a 80° con el plano de falla principal. Son antitéticas.

M) Las lúnulas de tracción son fracturas abiertas, algunas veces a manera de semicírculos. La superficie de fractura es irregular y no presentan estrías. Forman ángulos entre 30° y 40° con el plano de falla principal. La dirección de buzamiento e las fracturas o parte cóncava de los semi-círculos nos indican el sentido de movimiento.

N) Las lenticulaciones son las únicas que se generan en medios dúctiles entre los descritos. Son microestructuras penetrativas con planos curvoplanares que determinan la deformación de las rocas en lentes. La orientación de las lenticulaciones determina el sentido de movimiento de la falla principal.

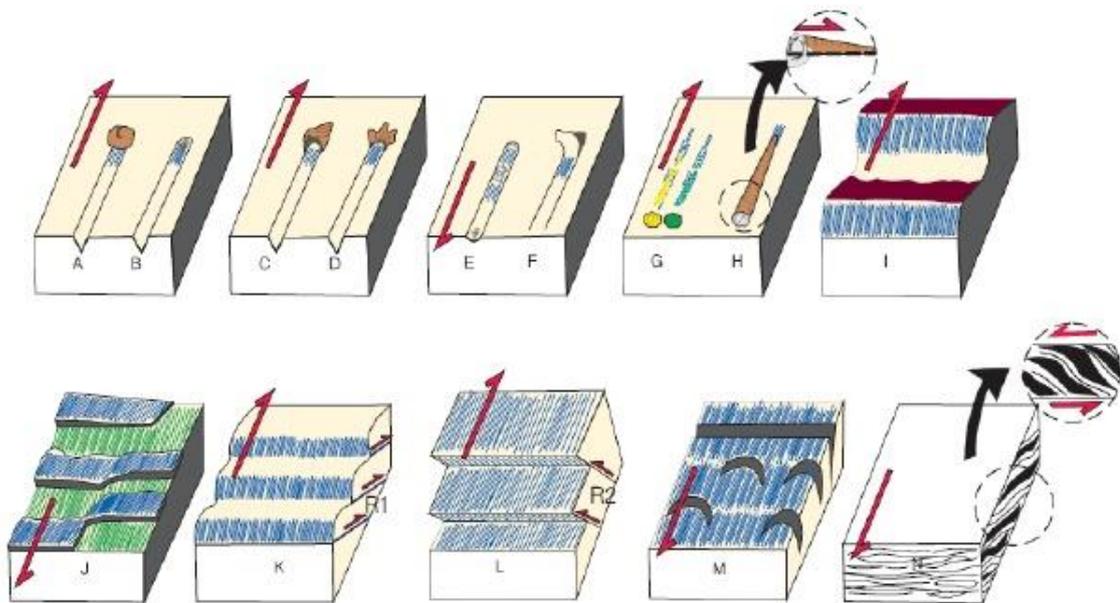


Figura 19. Tipos de indicadores cinemáticos - tectoglifos

Fuente: Modificado de Martínez (2002)

En la generación de planos de falla, la evidencia más notable de desplazamiento entre bloques es la del elemento estriador que imprime en el plano de la falla la dirección de movimiento relativo entre ellos, las estrías así formadas constituyen el primer indicador cinemático empleado. Dentro del conjunto de fallas compatibles destaca la falla maestra (M) que funge como el plano de referencia para las relaciones angulares; a 45° de la falla maestra se generan las fracturas de tensión (T), un par de fallas conocidas como fallas de Riedel (R-R'), se generan en pares conjugados con un ángulo de 60° entre sí, y

con ángulo de 15° (R) y 75° (R') con respecto a la falla maestra. Las fallas T, R y R' están orientadas con un ángulo agudo en el sentido de movimiento de la falla maestra. El tercer grupo de fallas secundarias son las fallas P, con bajo ángulo respecto a la falla maestra e inclinación opuesta a su sentido de movimiento (Figura 18c).

Se tienen tres criterios principales (Páez, 2010).

El criterio T, emplea fracturas de tensión, probablemente generadas por intemperismo mecánico y más antiguas que la falla M, estas fracturas buzan en dirección del movimiento de la falla maestra, ver Figura 18d

El criterio R se aplica si las fallas estriadas R y R' se observan sobre el plano de falla principal formando escalones contrarios a la dirección de movimiento del bloque faltantes, criterio RO (Figura 18e y Figura 21a), estos escalones que encaran al movimiento del bloque opuesto se denominan incongruentes (Figura 21a & Figura 21b). En los casos donde estos escalones están pulidos generalmente corresponden con el criterio PT (Figura 18f).

Si el plano de falla principal está completamente estriado el criterio se denomina RM y los escalones formados no encaran al bloque opuesto denominándose escalones congruentes en los que tiene lugar crecimiento de mineral estriado, ver Figura 20 y Figura 21c.

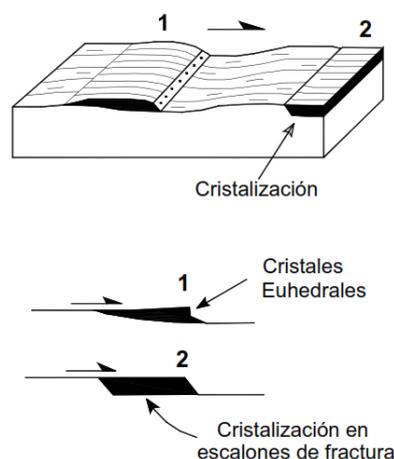


Figura 20. Escalones congruentes que no encaran, con cristalización de mineral
Fuente: Tomado de Petit (1987)

También dentro del criterio R se encuentran las estructuras lunadas cuyo lado curvo indica el sentido de movimiento del bloque que la contiene, ver Figura 18e.

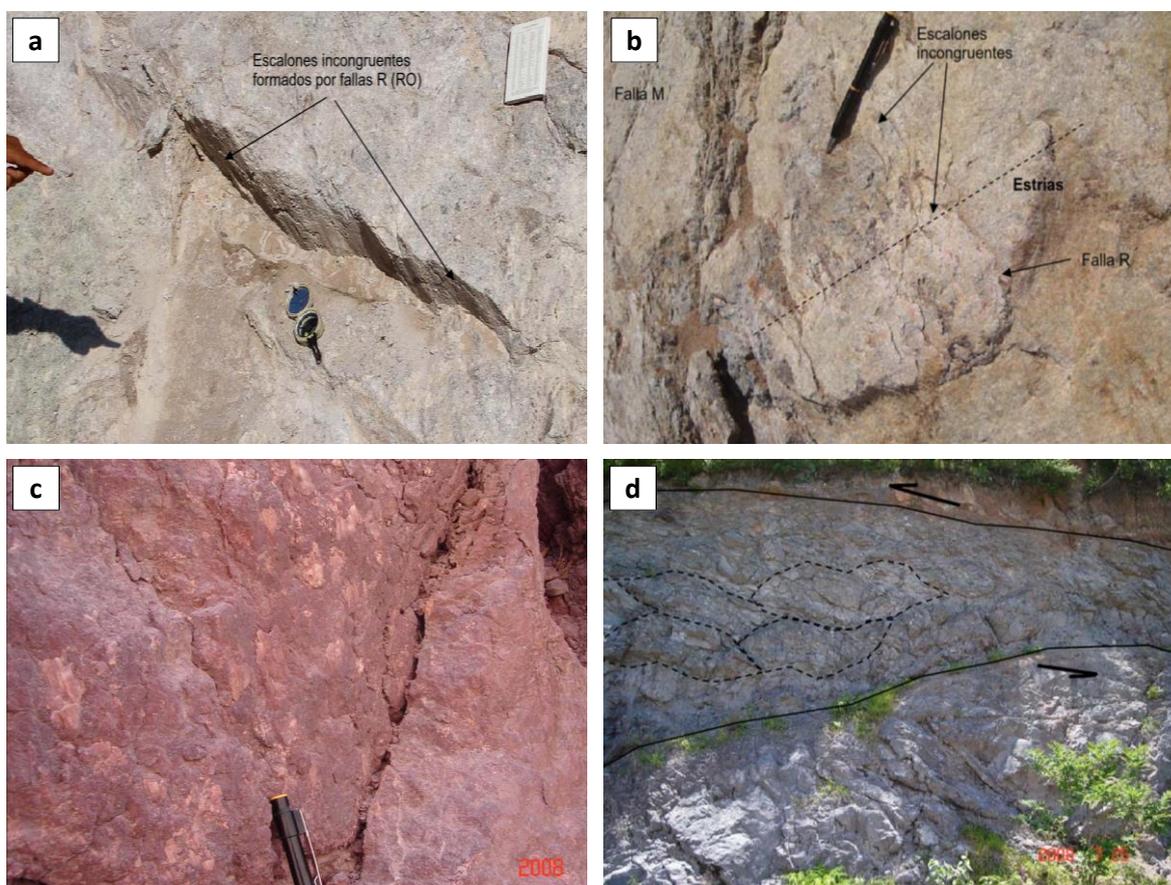


Figura 21. Criterios para determinar movimiento de falla. a) Plano de falla determinada como inversa por los escalones incongruentes formados por fallas R sobre la falla M, que encaran al movimiento del bloque perdido. b) Escalones de falla incongruente que indican una falla normal, en la que el bloque que falta deslizo hacia abajo encarando los escalones que forman las fallas R respecto a la falla M. c) Falla normal con crecimiento de mineral estriado en escalones de falla congruentes que no encaran, formados por fallas R y M. d) Zona de falla inversa con arreglo anastomosado de sigmoides compresional. La flexión hacia abajo del plano que funge como límite inferior de la zona de falla, es característica del comportamiento ondulado de estas estructuras

Fuente: Tomado de Páez (2010)

El criterio P, comúnmente se emplea en combinación con grietas de tensión no estriadas y se da por la alternancia de planos, uno estriado y uno sin estrías, que generan escalones incongruentes estriados o congruentes con crecimiento de mineral estriado, la letra O se emplea si en el plano se observan ya sea las fallas R o las P, ver Figura 18f.

Mercier & Vergely (2001) mencionan que “El progreso de la deformación en la zona de falla comprendida entre dos planos principales de falla, genera rotación de las

fallas R, R' y P, formando lentificación (Figura 21), un progreso mayor de la deformación genera la imbricación de sigmoides (dúplex) hasta desarrollar un arreglo anastomosado de sigmoides que indican un estado avanzado de la deformación (Figura 21d). Esta rotación de estructuras complica la aplicación de las técnicas para la determinación de las direcciones de acortamiento-extensión o de los esfuerzos principales, ya que se pierden las relaciones angulares originales y se enmascaran las direcciones de los ejes principales de deformación. Los arreglos paralelos e inclinados de las fracturas de tensión y fallas R-R', se identifican como estructuras en échelon, si éstas tienen una inclinación en sentido horario la falla principal es anti horario o sinestral, en el caso contrario, arreglos en échelon inclinadas en sentido anti horario, indican una falla principal horaria o dextral", ver Figura 22.

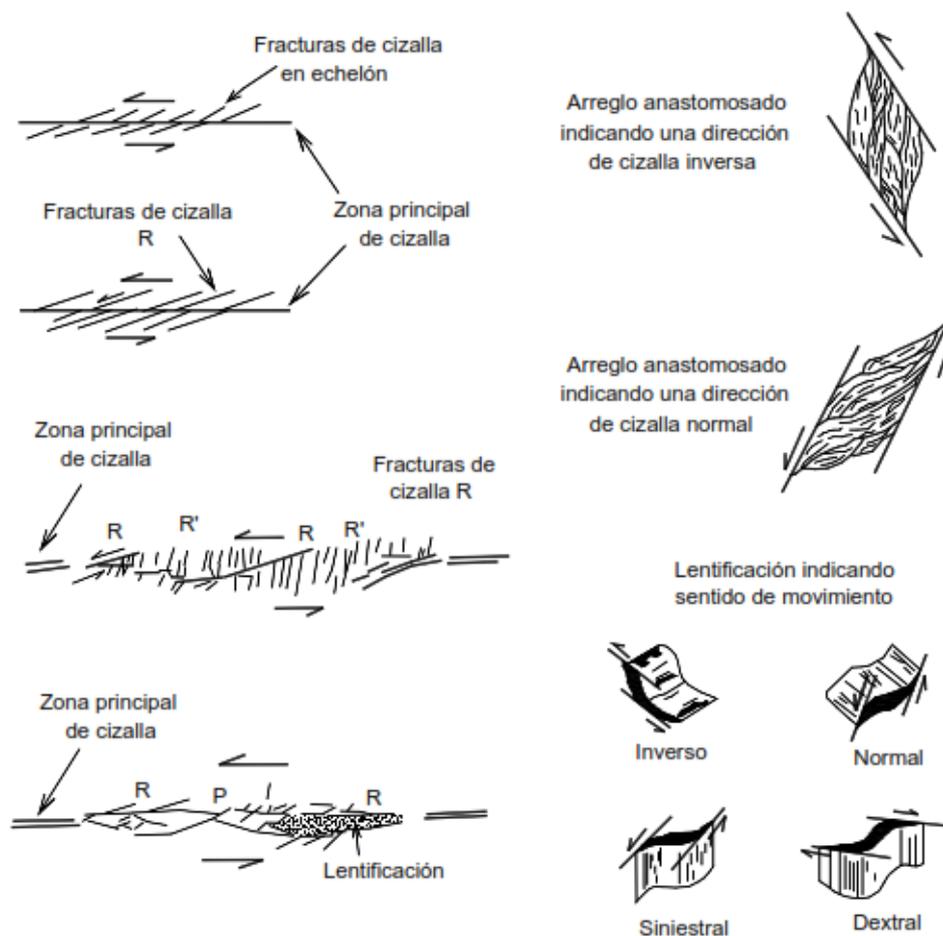


Figura 22. Formación de lentes o estructuras sigmoidales, por la rotación de fallas secundarias R, R' y P
 Fuente: Tomado de Mercier y Vergely (1992)

2.4.7 ANÁLISIS GRAFICO DE FALLAS

2.4.7.1 RELACIÓN GRAFICA DE FALLAS EN EL MODELO DE CIZALLAMIENTO

Los modelos de cizallamiento han sido obtenidos desde Cloos (1928) y Riedel (1929) a partir de múltiples observaciones de ensayos en el laboratorio de mecánica de rocas o en zonas de cizalla naturales. Estos autores determinaron 2 tipos de fallas a las que denominaron R1 y R2, posteriormente fueron denominadas como falla sintética y antitética (Harding, 1974). En la Figura 23 las estructuras originadas por movimientos transcurrentes son:

- a) Fallas sintéticas, se forman a unos 12° a 18° con el límite de los bloques o de la dirección de movimiento del sistema transcurrente y tienen el mismo sentido de desplazamiento del dicho sistema.
- b) Fallas antitéticas se forman a unos 72° a 78° con respecto a la dirección de los bloques, su movimiento es al contrario de las fallas sintéticas.
- c) Fallas normales e inversas, se presentan en forma oblicua al sistema de fallas mayor, las fallas inversas son perpendiculares a la dirección del esfuerzo principal y las fallas normales paralelas (Figura 23A). Al seguir el cizallamiento, una falla inversa cambia de orientación y adquiere un movimiento inverso con componente lateral (Figura 23B). Si sigue el cizallamiento, la falla inversa rota y se convierte en falla transcurrente puro con su desplazamiento en el mismo sentido que el desplazamiento del sistema mayor, o sea pasa a ser una falla sintética (Figura 23C), En cambio una falla normal pasa a ser antitética (Waldron, 2005).
- d) Los Pliegues se encuentran paralelos a las fallas inversas debido a un acomodo del componente de acortamiento en una deformación dúctil asociada a fallas inversas.

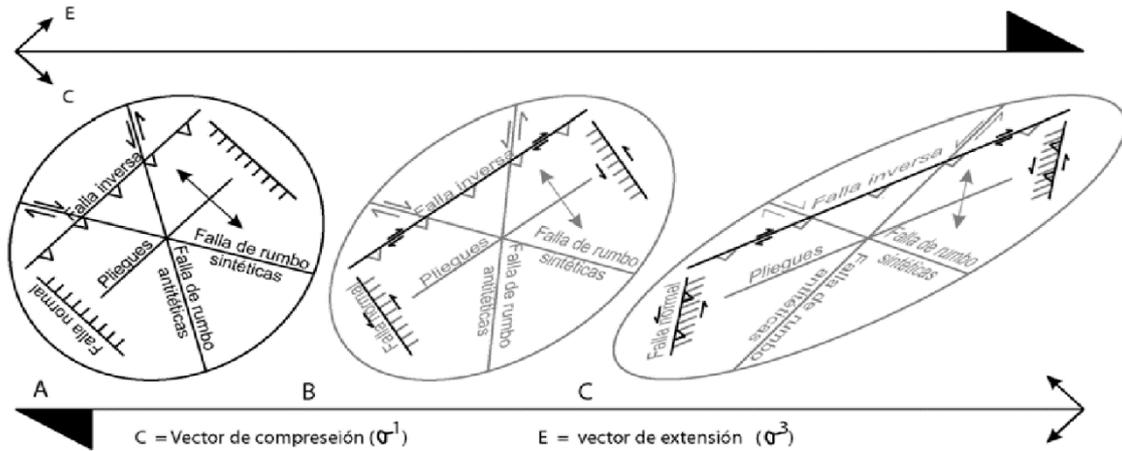


Figura 23. Esquema de movimientos en una zona transcurrente. A) Deformación asociada con el cizallamiento simple en una zona transcurrente. B) Modificación del (A) por la continuación de cizalla simple, las fallas de (B) en color gris, adquieren movimientos transcurrentes (negro). C) incremento mayor del cizallamiento conduce a la inversión (negro) de las anteriores fallas normales (color gris)

Fuente: Tomado de Waldron (2005)

2.4.7.2 PLANOS MODALES

Los planos nodales son conocidos como ejes P (acortamiento) y T (extensión). “Este método es uno de los más sólidos, aunque carecen de precisión en comparación con otros métodos numéricos” (Allmendinger, 1987), P&T representan los ejes que se encuentran a 45° con respecto a los planos nodales de una falla (Figura 24) y a 90° de la solución de la intersección de los planos nodales, la cual es conocida como el eje B.

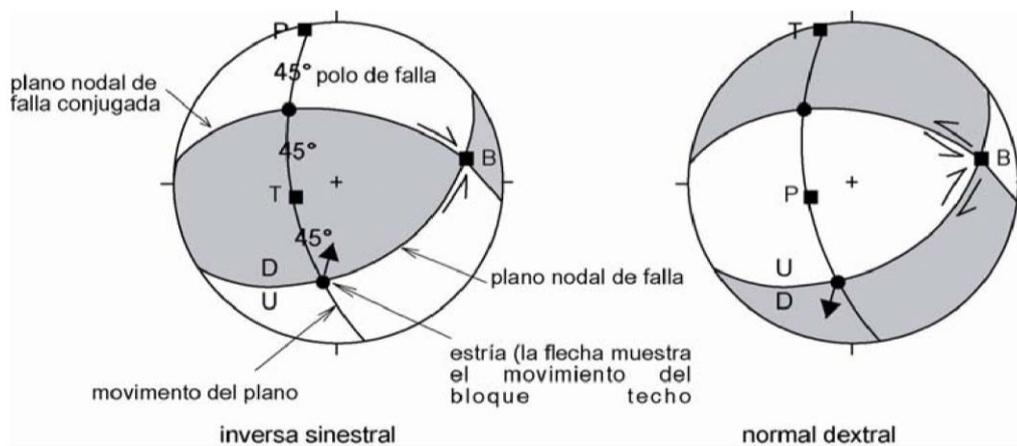


Figura 24. Proyección de planos nodales en el hemisferio inferior de la red estereográfica de Schmit

Fuente: Tomado de Allmendinger (1987)

P&T, han podido ser equiparados con las direcciones principales de esfuerzo, σ_1 y σ_3 respectivamente. De hecho, los ejes coinciden con las principales direcciones de

esfuerzo sólo si el plano de falla y su conjugada son planos de máximo esfuerzo de cizalla. Esto es poco probable, teniendo en cuenta que las fracturas de Coulomb y el mayor desplazamiento pueden ocurrir en fracturas pre-existentes (Allmendinger, 1987).

Se debe tener en cuenta que el cálculo de P&T para una sola falla implica la suposición implícita de una falla de tensión, porque no hay desplazamiento en la dirección B (Figura 24). Los ejes P & T corresponden a los ejes principales de tensión finita de una región donde sólo muestra fallamiento a escala invariable y la deformación es pequeña o la deformación tiende a ser coaxial. Este método, es una primera aproximación a la determinación de la deformación por métodos cuantitativos y es siempre el primer análisis que se realiza (Allmendinger, 1987). Tal vez la mayor ventaja de los ejes P&T, independientemente de su cinemática o importancia dinámica, son una simple representación directa de la geometría de la falla y el sentido de desplazamiento. Es decir, uno puede verlas simplemente como una forma alternativa de mostrar los datos originales.

Para la representación gráfica de los planos nodales se debe determinar primero los polos de cada plano de falla y luego determinar las fallas con componente inversa o normal, de tal forma que se determinen poblaciones y realizar 4 cuadrantes, ver Figura 25.

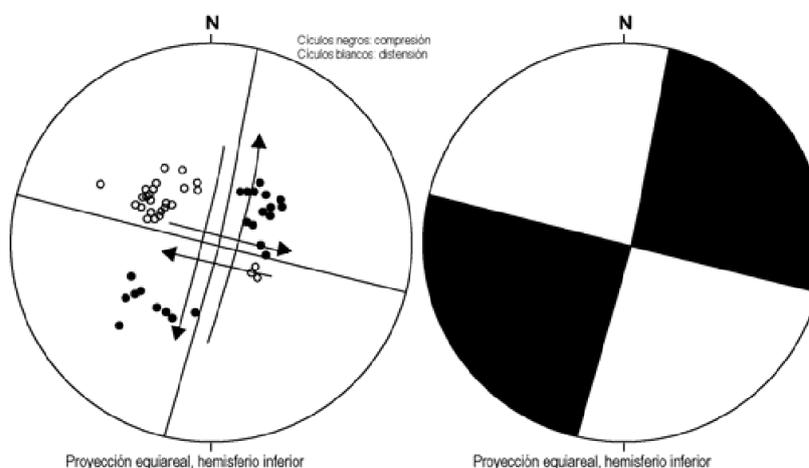


Figura 25. Planos nodales, trazados a partir de poblaciones de polos. Círculos blancos son polos extensivos y círculos negros son polos compresivos
Fuente: Tomado de Allmendinger (1987)

Para encontrar las orientaciones de los ejes de esfuerzos, podemos bisectar los cuadrantes compresivos y distensivos, si se denomina P al eje de máxima compresión y T al eje de compresión mínima, se puede les puede asignar por analogía de los criterios de mecánica de rocas σ_1 y σ_3 respectivamente, El eje P se puede asignar como la bisectriz de los cuadrantes distensivos y T como la bisectriz de los cuadrantes compresivos, ver Figura 24.

En la Figura 26, podemos observar la correspondencia entre las distintas configuraciones de los tipos de fallas que pueden en una determinada zona.

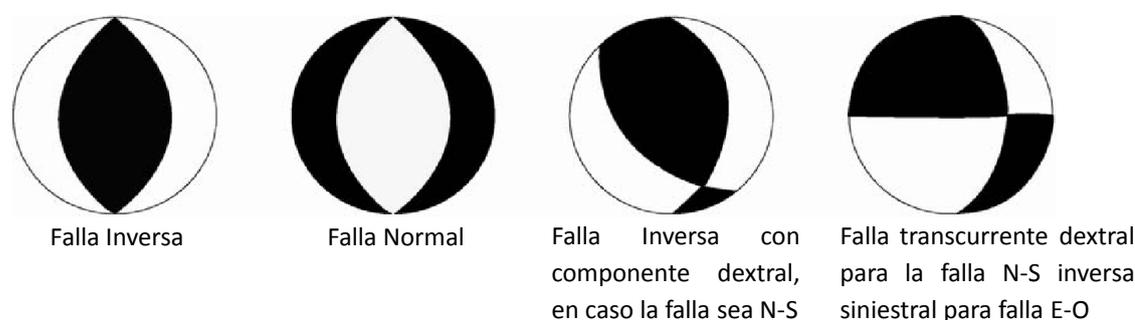


Figura 26. Representación gráfica de planos modales de distintos tipos de movimientos de fallas
Fuente: Tomado de Allmendinger (1987)

El nombre de la gráfica P&T alude a términos de esfuerzo, (...) se realiza con base en criterios de deformación. Infinidad de pruebas de laboratorio con especímenes de roca sometidas a prueba de compresión con una fuerza aplicada en dirección vertical (Figura 27) han demostrado la deformación de la roca mediante acortamiento en sentido vertical y alargamiento en el sentido horizontal, sobre todo considerando un círculo dentro del espécimen que se deforma a elipse durante la prueba; el progreso de la prueba hasta provocar el rompimiento de la roca evidenció la formación sistemática de microfallas a un ángulo de 30° a 45° con respecto a la aplicación de la fuerza (F).

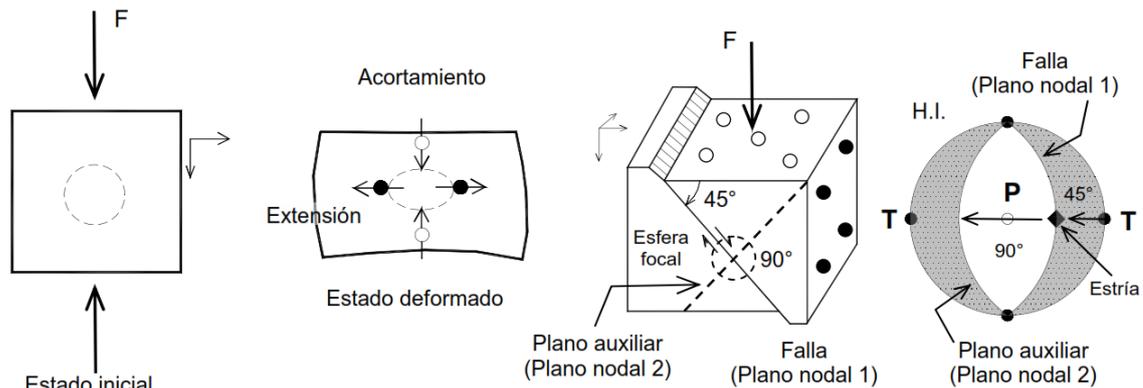


Figura 27. Deformación de una muestra de roca, indicando ejes de extensión y acortamiento. La posterior formación de un plano de falla con un ángulo de 45° con respecto a la fuerza F constituye el plano nodal 1° a 90° se grafica un plano auxiliar que constituye el segundo plano nodal, los planos nodales definen los campos de extensión (T) y acortamiento (P)
 Fuente: Tomado de Cox y Bryan (1986)

Extrapolando esta condición a un modelo se generan dos planos perpendiculares entre si denominados nodales que delimitan campos de acortamiento y extensión originado por el movimiento en los planos de falla, en estos campos las direcciones de máxima extensión y acortamiento son las líneas bisectrices a los planos nodales.

La aplicación del modelo de mecanismo focal a una falla, requiere conocer los planos nodales y el plano de movimiento de la falla sobre el que se debieron llevar a cabo las direcciones de máximo acortamiento y extensión, el plano de la falla constituye el primer plano nodal y el segundo plano nodal se genera tomando a la estría del plano de falla, representada por el pitch, como el polo de dicho plano nodal. La estría constituye el indicador cinemático del desplazamiento de la falla, por lo que se utiliza para generar el plano de movimiento junto con el polo del plano de falla. Las direcciones de máximo acortamiento y extensión se localizan sobre el plano de movimiento de la falla a 45° de los planos nodales (o a 45° a ambos lados de la estría), con ayuda de una esfera focal conceptual ubicada en la intersección de los planos nodales y las direcciones de desplazamiento de la falla, se definen los cuadrantes donde operan la extensión (T) y el acortamiento (P) (Figura 27). Construida así la gráfica, los ejes P y T son equivalentes a los eigenvectores de desplazamiento de esa falla por lo que dichos ejes son

fundamentalmente de naturaleza cinemática y representan los ejes principales del tensor de deformación incremental de la falla. Es importante destacar que el método se basa en el indicador cinemático que constituye la estría y el plano de falla que la contiene, de tal forma que el proceso de estos elementos estructurales que constituyen una deformación no debería proporcionar un resultado en términos de esfuerzo.

2.5 MODELO CONCEPTUAL PARA YACIMIENTOS TIPO “FAJAS DE PIZARRAS AURIFERAS EN CINTURONES OROGENICOS”

Los autores Boyle (1986); Kontak & Smith (1993) mencionan que “los depósitos de fajas de pizarras auríferas en cinturones orogénicos “FPACO”, tienen una amplia distribución en el mundo y constituyen una clase importante de reservas auríferas asociadas principalmente a vetas de cuarzo. Entre los ejemplos de estos yacimientos, que “ocurren en sedimentos estratificados que van desde el Arqueano al Terciario, se incluyen aquellos ubicados en los cinturones orogénicos de Bendigo-Ballararat en Victoria Central-Australia, en el distrito Caribú-Canadá, en el Meguma terrane de Nueva Escocia-Canadá, en el Otago goldfield de Nueva Zelanda, y el Sabie-Pilgrim’s Rest goldfield Transvaal de República de Sudáfrica” (como es citado en Rodríguez, de Azevedo, Coira, & Brodie, 2001). Como representantes de depósitos auríferos de clase mundial merecen citarse según Arce & Guzmán (2000) a “los yacimientos Muruntau en Uzbekistan con más de 100 millones de onzas y Sukhoy Log en Rusia Oriental con reservas de 50 millones de onzas. En los Andes Centrales existen operaciones en pequeña escala sobre mineralizaciones conocidas desde épocas incaicas: Ananea en el Sur del Perú y San Bernardino-Peterson, en la parte norte de Bolivia, este último depósito con reservas de 2,3 MOZ @ 1,4 g/ton Au (como es citado en Rodríguez et al., 2001).

Los depósitos consisten en vetas paralelas a la estratificación (ribbon quartz veins), vetas en zona de charnela (saddle reef) y oro diseminado en sedimentos con pirita,

arsenopirita y sulfuros de antimonio, etc. Encontrándose frecuentemente asociados a anticlinales, fracturas y zonas de cizalla brechadas. La mineralización hidrotermal, consiste esencialmente en cuarzo con cantidades subordinadas de carbonatos, feldespatos, micas, pirita, arsenopirita, oro nativo, y sulfuros de Sb, Cu, Pb y Zn (Boyle et al., 1986).

La alteración hidrotermal se encuentra poco desarrollada. Este hecho ha sido atribuido a que los fluidos portadores de mineralización estuvieron en equilibrio químico con la roca de caja. Más recientemente Bierlein et al. (1998) “establecieron que la magnitud e intensidad en el desarrollo de alteración hidrotermal, depende de parámetros como el control estructural y la presión de fluidos, además de la reactividad y permeabilidad de la roca hospedante. Los halos de alteración muestran consistente enriquecimiento en K_2O , CO_2 , S y As, constituyendo elementos diagnósticos durante la exploración minera” (como es citado en Rodríguez et al., 2001).

Si bien existen varias teorías sobre la génesis de estas mineralizaciones, es aceptado que los fluidos auríferos fueron derivados de reacciones metamórficas y los sistemas hidrotermales estuvieron estrechamente vinculados a ciclos orogénicos de escala continental (Sangster, 1990; Cox et al., 1991).

Existen al menos, tres hipótesis sobre la fuente para el oro y los elementos involucrados: **a-** los elementos estaban presentes en la roca de caja y fueron removilizados posteriormente (Sangster, 1990); **b-** los elementos fueron introducidos desde otras fuentes, a partir de fluidos provenientes de la corteza inferior (Cox et al., 1991; Kerrich & Cassidy, 1994), o bien **c-** los elementos fueron introducidos a partir de fluidos hidrotermales derivados de cámaras magmáticas en consolidación (Stüwe, Will, & Zhou, 1993). En la Figura 28, se presenta un esquema simplificado del modelo conceptual para mineralizaciones del tipo “fajas de pizarras auríferas en cinturones orogénicos”.

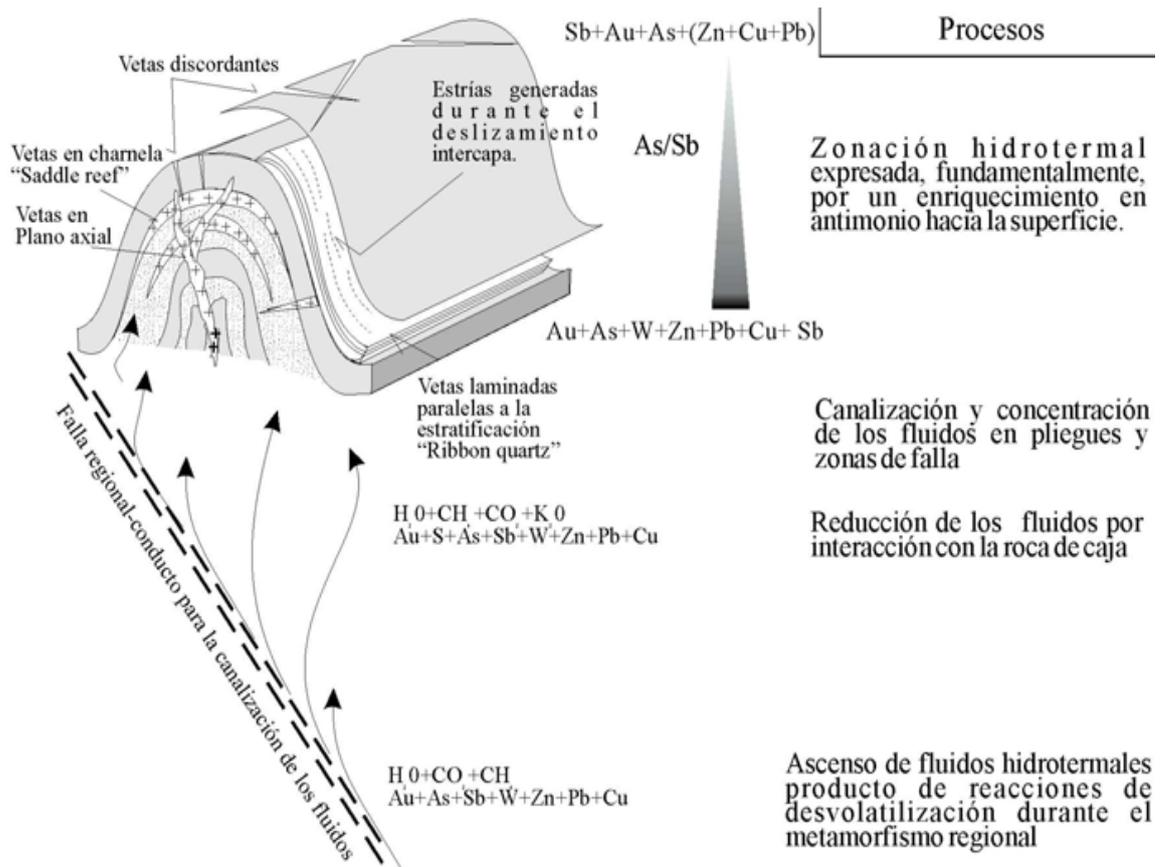


Figura 28. Modelo conceptual para yacimientos del tipo orogénicos de oro "faja de pizarras auríferas en cinturones orogénicos"

Fuente: Tomado y adaptado de Boyle et al. (1986); Cox et al. (1991)

2.6 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS REGIONALES

2.6.1 GEOMORFOLOGIA REGIONAL

La geomorfología a nivel regional presenta un relieve accidentado, conformando una cadena de nevados y montañas, con planicies y áreas aledañas que se encuentran conformadas por colinas; teniendo como principal accidente geográfico la Cordillera Oriental que está conformada por diversas unidades geomorfológicas las cuales son importantes para relacionar la morfología-litología (Monge & Zedano, 1996). Ver Anexo II, Lamina N°. 01: Mapa Geomorfológico Regional.

2.6.1.1 RELIEVE CORDILLERANO (Altas Cumbres)

Se encuentra como una faja continua que se dispone en forma diagonal, sus desniveles se encuentran comprendidos entre los 4200 y 5200 m.s.n.m.; se caracteriza por

presentar una cadena de cumbres pronunciadas, muchas de las cuales se hallan cubiertas por nieves perpetuas (Monge & Zedano, 1996), ver Figura 29.



Figura 29. Vista panorámica de la Cordillera Oriental. 410794-E, 8436711-N, mirando al N, mostrando el relieve cordillerano
Fuente: Elaboración propia

2.6.1.2 ALTIPLANICIE

Se ubica en los flancos del río Crucero, sus desniveles se hallan entre 4000 y 4200 m.s.n.m.; esta conforma una extensa pampa suavemente ondulada, constituyen llanuras aluviales tanto de origen fluvial como lacustres o combinadas. Litológicamente se conforma por sedimentos de origen fluvial, fluvio-glaciar y lacustrinos (Monge & Zedano, 1996), ver Figura 30a.

2.6.1.3 LADERA DE VALLE

Se denomina ladera de valle a la zona que conforma la ruptura de pendiente entre valle y las partes altas de una montaña o cerros, sobre la cual se desarrolla la actividad agrícola, se reconoce esta unidad en ciertos tramos del río Usicayos. La diferencia de desnivel es aproximadamente de 600 m.; estas laderas, presentan pendientes poco pronunciadas con acumulación de suelos (Monge & Zedano, 1996), ver Figura 30b.

2.6.1.4 VALLE GLACIAR

Se denomina así a los valles que se han formado debido a los fenómenos de erosión glaciar. Los principales valles se reconocen en la quebrada Aricoma, en las nacientes del río Limbani y Cusqui; estos valles son de fondo amplio y se encuentran

parcialmente rellenados por depósitos glaciofluviales (Monge & Zedano, 1996), ver Figura 30c.

2.6.1.5 VALLE CAÑON

Son valles profundos y encañonados, con perfiles simétricos y fondo en “V” resultantes de una intensa erosión de fondo, además presenta impresionantes acantilados con pendientes verticales a subverticales. Entre los principales valles cañón se reconoce formado en el río Usicayos. (Monge & Zedano, 1996), ver Figura 30d.

2.6.1.6 NEVADOS

Son cumbres más altas que conforman el relieve cordillerano, las cuales se hallan cubiertos por nieves perpetuas, estos nevados poseen cumbres afiladas y pronunciadas, formando escarpas. Sus desniveles se hallan comprendidos entre los 4800 y 5250 m.s.n.m. los principales nevados son Aricoma (5200 metros), Jhalahuaña (5250 metros), ver Figura 30e.

2.6.1.7 CIRCOS GLACIARES

Este modelado a modo de anfiteatro de erosión o arranque brusco se reconoce entre los cerros Apacheta y la laguna Aricoma, dentro de estos se conforma depresiones de geometría concéntrica con pendientes pronunciadas, en cuyas paredes y fondo se acumulan depósitos de origen glaciar y de talud (Monge & Zedano, 1996), ver Figura 30e.

2.6.1.8 DEPÓSITOS MORRENICOS Y GLACIOFLUVIALES

Estos depósitos de origen glaciar comúnmente se encuentran sobre los 4200 m.s.n.m.; las morrenas conforman geofomas tipo colinas alargadas con perfiles sinuosos y crestas de baja altitud; se reconocen morrenas laterales, frontales y de fondo; que están constituidas por fragmentos de diversas litologías (Monge & Zedano, 1996), ver Figura 30f.



Figura 30. Geomorfología regional. a) 392762-E, 8412415-N, mirando al E, pampa Crucero, con superficie sub-horizontal, como parte de la depresión Crucero-Ananea constituida de material glacio fluvial y con presencia de bofedales. b) 401278-E, 8438809-N, mirando al NE, ladera del flanco izquierdo del rio Usicayos agua abajo, muestra geomorfología abrupta y pendientes empinadas con mayor presencia de vegetación. c) 412927-E, 8433787-N, mirando al NO, vista del valle simétrico en el rio Cusqui, en forma de U. d) 407068-E, 8439490-N, mirando al SO, valle en forma de V en el rio Usicayos, muestra geoformas escarpadas sub verticales. e) 411649-E, 8418917-N, mirando al NO, Vista de un circo glaciar en el nevado Aricoma, presenta picos conspicuos y morfología abrupta. f) 411083-E, 8430042-N, mirando al SE, morrena lateral al NO de la laguna Ejuel Jota, constituida por bloques de rocas, gravas, arenas y en menor proporción limos; estas morrenas en muchos casos limitan a las lagunas formando diques naturales

Fuente: Elaboración propia

2.6.2 ESTRATIGRAFIA REGIONAL

La estratigrafía regional del área de investigación consta principalmente de una secuencia de rocas Paleozoicas que van desde el Silurico inferior hasta el Pérmico (Fm. Ananea, Gpos Ambo y Tarma) y depósitos recientes del Cenozoico (depósitos fluvio-glaciares, aluviales, lacustres y aluviales cuaternarios), influenciada por un fuerte plutonismo que data del Permo-Triásico, diferenciándose granodioritas, monzogranitos y granitos. Ver Anexo II, Lamina N°. 02: Mapa Geológico Regional.

El espesor de toda la secuencia estratigráfica expuesta a los alrededores del área de investigación supera los 2500 m aproximadamente (Martinez & Monge, 1998), ver Figura 31.

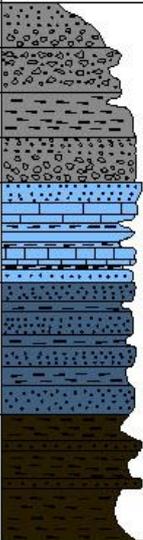
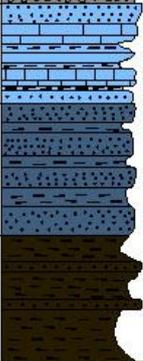
Eraterna	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigrafica	Grosor m.	Columna	Descripcion
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósitos Aluviales			- Gravas y conglomerados mal clasificados
			Depósitos Morrénicos			- Gravas subangulosas litológicamente heterogéneas
		Pleistoceno	Depósitos Lacustrinos			- Limos y limolitas de color beige
			Depósitos Glaciofluviales			- Gravas subredondeadas a subangulosas
Paleozoico	Carbonífero	Superior	Grupo Tarma	500		- Areniscas Feldespáticas verdes grisáceas hacia la base con intercalaciones de calizas micríticas grises y limoarcillas en menor proporción.
		Inferior	Grupo Ambo	800		- Arenisca cuarzosa blanquesina a gris oscura con intercalacion de limoarcillas, limolitas oscuras y pizarras; se observa restos de plantas
	Devoniano	Formación Ananea	1000	- Pizarras gris oscuras, azuladas caracteristicmente laminares y foliadas con niveles micaceos que se intercalan esporadicamente.		
		Siluriano				

Figura 31. Columna estratigráfica regional
 Fuente: Tomado de Monge & Zedano (1996)

2.6.2.1 PALEOZOICO

Se tiene principalmente rocas sedimentarias y metamórficas del Paleozoico inferior y superior, estas rocas afloran en forma de grandes secuencias alargadas orientadas en dirección andina las que de alguna manera controlaron la sedimentación del Mesozoico (Monge & Zedano, 1996, p48-64).

a) Formación Ananea (SD-a)

Toma su nombre de la localidad de Ananea en el departamento de Puno, (Laubacher, 1978) la describe como una gruesa secuencia pizarrosa, pelítico-samítica y esquistos aflorantes, formando parte de la Cordillera Oriental, y se prolonga hasta la Cordillera Real en Bolivia.

En el área de investigación a nivel regional esta unidad consiste de una gruesa secuencia de pizarras, pizarras-limolíticas y areniscas cuarzosas muy subordinadas. (...) las capas están fuertemente plegadas y existen muchas repeticiones debido fallas inversas (Monge & Zedano, 1996, p48-64).

En general esta secuencia cerca a los cuerpos plutónicos muestra una aureola de metamorfismo leve de tipo epizonal, presentando hornfels, pizarras recristalizadas e incluso pizarras de un aspecto calcinado macizo bien compacto, la edad que se asume (...) va del Silúrico al Devoniano y la unidad se correlaciona con la formación Chagrapi en el Altiplano (Palacios et al., 1993), ver Figura 32a.

b) Grupo Ambo (Ci-a)

Nombre denominado por Newell, Chronic, & Roberts (1949) para una secuencia cuya localidad típica aflora en los alrededores de Ambo en el departamento de Huánuco, en el Altiplano fue descrita por Palacios et al. (1993) en el cuadrángulo de Puno. Consiste de una roca clásica samito-pelítica y de ambiente continental, este grupo comprende de una secuencia inferior de pizarras carbonosas intercaladas con lutitas y areniscas cuarzosas de grano fino gris oscuras, y una secuencia superior de areniscas con niveles de limolitas y limoarcillas grises en algunos casos carbonosos. El grupo Ambo sobreyace en aparente continuidad sobre la secuencia pizarrosa de la formación Ananea Figura 32b. Se le estima un grosor de 800 m. aprox.

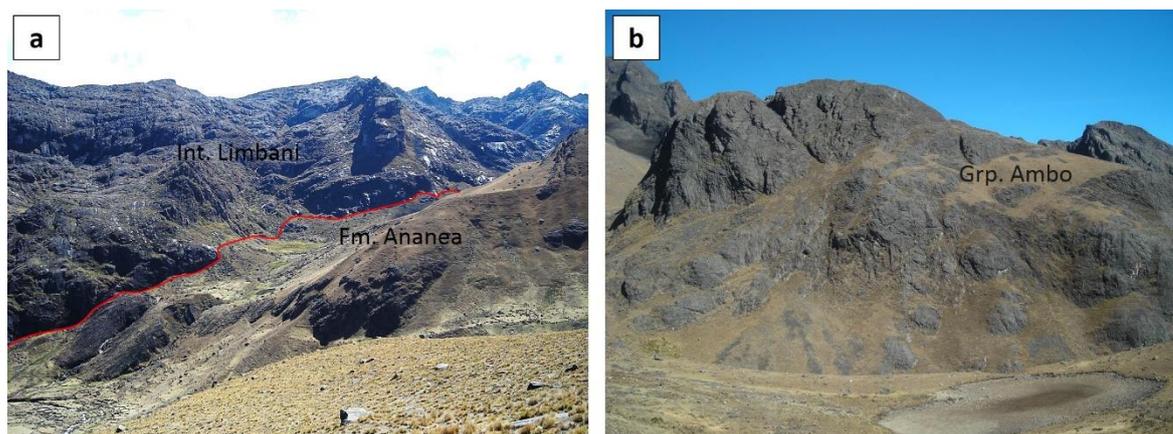


Figura 32. Rocas del Paleozoico. a) 412147-E, 8433694-N, mirando al E, afloramientos y contacto de la formación Ananea con el intrusivo Limbani, en el río Cusqui. b) 410617-E, 8433143-N, mirando al NNO, vista del afloramiento del grupo Ambo, muy cerca de la quebrada Canihuancani

Fuente: Elaboración propia

c) Grupo Tarma (Cs-t)

Es una secuencia pelitico-samítica calcárea denominada por Dunbar & Newell (1946), en el Perú Central. Se caracteriza por contener una intercalación de areniscas, limoarcillitas y calizas micríticas, cuya proporción es muy variable.

La secuencia inferior conformado por areniscas feldespáticas de color verde, intercalada con areniscas calcáreas de color gris y beige en capas medianas que tienen grosores de 20 a 50 cm.

Al tope se tiene una intercalación de calizas, areniscas calcáreas de color marrón amarillento; con limoarcillitas y areniscas feldespáticas.

2.6.2.2 CENOZOICO

a) Depósitos glaciofluviales (Qp-gf)

Ocupan una extensa área y gran parte de la depresión de Crucero – Ananea, mayormente se ubican hacia la margen derecha del río Crucero; con una morfología suave y ondulada, formando extensas pampas con una ligera inclinación de 5° a 10°. Estos depósitos son conformados por bloques, guijas y gravas en una matriz arenosa, con intercalación de conglomerados sub angulosos a sub redondeados (Monge &

Zedano, 1996, p.87-89), estos depósitos que se encuentran cubriendo a las rocas preexistentes, mayormente Paleozoicas, ver Figura 33a.

b) Depósitos morrenicos (Qh-mo)

Los depósitos morrénicos se encuentran (...) asociados con los Nevados de Aricoma entre otros. Estos depósitos están compuestos por gravas heterogéneas dispuestas caóticamente, con clastos angulosos a sub angulosos, en una matriz arenolimoso que se encuentran yaciendo sobre depósitos glaciofluviales pre existentes (Monge & Zedano, 1996, p.87-89), ver Figura 33b.

c) Depósitos aluviales (Qh-al)

Estos depósitos se encuentran rellenando el fondo de los valles o quebradas principales. La mayoría de estos alcanzan el nivel freático.

A lo largo del lecho del rio Crucero se tiene mejor expuesto estos depósitos constituidos por bloques, guijas, gravas, arenas, limos y arcillas de composición heterogénea y una mala estratificación, presentando en algunos casos lenticularidad, imbricación y terrazas (Monge & Zedano, 1996, p.87-89).

2.6.2.3 ROCAS INTRUSIVAS

Los stocks o rocas plutónicas como son los stocks Limbani y stocks Aricoma, que están dispuestos siguiendo una dirección andina, formando parte de un batolito en la cordillera Oriental del Sureste del Perú.

a) Plutón de Limbani

Es un cuerpo alargado que se emplaza siguiendo una dirección andina con una extensión aproximada de 100 a 150 km², que consiste en granodiorita y monzonita (...) (Monge & Zedano, 1996, p.101-102).

Regionalmente este cuerpo plutónico corta a la secuencia del Paleozoico inferior principalmente a la formación Ananea, presentando una aureola de esquisto, en

muchos casos formando hornfels. Se le asigna una edad de 230 ± 10 Ma., valor que se ha obtenido utilizando el método de U-Pb (Lancelot & Laubacher, 1980), lo que nos da una edad de emplazamiento del plutón de Limbani en el Permiano superior, ver Figura 34c.

b) Plutón Aricoma

Es un intrusivo de forma triangular asociado con otros pequeños cuerpos adyacentes, que en conjunto ocupan una área de 150 km^2 , probablemente en profundidad esté relacionado al plutón de Limbani, muestra una gradación de granodiorita a monzogranito de grano grueso y textura rapakivi (Monge & Zedano, 1996, p.101-102).

La edad que se asigna a este plutón usando los métodos de K-Ar es de 211 a 217 Ma (Kontak, Clark, & Farrar, 1984). Este cuerpo plutónico despierta gran interés, por sus zonas con alteraciones hidrotermales, destacando la mina Sarita, con ocurrencias de Cu-W-Mo-Sn, ver Figura 34d.



Figura 33. Depósitos del Cenozoico. a) 416143-E, 8429407-N, mirando al SE, depósitos glaciofluviales, formando pequeñas lagunas a desnivel. b) 412438-E, 8438340-N, mirando al SSO, vista de bloques de rocas y remanentes de depósitos morrénicos, muy cercano al pueblo de Cusqui.

Fuente: Elaboración propia

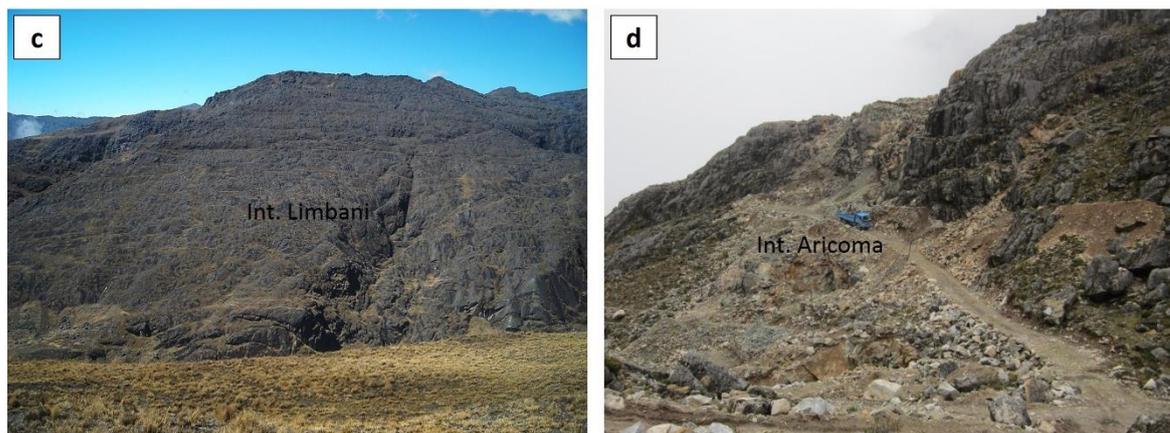


Figura 34. Rocas intrusivas. c) 411083-E, 8436096-N, mirando al SSE, afloramiento del intrusivo de Limbani, note las fallas y fracturas que afectan al intrusivo. d) 408205-E, 8429174-N, mirando al NO, afloramientos del intrusivo Aricoma, vista de la mina Sarita
Fuente: Elaboración propia

2.7 TECTÓNICA REGIONAL

El desarrollo estructural a nivel regional está íntimamente relacionado al ciclo evolutivo de la tectónica Hercínica y tectónica Andina; estos movimientos tectónicos han controlado la sedimentación y deformación de las unidades mayormente paleozoicas y mesozoicas las que evidencian una sobreimposición de estas fases tectónicas (Monge & Zedano, 1996, p.107).

2.7.1 ZONAS ESTRUCTURALES

Se ha podido reconocer dos megaestructuras de amplitud regional, (...), estas estructuras siguen el rumbo Andino NO-SE y se les denomina bloque de Crucero-Ananea y bloque de Carabaya-Sandia (Monge & Zedano, 1996, p.112). Ver Anexo II, Lamina N°. 03: Mapa de Zonas Estructurales.

2.7.1.1 BLOQUE DE CRUCERO-ANANEA

Es una gran depresión, la que empezó a formarse en la tectónica Finihercínica, desarrollándose plenamente en la tectónica Inca a fines del Eoceno y comienzos del Mioceno, este bloque se encuentra limitada hacia el NNE por el Bloque de Carabaya-Sandia y por el Sur con el Bloque de Huayrapata. Los límites de estos bloques lo constituyen fallas normales profundas (Monge & Zedano, 1996, p.112).

2.7.1.2 BLOQUE DE CARABAYA-SANDIA

Este bloque se encuentra constituida por rocas principalmente Paleozoicas (Gpo San José, y las Fms Sandia y Ananea), los afloramientos de plutones graníticos se emplazan próximos a las localidades de Limbani, y al Norte de Usicayos, intruyendo a las secuencias Paleozoicas, estas unidades forman esta megaestructura que se encuentra fuertemente plegadas con dirección de 315°NE y con ejes de pliegues que buzanan al NE (Monge & Zedano, 1996, p.112).

2.8 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS LOCALES

2.8.1 UBICACIÓN

El área de investigación se encuentra entre los 14° 10'S y 69° 49'O, localizado en la Cordillera Oriental de los Andes del Perú. La altura del área va desde los 3,850 m.s.n.m. hasta los 5,000 m.s.n.m. políticamente se encuentra ubicado al Sur del territorio peruano y Norte del departamento de Puno, a 150 Km al NNE de la ciudad de Juliaca (Figura 35) (Anexo II, Lamina N°. 04: Mapa de Ubicación), en el:

- Paraje : Pacacorral
- Comunidad : Oruro
- Distritos : Crucero – Limbani
- Provincias : Carabaya – Sandia
- Departamento : Puno

Geográficamente se ubica entre los 69°49'26" a 69°50'18" Longitud Oeste, y los 14°09'08" a 14°10'59" Latitud Sur; la zona de investigación se encuentra ubicado tomando como punto central la siguiente coordenada UTM PSAD 56 Zona 19S, ver Tabla 4.

Tabla 4.

Ubicación en coordenadas UTM PSAD 56 del punto central del área de investigación

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA
P-1	410558	8433556	4406 m.s.n.m.
DATA UTM	ZONA	HEMISFERIO	BANDA
PSAD 56	19	SUR	L

Fuente: Elaboración propia



Figura 35. Mapa de ubicación del Proyecto Crucero de la empresa minera Lupaka Gold Perú S.A.C., se encuentra al Norte del departamento de Puno

Fuente: Elaboración propia

2.8.2 EXTENSIÓN Y PROPIEDAD MINERA

El área de investigación comprende una extensión de 718.47 Has y un perímetro de 11.047 km., delimitado dentro de las siguientes coordenadas UTM PSAD 56, zona 19S, ver Tabla 5.

Tabla 5.

Ubicación en coordenadas UTM PSAD 56 del área de investigación

VERTICE	ESTE	NORTE	LONGITUD EN M.
V-1	409510	8435269	2107 m.
V-2	411606	8435269	3450 m.
V-3	411606	8431841	2107 m.
V-4	409510	8431841	3450 m.
DATA UTM	ZONA	HEMISFERIO	BANDA
PSAD 56	19	SUR	L

Fuente: Elaboración propia

El área de investigación se encuentra dentro de las propiedades mineras de la empresa minera Lupaka Gold Perú S.A.C., que está cubierto por 8 petitorios mineros, 3 de ellos mediante un contrato de cesión Minera con CEDIMIN-Buenaventura con una extensión de 1230.79 Has y 5 por minera Lupaka Gold Perú S.A.C. con una extensión de 3450 Has; sumando un total de 4680.79 Has. (Tabla 6) y un perímetro de total de 28 km. (Tabla 7), con coordenadas UTM PSAD 56, zona 19S, ver Figura 36. Ver Anexo II, Lamina N°. 05: Mapa de Propiedades Mineras.

Tabla 6.

Propiedades mineras CEDIMIN-Buenaventura y Lupaka Gold Perú S.A.C.

DERECHO MINERO	HECTAREAS	PROPIETARIO	%
Mina Crucero 10	299.91	CEDIMIN S.A.C.	100
Mina Crucero 4	150	CEDIMIN S.A.C.	100
Mina Crucero 2007	780.88	CIA DE Minas Buenaventura	100
Mina Crucero 1	650	Lupaka Gold Peru S.A.C.	100
Pacacorral 1	700	Lupaka Gold Peru S.A.C.	100
Pacacorral 2	700	Lupaka Gold Peru S.A.C.	100
Pacacorral 3	600	Lupaka Gold Peru S.A.C.	100
Santa Cruz 1	800	Lupaka Gold Peru S.A.C.	100
TOTAL	4680.79		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.

Coordenadas UTM PSAD 56 del área de la concesión de Lupaka Gold Perú S.A.C.

VERTICE	ESTE	NORTE	LONGITUD EN M.
V-1	408000	8437000	7000 m.
V-2	415000	8437000	2000 m.
V-3	415000	8435000	1000 m.
V-4	416000	8435000	4000 m.
V-5	416000	8431000	8000 m.
V-6	408000	8431000	6000 m.
DATA UTM	ZONA	HEMISFERIO	BANDA
PSAD 56	19	SUR	L

Fuente: Elaboración propia

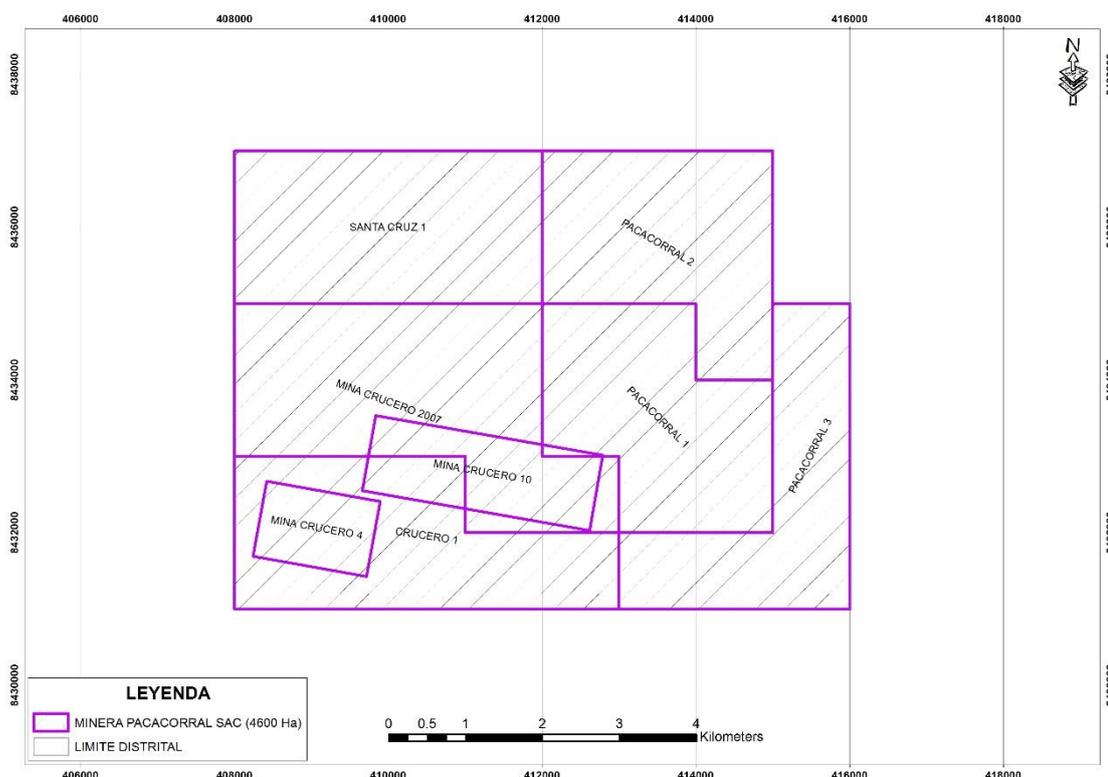


Figura 36. Mapa de Propiedades Mineras del proyecto Crucero de la empresa minera Lupaka Gold Perú S.A.C., se encuentra al Norte del departamento de Puno

Fuente: Elaboración propia

2.8.3 VÍAS DE ACCESOS

La accesibilidad al área de investigación es primeramente por vía aérea desde la Ciudad de Lima a la Ciudad de Juliaca con un tiempo de 1 h 30' aprox., posteriormente se continúa por vía terrestre desde la Ciudad de Juliaca por la carretera Interoceánica del Sur del Perú, carretera Juliaca-Azangaro-Ollachea-San Gabán-Puerto Maldonado-Brasil (carretera asfaltada), hasta el kilómetro 140 donde existe un desvío hacia el Pueblo de

Crucero-Centro Poblado Oruro (carretera afirmada) y desde el Centro Poblado Oruro-Mina Sarita-Proyecto Crucero (tocha carrozable), ver Figura 37.

La distancia total desde la Ciudad de Juliaca hasta el Proyecto es de 234 Km con un tiempo de 5 h 00' aprox., ver Tabla 8.

Tabla 8.

Distancias y tiempos al proyecto Crucero (área de investigación)

VIA	KILOMETROS	HORAS	TRAMO
(*) Juliaca – Azángaro	70	0 h 50'	Asfaltado
(*) Azángaro – Desvío	90	1 h 50'	Asfaltado
Desvío – Crucero	25	0 h 20'	Afirmado
Crucero – C.P. Oruro	12	0 h 10'	Afirmado
C.P. Oruro – Mina Sarita	29	1 h 20'	Trocha carrozable
Mina Sarita - Proyecto	8	0 h 30'	Trocha carrozable
TOTAL	234	5 h 00'	
(*) Carretera Interoceánica del Sur del Perú, Juliaca – San Gabán – Madre de Dios – Brasil			

Fuente: *Elaboración propia*



Figura 37. *Vía de acceso por trocha carrozable. 404264-E, 8421150-N, mirando al NO, en camino y dirección al Proyecto Crucero*

Fuente: *Elaboración propia*

2.8.4 FISIOGRAFIA Y DRENAJE

La fisiografía es accidentada con variaciones en cota que van desde los 3,850 a 5,000 m.s.n.m. Existen unas 18 lagunas de las cuales 3 tienen dimensiones de 450-550 metros de longitud por 90-150 metros de ancho y el resto entre 70-420 metros de longitud

por 35-110 metros de ancho, todas ellas drenan al río Usicayos principal colector de la región y desemboca al llano amazónico en la cuenca del Atlántico, ver Figura 38.

El área se caracteriza por ser desolada donde la actividad económica principal es la crianza de auquénidos en las partes altas a escala reducida y en los valles interandinos, se desarrolla una débil agricultura donde el cultivo de papa es la principal actividad.



Figura 38. Vista panorámica del relieve topográfico. 411470-E, 8432822-N, mirando de SO a NE, donde se muestra la topografía abrupta y la distribución del drenaje en el proyecto
Fuente: Elaboración propia

2.8.5 GEOMORFOLOGIA LOCAL

El área de investigación forma parte de la morfoestructura de la Cordillera Oriental de los Andes Centrales, específicamente en la precordillera de Carabaya y conforma el límite de la divisoria de aguas de las cuencas, endorreica del Lago Titicaca e Hidrográfica del Atlántico.

Se caracteriza por estar formada por una sucesión de picos montañosos de gran altitud, donde la actividad tectónica y glaciaria han sido los principales agentes modeladores de la actual configuración geomorfológica, como se observa en la Figura 38 (Fernandez, 2009). Ver Anexo II. Lamina N°. 06: Mapa Geomorfológico Local.

2.8.5.1 FACTORES GEOMORFOLOGICOS

Los factores que caracterizan las unidades geomorfológicas en el área de investigación, están denotados básicamente por el substrato geológico, la erosión, las formas del relieve, el clima de la zona y los factores antrópicos (Fernandez, 2009), se resumen de la siguiente manera, ver Tabla 9.

Tabla 9.

Factores que caracterizan las unidades geomorfológicas

FACTORES	DESCRIPCIÓN
Substrato Geológico	La litología y las estructuras presentes, son ampliamente el factor más importante.
Erosión	La zona presenta dos tipos de erosión (diferencial y laminar)
Formas del Relieve	Las formas que presenta la zona sirven de caracterización y ayudar a la clasificación de las unidades geomorfológicas.
Clima	Es un factor condicionante para el modelado actual de la zona.
Antrópicos	Por la lejanía de la zona la actividad antrópica ha intervenido de forma muy esporádica en la zona.

Fuente: Tomado de DIA-Proyecto Pacacorral 2009

2.8.5.2 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

Se ha podido identificar cuatro sistemas (Antropico, Glacial, Fluvio-Aluvial, Montañoso), que en conjunto contienen 10 unidades geomorfológicas (Fernandez, 2009) (Figura 38 & Figura 39), las que se presentan de la siguiente manera, ver Tabla 10.

Tabla 10.

Unidades geomorfológicas

SISTEMA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ANTROPICO	Zona Rural	Infraestructura rural en proceso de expansión con poco equipo y carencia de planificación.
	Red Vial	Construidas con material de la zona en regulas estado de conservación.
GLACIAL	Lagunas	Corresponden a lagunas escalonadas de origen glaciario y que están presentes en el área de influencia directa del proyecto.
FLUVIO - ALUVIAL	Ríos	De naturaleza juvenil con escasos meandros originados por la litología, lechos estrechos en valles glaciarios.
	Lecho fluvial - Pluvial	Canales de riachuelos temporales asociados a las lluvias anuales. Forman un sistema de drenaje dendrítico en las quebradas y ríos.
	Valle	Fondos erosionados de valle. En erosión hídrica concentrada a épocas de avenida, son de naturaleza juvenil y de forma en "V"
MONTAÑOSO	Escarpas	Formadas por rocas estratos de rocas competentes dispuestas en los flancos de los valles.
	Colinas Altas	De pendientes elevadas, formado por controles litoestructurales, en proceso de erosión, presenta zonas de erosión diferencial.
	Colinas Medias	Formadas por desgaste diferencial en formaciones blandas de pizarras con erosión regresiva y laminar
	Colinas Bajas	Formada por acumulación de sedimentos donde sucede una erosión laminar

Fuente: Tomado de DIA-Proyecto Pacacorral 2009



Figura 39. Vista panorámica del relieve geomorfológico. 410122-E, 8432154-N, mirando de N al NE, se muestra las unidades geomorfológicas en el proyecto
Fuente: Elaboración propia

2.8.6 ESTRATIGRAFÍA LOCAL

El área de investigación proyecto Crucero se localiza en la Cordillera de Carabaya, que es parte de la Cordillera Oriental de los Andes del Sur del Perú, (...), siendo la fuente de yacimientos primarios de oro en rocas Paleozoicas, metalogénicamente en la franja de oro (Au) en rocas meta-sedimentarias del Ordovícico y Silúrico-Devónico, que se prolonga al Sur hasta Bolivia y Argentina (Ingemmet, 2012).

La geología está conformada por rocas metamórficas y sedimentarias del Silúrico-Carbonífero, formación Ananea y el grupo Ambo que han sido intrusivos por los stocks de Limbani y Aricoma, cuyas edades corresponden al Pérmico-Triásico; estructuralmente el área está relacionada al ciclo evolutivo de la tectónica Hercínica y tectónica Andina que se manifiesta por un intenso plegamiento y fallamiento de rumbo NO-SE. Ver Anexo II. Lamina N°. 07: Mapa Geológico Local.

2.8.6.1 PALEOZOICO

a) Formación Ananea (SD-a)

En el área de investigación la formación Ananea forma parte importante en el emplazamiento de la mineralización actuando como metalotecto, dicha formación está

conformada por limoarcilitas pizarrosas y pizarras negras carbonosas con pequeñas intercalaciones de lentes de limos y con niveles delgados de areniscas finas, la secuencia aflora en forma de una franja continua de dirección andina que son cortados por numerosos diques de composición andesítica y vetas de cuarzo blanco de dirección NO-SE.

Los afloramientos se encuentran fuertemente deformados, plegados y fallados, donde se puede distinguir una foliación bien marcada hacia la parte NE del área, ver Figura 40.

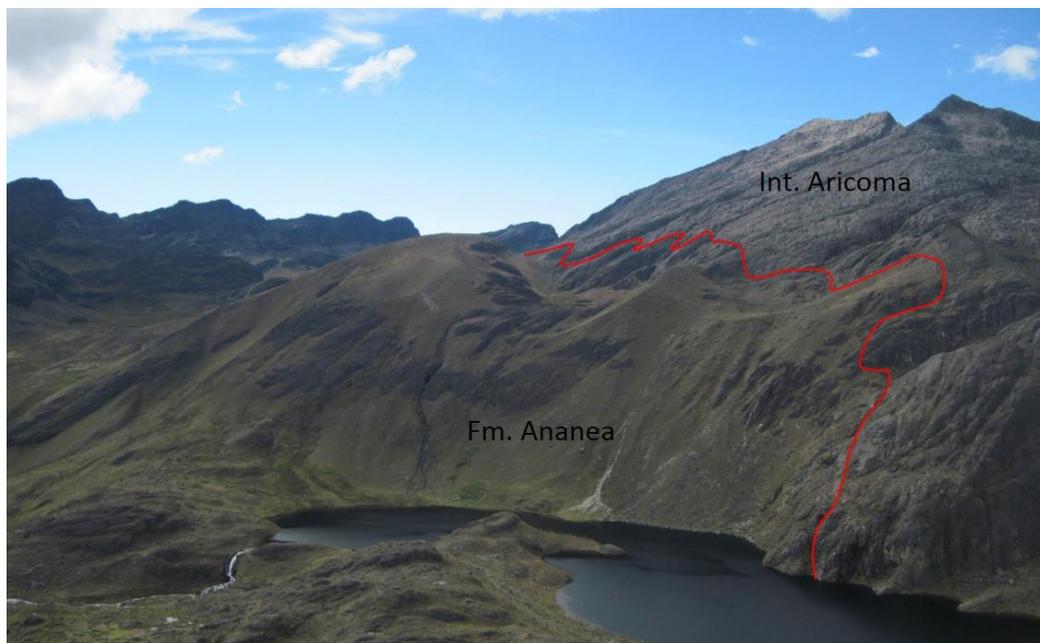


Figura 40. Vista panorámica del contacto entre pizarra e intrusivo Aricoma. 411358-E, 8430300-N, mirando al SE, se observa el contacto entre la formación Ananea y el intrusivo Aricoma (contacto en línea roja)

Fuente: Elaboración propia

b) Grupo Ambo (Ci-a)

Litológicamente es una secuencia samito-pelitica que afloran en la parte Oeste del área de investigación; las rocas presentan una secuencia de estratos que están constituidos por areniscas cuarzosas de grano fino a medio de color verdusco y gris claras con escasos niveles de pizarras grises.

En el área de investigación el contacto del grupo Ambo con las pizarras de la formación Ananea está limitada por la falla denominada Canihuancani.

El grupo Ambo por estar “supra yaciendo a la formación Ananea e infra yaciendo al grupo Tarma, según le corresponde una edad del Carbonífero Inferior” (Monge & Zedano, 1996), ver Figura 32b y Figura 42.

2.8.6.2 CENOZOICO

a) Depósitos morrenicos (Qh-mo)

Estos depósitos tienen una marcada presencia en el área de investigación, se tiene preferentemente depósitos morrenicos laterales con una dirección de la remoción hacia el Norte y Nor-Oeste y en menor proporción se tiene depósitos morrenicos frontales.

Los materiales que constituyen estos depósitos están conformados por gravas dispuestas caóticamente y muy heterogéneas, con clastos angulosos a sub angulosos en una matriz arenolimoso, ver Figura 30f.

b) Depósitos aluviales (Qh-al)

Se encuentran en las quebradas y valles principalmente, están constituidos por bloques, guijas, gravas, arenas, limos y arcillas de composición heterogénea con mala estratificación, junto con estos depósitos también se observa los depósitos de talud de escombros, que generalmente cubren parcialmente los flancos escarpados de las elevaciones y valles.

Estos depósitos se vienen acumulando con diferente intensidad desde el Holoceno hasta los tiempos actuales, ver Figura 41.



Figura 41. Vista de la acumulación de depósitos aluviales y depósitos de talud. 410109-E, 8434079-N, mirando al S, quebrada Canihuanconi, depósito aluvial, márgenes del río y depósitos de talud, margen izquierdo del río aguas abajo
Fuente: Elaboración propia

2.8.6.3 ROCAS INTRUSIVAS

Está Conformado por los stocks Limbani y Aricoma de edad Pérmico-Triásico, afloran ampliamente en la parte NE y SO del área de investigación, e intruyen a las secuencias sedimentarias y metamórficas de la formación Ananea y del grupo Ambo.

a) Plutón de Limbani

El plutón de Limbani localmente está constituido por granodiorita, monzogranito de grano fino a medio, de textura porfirítica, presenta moderado fracturamiento de dirección NO-SE y otras NE-SO, ver Figura 34c.

El plutón está en contacto por medio de fallas con las pizarras de la formación Ananea; según dataciones realizadas (U-Pb), se le asigna una edad de 230 ± 10 Ma., lo que indicaría que su edad es del Pérmico superior (Lancelot & Laubacher, 1980).

b) Plutón Aricoma

El plutón Aricoma localmente está constituido por una gradación de granodiorita a granitos alcalinos con textura granular con granos euhedrales a subhedrales con fenocristales de plagioclasas.

El plutón intruye a las rocas de la formación Ananea y a las del grupo Ambo, en forma irregular y a veces interdigitado en forma de pequeños diques o formando estructuras de tipo techo colgante (ruf pendant), el intrusivo muestra fallamientos y fracturamiento moderado con dirección NE-SO y N-S, ver Figura 42.

Por las dataciones realizadas usando los métodos de K-Ar es de 211 a 217 Ma. (Kontak et al., 1984).

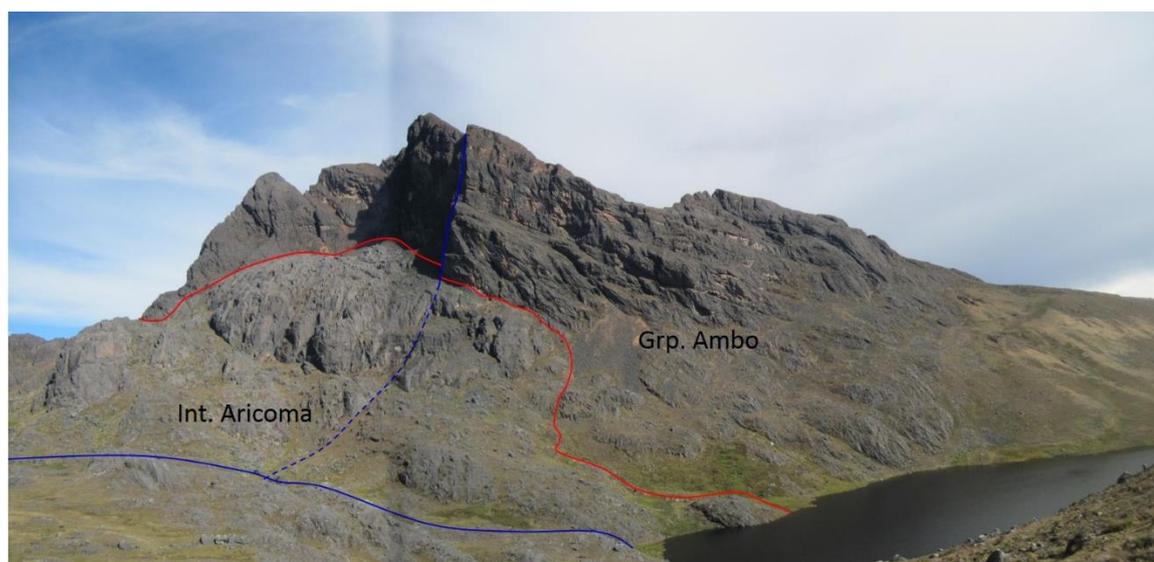


Figura 42. Vista panorámica del contacto entre areniscas e intrusivo Aricoma. 410906-E, 8430982-N, mirando al NO, se observa el contacto entre el grupo Ambo y el intrusivo Aricoma, ambos afectados por fallas (contacto en línea roja y fallas en línea azul)
Fuente: Elaboración propia

2.8.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

El desarrollo estructural en el área de investigación está íntimamente relacionado al ciclo evolutivo de la tectónica Hercinica y tectónica Andina; estos movimientos tectónicos han controlado la sedimentación y deformación de las unidades Paleozoicas.

Ver Anexo II. Lamina N°. 08: Mapa Estructural Local.

2.8.7.1 PLIEGUES

Los pliegues tienen dirección preferencial de rumbo Andino NO-SE principalmente, con presencia de plegamientos secundarios con dirección N-S de menor longitud, los pliegues con charnelas más amplias y con moderada extensión, presentan flancos notables y amplios con replegamientos disarmónicos internos que van de metros a centímetros.

Los pliegues apretados tienen planos con dirección de eje 330°NE , con buzamientos hacia el NE y plunge al NO como es el caso del anticlinal Pacacorral, denominado zona A-1, donde se encuentra emplazado la mineralización, en el Proyecto Crucero las extensiones de los pliegues están en dirección a otros targets tanto al NO como al SE, siguiendo la misma tendencia (trend) estructural Andino. Estos pliegues están asociados a la deformación regional reconocida en el área de investigación, ver Figura 43.

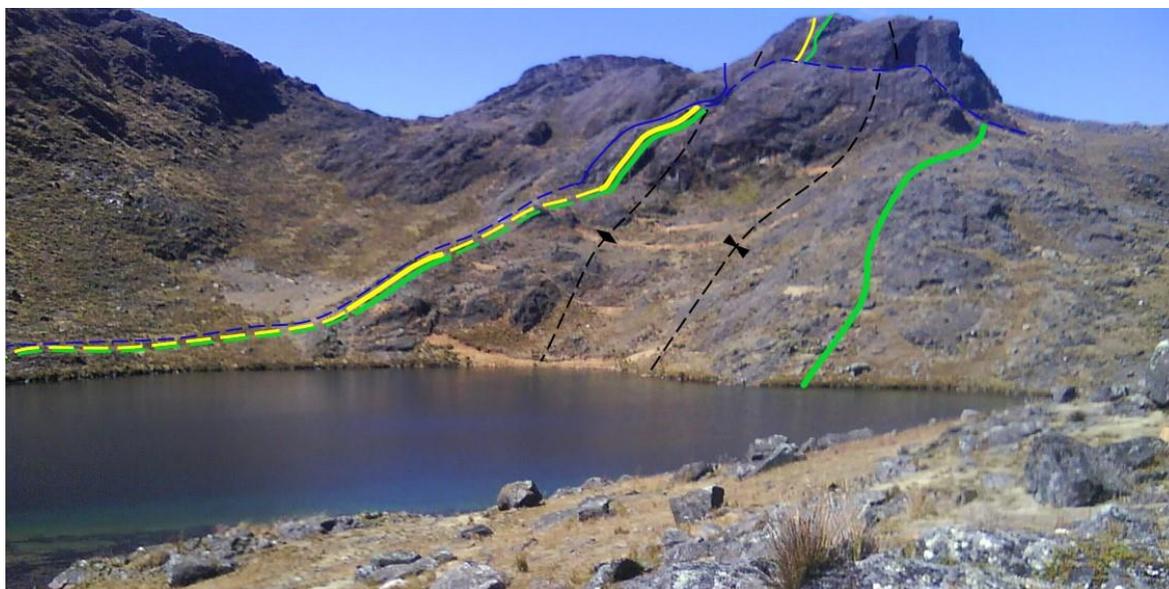


Figura 43. Vista panorámica del anticlinal Pacacorral en el proyecto Crucero. 410494-E, 8433393-N, mirando al SE, se observa las estructuras (fallas en azul, diques en verde, vetas en amarillo), que afectan a las pizarras de la formación Ananea donde se emplaza la mineralización de oro (Au)

Fuente: Elaboración propia

2.8.7.2 FALLAS

a) Fallas 325° NE

Corresponde a las fallas principales con movimientos transcurrentes de rumbo y fallas conjugadas; estas estructuras son de carácter regional y muestran vergencia de deformación hacia el SO. Las fallas con dicha dirección y en especial la falla Pacacorral y la falla Canihuancani muestran una deformación intensa con los bloques movidos, evidenciando el régimen que probablemente sea de extensión, estas fallas se encuentran cruzando toda el área de investigación y se ubican a los márgenes NE y SO del proyecto Crucero (zonas A-1 y A-11) y target Tuntani (zonas A-7 y A-8), ver Figura 44.

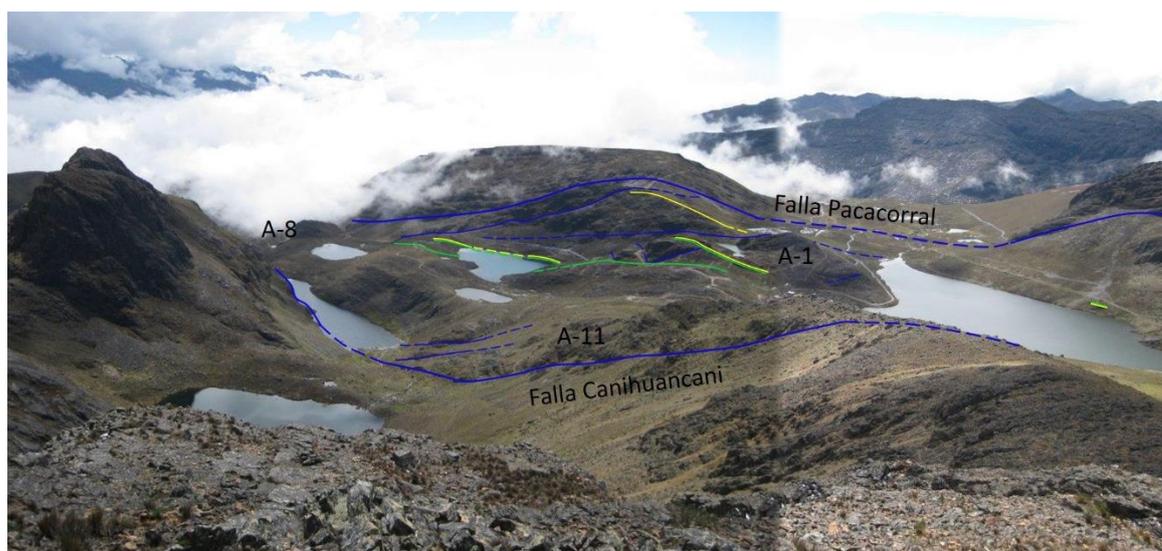


Figura 44. Vista panorámica de fallas principales, diques y vetas. 410122-E, 8432154-N, mirando de N al NE, donde se muestra que las fallas principales afectan a la zona A-1, zona A-11 y zona A-8 (fallas en azul, diques en verde, vetas en amarillo)

Fuente: Elaboración propia

Paralelas a sub paralelas a las fallas principales Pacacorral y Canihuancani que controlan y limitan al yacimiento, se presentan fallas pre minerales formando vetas, venillas y juntas de extensión (extentional jogs) rellenas por pirita, arsenopirita, estibina, pirrotita (zona A-1) y cuarzo, pirita, arsenopirita, clorita (zonas A-8 y A-11) (Figura 45a) y fallas post minerales tardías, estas fallas generalmente se encuentran

rellenados por cuarzo blanco estéril y diques andesíticos en el área de investigación (Figura 45b), este sistema de fallas post mineral cortan los ejes de pliegues preexistentes y en especial al anticlinal Pacacorral, ver Figura 43.

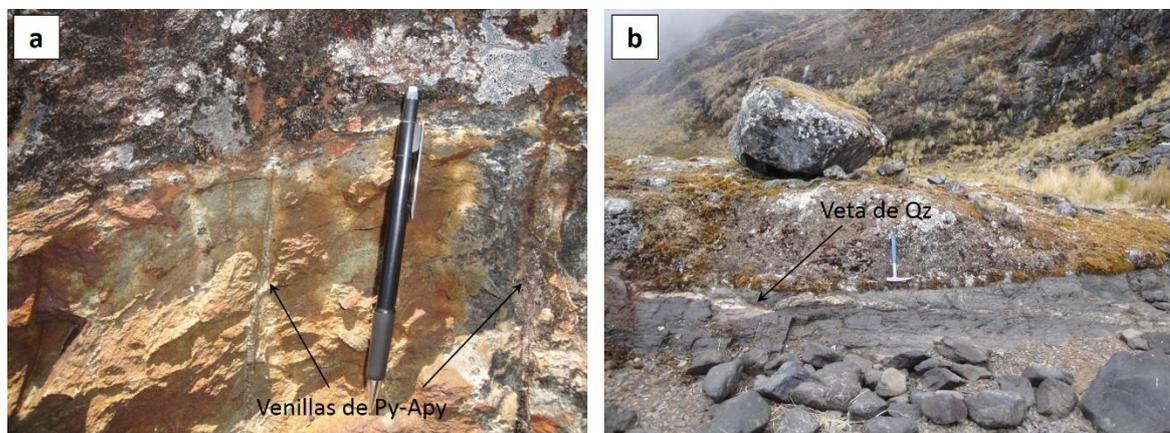
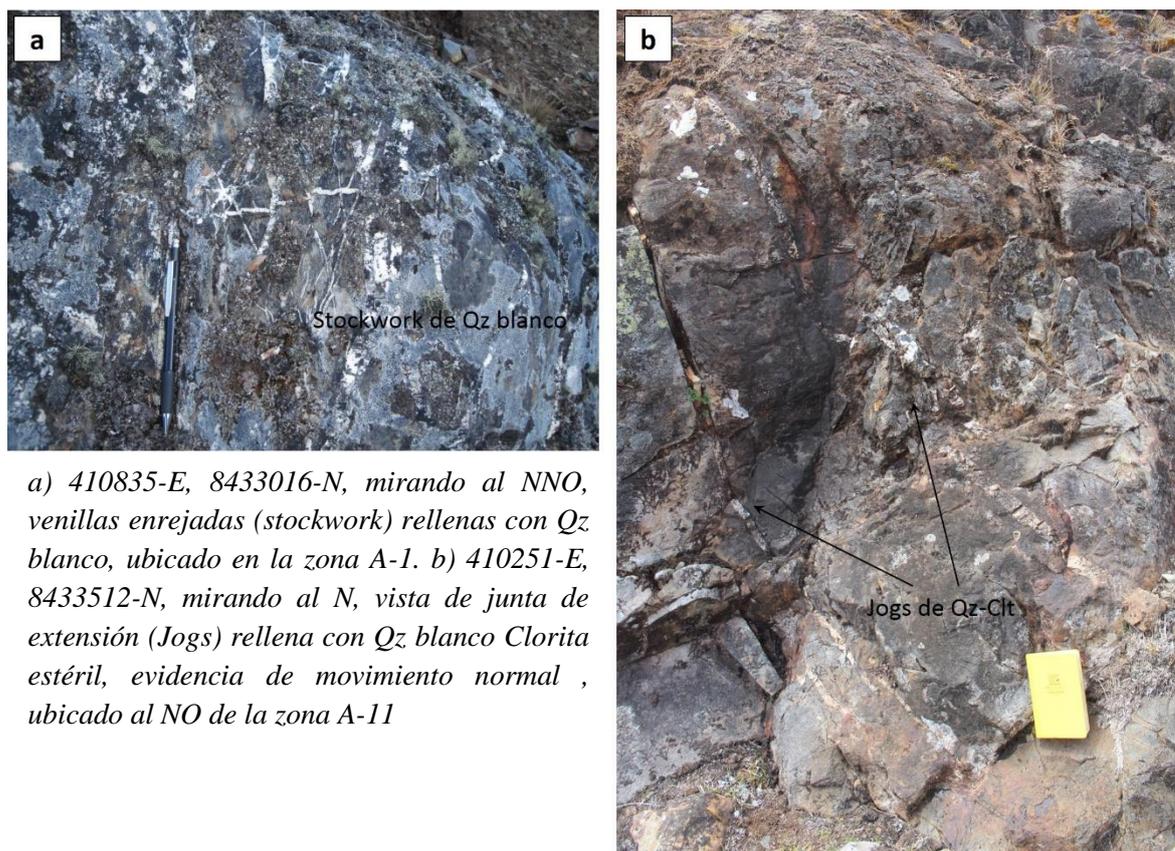


Figura 45. Principales estructuras mineralizadas en la zona A-1 y zona A-8. a) 410928-E, 8433144-N, mirando al SO, venillas rellenas de Py-Apy correspondientes a las fallas pre mineral, ubicado en la zona A-1. b) 410260-E, 8434247-N, mirando al E, vista de veta rellena de Qz blanco estéril correspondiente a las fallas post mineral, ubicado en la zona A-8
Fuente: Elaboración propia

b) Fallas 25° NE

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 (stockwork) pre mineral y post mineral (Figura 46a), que generalmente se encuentran rellenos por cuarzo blanco y brechas tectónicas.

En la zona A-1 estas fallas se observan con menor frecuencia estructural, generando fallas normales escalonadas (Figura 43) y formando venillas y pequeñas juntas de extensión (extentional jogs) rellenos con mineralización de pirita, arsenopirita, estibina, pirrotita, y cuarzo blanco estéril (Figura 46b). En las zonas A-8 y A-11 están rellenas con cuarzo, pirita, clorita y evidencia de espejos de fallas.



a) 410835-E, 8433016-N, mirando al NNO, venillas enrejadas (stockwork) rellenas con Qz blanco, ubicado en la zona A-1. b) 410251-E, 8433512-N, mirando al N, vista de junta de extensión (Jogs) rellena con Qz blanco Clorita estéril, evidencia de movimiento normal, ubicado al NO de la zona A-11

Figura 46. Principales estructuras mineralizadas en la zona A-1 y zona A-11
Fuente: Elaboración propia

c) Foliación y zonas de cizalla

Las zonas de cizalla y foliación tienen dirección principal de rumbo Andino NO-SE, estas se observan con mayor amplitud en la zona A-7 y parte del A-8 del área de investigación, los afloramientos en estas zonas están afectados por cizallas y foliación intensa, evidenciando una actividad de deformación muy marcada, en la zona A-7 (Figura 47) las cizallas tienen extensiones de varios kilómetros y anchos hasta de 80 metros en promedio.

En las zonas de cizallas se puede apreciar diques andesíticos hasta de 2 metros de potencia con presencia de pirita y pirrotita diseminada de manera muy esporádica, estos diques se emplazan de manera subparalelas a las zonas de cizalla y foliación.



a) 410783-E, 8434895-N, mirando al SE, vista de las fallas y cizallas con dirección NO-SE, ubicados en la zona A-7. b) 410889-E, 8434805-N, detalle de la foliación en la zona A-7, note los cristales de sillimanita alineados en dirección de la foliación



Figura 47. Principales estructuras y deformaciones en la zona A-7
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación es de tipo descriptivo cuantitativo ya que se usa magnitudes numéricas, debido a que la variable independiente está referido al análisis estructural, y la variable dependiente es el efecto referido a la determinación de los esfuerzos y su relación con la mineralización.

Para la recolección de información se usó la técnica observacional de forma indirecta y directa, la primera consistió en las revisiones de bibliografías y antecedentes y la segunda consistió en la recolección de datos estructurales que se realizó en los trabajos de campo. Finalmente se realizó el análisis interpretativo, alcanzando los objetivos específicos planteados.

Se describió explícitamente los materiales y el procedimiento metodológico que se usó para llegar a los resultados; en donde fueron incluidos los procesos y subprocesos que llevaron a desarrollar este trabajo de investigación.

A continuación se muestra una matriz (Tabla 11) donde se interpolan los objetivos específicos versus los indicadores y métodos usados para alcanzar el objetivo general y los objetivos específicos.

Tabla 11.

Matriz de los objetivos específicos, el cuadro muestra la relación de los objetivos específicos con los indicadores y métodos usados

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	INDICADOR	MÉTODOS
OBJETIVO I	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación de estructuras. • Determinación de movimientos de fallas y deformación de pliegues. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medición con brújula, gps. • Indicadores cinemáticos de movimientos (tectoglifos).
OBJETIVO II	<ul style="list-style-type: none"> • Diferenciación de estructuras. • Dirección de esfuerzos según σ_1, σ_2 y σ_3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagramas estereográficos. • Análisis cinemático de los esfuerzos por diedros rectos.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS DE TRABAJO

Los materiales y equipos que se usaron para realizar el trabajo de campo y gabinete se muestran en la Tabla 12 de la siguiente manera.

Tabla 12.

Lista de materiales y equipos de uso en campo y gabinete

	OBJETOS	DISPONIBILIDAD	CAMPO	GABINETE
EQUIPOS	Laptop “Toshiba”	Procesamiento de datos		X
	Estación total-Topcon 103	Levantamiento topográfico	X	
	Software FaultKin 8	Procesamiento de datos		X
	Software ArcGis 10.1	Procesamiento de datos		X
	Brujula “Brunton 5006”	Toma de datos estructurales	X	
	GPS “Garmin 60cx”	Toma de coordenadas	X	
	Lupa de 10x y 20x	Observación de minerales	X	X
	Martillo “Estwing	Recojo de muestras	X	
	Distanciómetro “Leica”	Medición de puntos	X	
	Chaleco	Soporte de equipos	X	
	Flexómetro de 5.0 m	Medición de distancias	X	
	Tablero de aluminio	Cartografiado geológico	X	X
	Lápiz imán	Determinación de minerales	X	X
	Lápiz rayador	Determinación de minerales	X	X
Movilidad	Trasporte	X		
Mapas e imgs. satelitales	Cartografiado geológico			
MATERIALES	Lápices de color	Cartografiado geológico	X	X
	Porta minas	Cartografiado geológico	X	X
	Borrador	Cartografiado geológico	X	X
	Protactor	Cartografiado geológico	X	
	Libreta de apuntes	Cartografiado geológico	X	X
	Pintura spray	Marcado de puntos	X	
	Bolsas de muestreo	Recolección de muestras	X	

Fuente: Elaboración propia

3.3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Galan (2009) “El método en investigación se toma como medio o camino a través del cual se establece la relación entre el investigador y el sujeto de investigación para la recolección de datos y por supuesto el logro de los objetivos propuestos en la investigación. El instrumento es el mecanismo que utiliza el investigador para recolectar y registrar la información obtenida”.

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.

3.3.1 RECOPIACIÓN, REVISIÓN E INTERPRETACION PRELIMINAR

Forma parte de la metodología de investigación, donde se recurrió a diferentes literaturas relacionadas a la investigación, así como a la adquisición de imágenes y planos.

3.3.1.1 RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN

Se realizó la recopilación y revisión de diferentes trabajos 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, etc., y como parte de la recolección de información se adquirió imágenes satelitales Landsat, imágenes Quickbird de alta resolución, planos topográficos base, realizándose sobre estas imágenes y planos trabajos de interpretación preliminar.

3.3.1.2 INTERPRETACIÓN PRELIMINAR

Para el caso se usó una imagen Landsat pancromática y una imagen Quickbird de alta resolución, la interpretación preliminar consistió en el trazo de lineamientos, fallas y estructuras (pliegues, zonas de deformación, etc.), donde se observó cuatro tendencias principales, la tendencia And (Andino), la tendencia Tan (Trasandino), la tendencia NS (Norte - Sur), y la tendencia EO (Este - Oeste), siendo la tendencia And de primer orden y la Tan de segundo orden en el control estructural del área de investigación.

3.3.2 TRABAJO DE CAMPO Y VALIDACIÓN DE LA INTERPRETACIÓN PRELIMINAR

Se reconoció el área donde se ubica el proyecto y se realizó el mapeo geológico-estructural, donde se tomó los datos estructurales, se realizó el registro fotográfico y se tomaron muestras de rocas.

En el cartografiado se revisó los lineamientos trazados en gabinete sobre las imágenes satelitales, y se verificó si son fallas o estructuras (pliegues, zonas de deformación, etc.) existentes en campo. Donde se validó el sistema principal de tendencia And (Andino) de dirección NO, el segundo sistema de tendencia Tan (Trasandino) de dirección NE, que intercepta al sistema principal And, observándose variaciones de dirección NNE en las estructuras.

El cartografiado geológico-estructural se realizó a escala de 1/5000 usando un mapa topográfico base para el ploteo de cada punto de estación, estos puntos se tomó con un GPS, donde se obtuvo las coordenadas UTM en el sistema PSAD 56; y para la toma de datos estructurales se usó una brújula, donde se consideró la regla de la mano derecha (right hand rule), con el objetivo de tener un solo criterio en la toma de datos, siendo los siguientes.

- El azimut
- Dirección de buzamiento
- Buzamiento
- Pitch de las estrías para el caso de fallas
- Dirección de movimiento para el caso de fallas
- Cinemática de movimiento de estructuras (fallas, deformaciones, cizallamiento, lineamientos, etc.)

Para el caso de la cinemática de movimiento de las estructuras, se tomó el criterio metodológico de los tectoglifos estructurales que ayudo a caracterizar el comportamiento de cada falla, zona de deformación, zona de cizalla, etc. Que se observó en el trabajo de campo (Capítulo II. Ítem 2.4.6 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLAS), donde se identificó superficies estriadas, micro fallas, fracturas tipo Riedel, escalones de falla, etc.

Adicional a los trabajos mencionados, se realizó también el muestreo geoquímico en superficie de rocas y estructuras usando los métodos de muestreo de ranurado continuo (channel sampling) y ranurado discontinuo (chip sampling).

3.3.2.1 RANURADO CONTINUO (CHANNEL SAMPLING)

Esta técnica de muestreo está ampliamente extendida en minería, aunque su uso se restringe cada vez más por razones de coste y rendimiento. Consiste en la excavación de un canal estrecho y continuo, bien a lo largo de la capa o vena o bien en ángulo recto al trazado de ésta. Las dimensiones de la acanaladura suelen ser del orden de 8-10 cm de anchura por 2-3 cm de profundidad, manteniéndose estas dimensiones lo más constantes posible. Se toma como muestra el total del material excavado en la acanaladura. Este se recoge en tela lisa o plástico extendido al pie del lugar de la toma. Si se juntan varias muestras de una ranura para constituir una única muestra, la cantidad de cada una debe ser proporcional a la veta o capa respectiva. La separación o distancia entre acanaladuras depende de las irregularidades o variaciones dentro de la masa mineralizada, no siendo aconsejable, por pérdida de la representatividad de las muestras, separaciones que superen los 5 metros. (Ingeoexpert, 2017).

3.3.2.2 RANURADO DISCONTINUO (CHIP SAMPLING)

Este método suele sustituir, en muchas ocasiones, al anterior por razones de costo y rendimiento. Aquí el material no procede de una ranura del cuerpo mineral sino de puntos distribuidos geoméricamente en la masa mineral, bien de forma lineal o bien

formando una malla regular en dos dimensiones. La distancia entre puntos es variable pero no debe superar los 20 cm y la cantidad de muestra debe ser siempre igual (p.e. orificios de 45 mm de diámetro y unos 25-30 cm de profundidad). La definición de intervalos fijos en la malla evita la tendencia subjetiva a muestrear en exceso las zonas de ley más elevada. En ocasiones se realiza un muestreo continuo del área entre puntos de malla de voladuras en los frentes de la mina. Este tipo de muestreo es muy indicado para definir los ensayos de cut - off en zonas de frentes con desarrollo minero posterior y es particularmente útil en el control de leyes del mineral en minas productivas (Ingeoexpert, 2017).

Todos estos trabajos fueron realizados y supervisados en esta etapa para luego pasar a la etapa de gabinete.

3.3.3 TRABAJO DE GABINETE, COMPILACIÓN DE LA BASE DE DATOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con el cartografiado geológico-estructural que se realizó y los datos estructurales recolectados, muestras y fotografías que se obtuvieron en los trabajos de campo, estos fueron compilados y se obtuvo una base de datos confiable, que posteriormente se procesó e interpreto, para este caso se usó hojas de cálculo Excel.

Con la base de datos en general se efectuó el procesamiento de la información, donde se usó softwares especializados aplicado a la geología y geología estructural, como fue el ArcGis 10.1, que facilitó al procesado de los datos de campo, y facilito la confección de mapas geológicos y secciones geológicas-estructurales.

Los datos estructurales de fallas, estructuras (pliegues, zonas de deformación, zonas de cizalla etc.), que se tomó y midió en cada estación estructural se procesó y analizo por el método de diedros rectos y basado en distribuciones estadísticas de Bingham en el software FaultKin 7 (Allmendinger, 2018),

Al respecto, Angelier & Merchler (1977) menciona que “dentro de este tipo de análisis el método de los diedros rectos ha tenido mayor aceptación” (como es citado en De Vicente, Muñoz, & Giner, 1992, p7), 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. Según sea el movimiento, estos “diedros rectos” quedaran en modo alterno en compresión y en tensión (graficas de P&T) (De Vicente et al., 1992).

La representación gráfica de elementos en proyección estereográfica, tienen un principio similar a las gráficas de los mecanismos focales en sismología (Marret & Allmendinger, 1990). Páez (2010) indica que “Para obtener las direcciones principales de distorsión consiste en trazar en la red estereográfica la ciclográfica del plano de la falla, también se grafican el polo y la estría, la ciclográfica que une estos dos elementos define el plano de movimiento de la falla” como se muestra en la Figura 48.

Para el caso de una falla normal (Figura 49b), sobre el plano de movimiento entre el polo de la falla y al 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 49a.

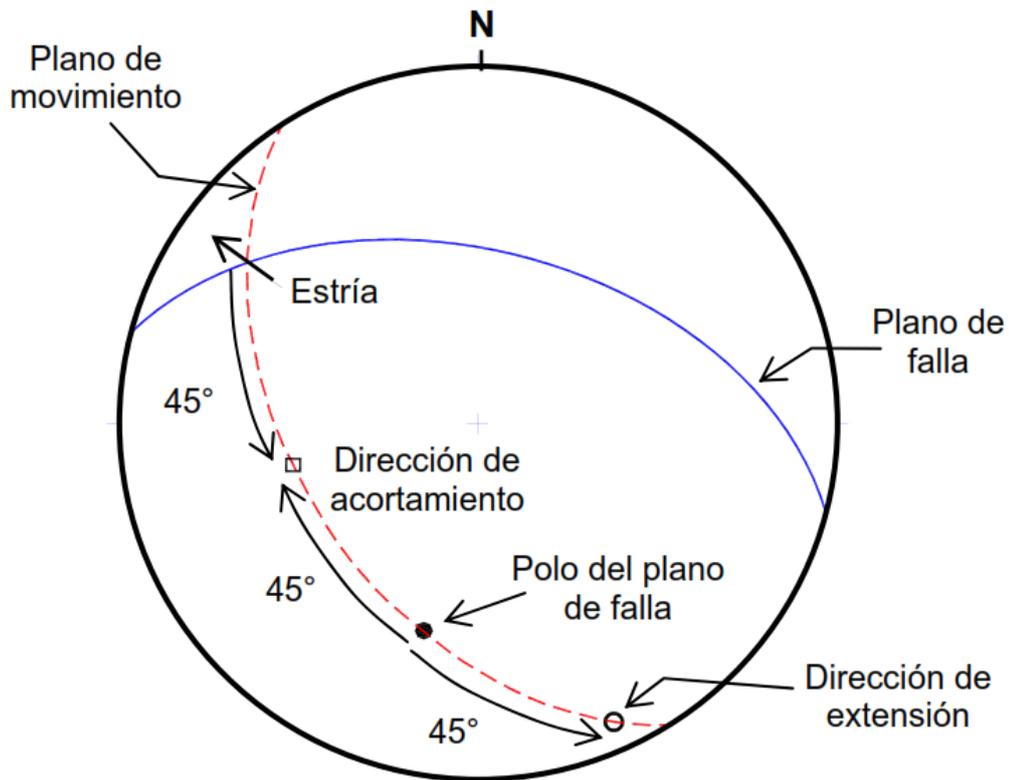


Figura 48. Metodología de los diedros rectos para determinación de las direcciones de acortamiento y extensión. El caso de una falla normal con componente lateral
 Fuente: Tomado de Páez (2010)

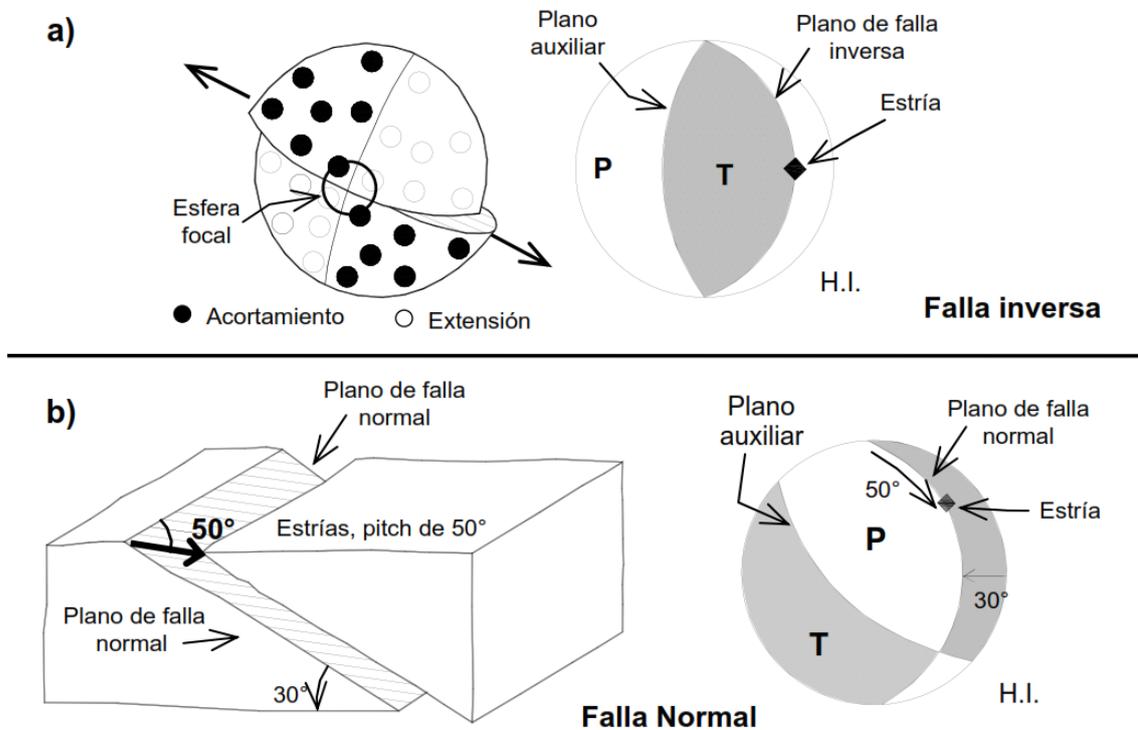


Figura 49. Construcción de la gráfica de mecanismo focal (P&T). a) típica de falla inversa utilizando la esfera focal, con la definición de los campos de extensión (T) y acortamiento (P). b) Típica de falla normal con componente lateral indicada por las estrías
 Fuente: Tomado de Cox y Bryan (1986)

El análisis estructural que se realizó en el software FaultKin 7 fue útil para clasificar las fallas, estructuras (pliegues, zonas de deformación, zonas de cizalla etc.) según sus características y el comportamiento que presentan, esto permitió realizar la interpretación, donde se obtuvo un modelo estructural de emplazamiento de la mineralización en el proyecto Crucero - Puno; Petit (1987) describe y clasifica los tipos de fracturas menores (fallas secundarias) alrededor de fallas mayores (fallas regionales) según su orientación respecto al plano de cizalla principal, clasificando fallas en terreno según la terminología usada en estudios experimentales “tipo Riedel” de pruebas de deformación frágil (Liesa, Roman, Arlegui, Cortés, & Gil, 1997).

3.3.4 FORMULACIÓN DEL DOCUMENTO - MATERIA DE INVESTIGACIÓN

A través de este trabajo de investigación, se dio a conocer la bibliografía que fue referenciado en cada capítulo para la formulación del documento, para ello se escurrió a reportes de investigación de ámbito internacional y nacional a nivel regional, local, trabajos de tesis de grado, textos relacionados al tema, así como reportes de exploración e informes internos de fin de campañas que son propios de la empresa minera Lupaka Gold Perú S.A.C.

Los trabajos propios de la empresa se desarrollaron en el área de investigación, recurriendo a diferentes técnicas y métodos que se usaron en cada trabajo en el proyecto Crucero-Puno, donde se realizó el análisis estructural y la relación que tuvo con el emplazamiento de mineralización, donde el investigador llegó a obtener resultados, discusiones, conclusiones y las recomendaciones que se consideran necesarias, así como la redacción del documento final de investigación, ver Tabla 13.

Tabla 13.
Flujograma metodológico de la elaboración del Trabajo de Investigación



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS INDICADORES CINEMATICOS Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PLIEGUES

Las características desde el punto de vista estructural se podría definir una zona de cizalla como un volumen de roca, de forma geometría tabular e irregular, en cuyo interior se localiza la deformación.

Debido a que la deformación estructural involucro a los afloramientos que están situados en una amplia porción del basamento Ordoviciano superior que ha sido afectada por la tectónica regional, que empezó con la deformación - plegamiento del basamento Ordovícico cuyos ejes fallados tienen rumbo andino, es por ello que se realizó la caracterización de los lineamientos regionales y la caracterización de los indicadores cinemáticos de fallas locales, donde también se definió el comportamiento estructural de los pliegues en la zona A-1 y en la zona A-8.

4.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PRINCIPALES LINEAMIENTOS

Las características de los lineamientos reconocidos a nivel regional que afectaron al área de investigación, se encuentra dentro del sistema de fallas de la Cordillera Oriental (SFCO), donde se nota una densa red de lineamientos a escala regional, los lineamientos principales fueron caracterizados en 4 sistemas, que son el sistema de lineamiento Andino

con dirección ESE-ONO, el sistema Trasandino NNE-SSO, quien corta de forma perpendicular al lineamiento Andino, los lineamientos E-O y en menor densidad los lineamientos N-S, estas características de los principales lineamientos se interpretó en el software ArcGIS 10.1 sobre una imagen satelital Landsat georeferenciada espacialmente. Ver Anexo II. Lamina N°. 09: Mapa de Lineamientos Regional.

Todas las características de los lineamientos reconocidos a escala regional son a menudo ocultas por las estructuras de menor escala en el campo, esta interpretación estructural sobre la imagen satelital muestra cuan valiosa puede ser la información obtenida.

4.1.2 CARACTERIZACIÓN DE INDICADORES CINEMATICOS DE FALLAS

La caracterización se realizó mediante el mapeo estructural y la toma de datos estructurales (fallas, deformaciones, cizallamiento, lineamientos, etc.), todo este trabajo fue realizado en cada punto de estación en el proyecto Crucero zonas A-1 y A-11, así como en el target Tuntani zonas A-8 y A-7, cada zona presenta características propias de indicadores cinemáticos de movimiento.

4.1.2.1 CINEMATICA DE FALLAS DE LA ZONA A-1 EN EL PROYECTO CRUCERO

En la zona A-1 se encuentra el proyecto Crucero donde se sitúa la mayor concentración de mineralización con contenido de oro en disseminación, venillas y parches de sulfuros, en esta zona se evidencio movimientos con cinemáticas de tipo dextral, sinistral, así como movimientos cinemáticos de componentes conjugados con movimientos de tipo normal sinistral, dextral normal, normal dextral y sinistral normal, etc.; en la Figura 50 se muestra algunas evidencias de estos movimientos.

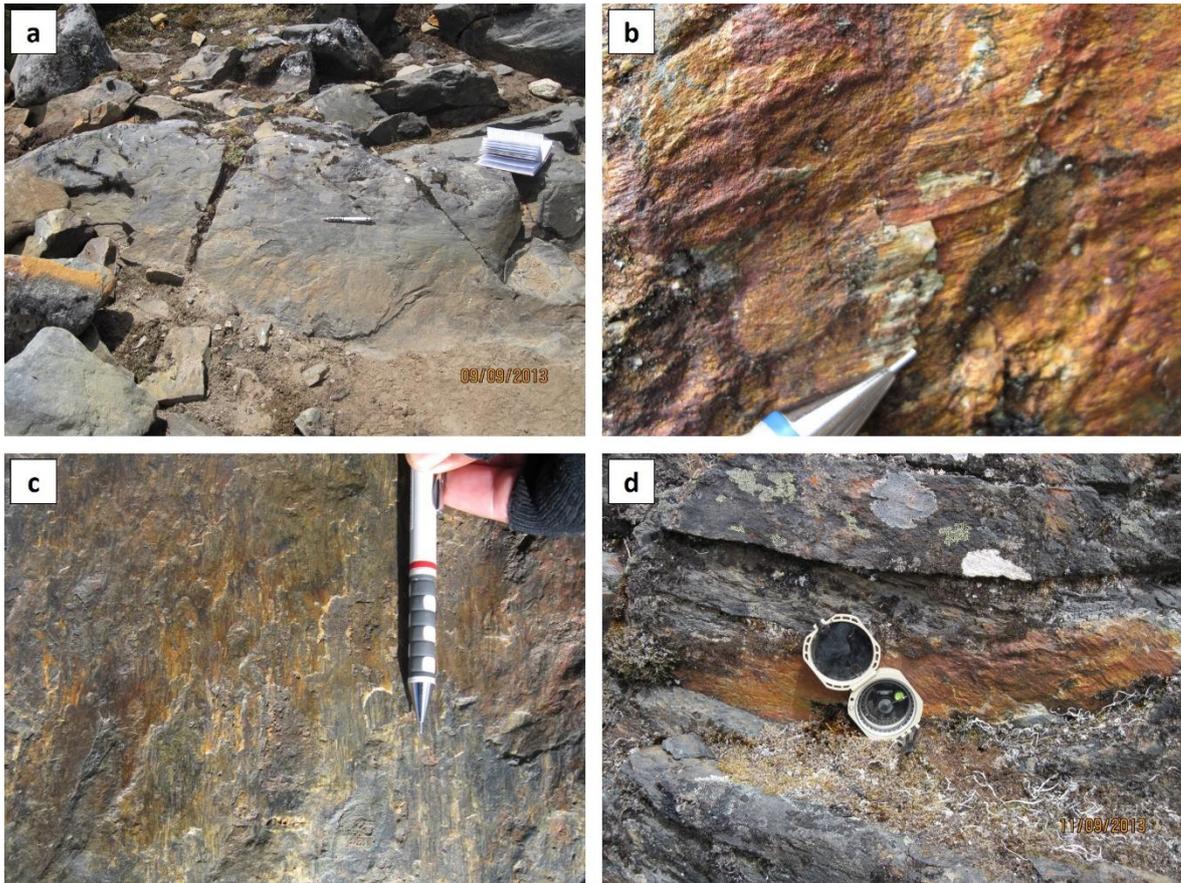


Figura 50. Indicadores cinemáticos-tectoglifos en la zona A-1. a) 410895-E, 8432793-N, mirando al SO, falla de cinemática dextral, con superficie estriada. b) 410921-E, 8432888-N, mirando al NE, falla de cinemática sinistral, con tectoglifos escalonados que indican el sentido del movimiento. c) 410984-E, 8433040-N, mirando al O, falla de cinemática normal, con superficie estriada y tectoglifo de cristalización al abrigo (carbonato). d) 410846, 8433017-N, mirando al NE, falla con cinemática inverso sinistral, con evidencia de estrías y fracturas Riedel R1.

Fuente: Elaboración propia

En la zona A-1, se realizó la caracterización estructural; con el análisis en el diagrama de roseta (Figura 51) se llegó a determinar que las fallas de mayor densidad tienen una dirección con buzamiento promedio de $335^{\circ}\text{NE} / 61^{\circ}\text{E}$, las fallas de mediana densidad tienen dirección con buzamiento promedio de $307^{\circ}\text{NE} / 60^{\circ}\text{N}$ y las fallas de baja densidad tienen dirección con buzamiento promedio de $10^{\circ}\text{NE} / 71^{\circ}\text{E}$ y $155^{\circ}\text{NE} / 61^{\circ}\text{O}$.

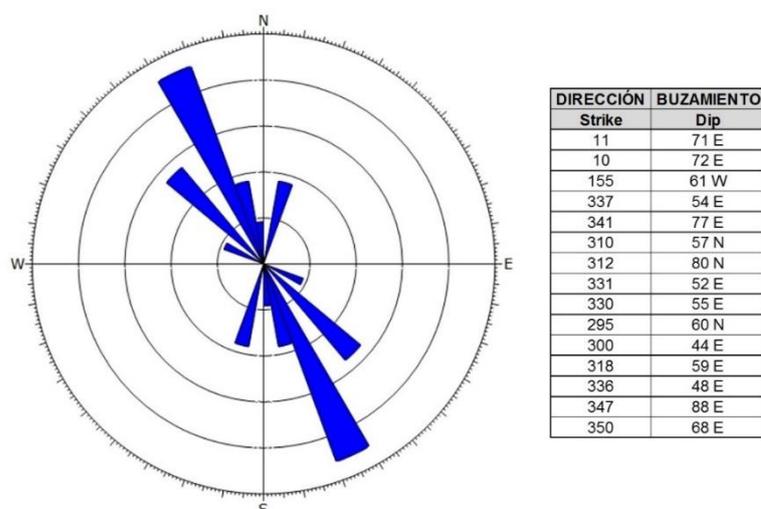


Figura 51. Diagrama de rosas de orientación de las fallas en la zona A-1 en el proyecto Crucero
Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2 CINEMATICA DE FALLAS DE LA ZONA A-11

En la zona A-11 donde se encuentra una importante anomalía de mineralización con contenido de oro en venillas y diseminación, se evidencio movimientos cinemáticos con componentes conjugados de tipo dextral normal, normal sinistral así como movimientos de tipo sinistral normal, etc.; en la Figura 52a, 52b y Figura 53c, 53d se muestra algunas evidencias de estos movimientos.

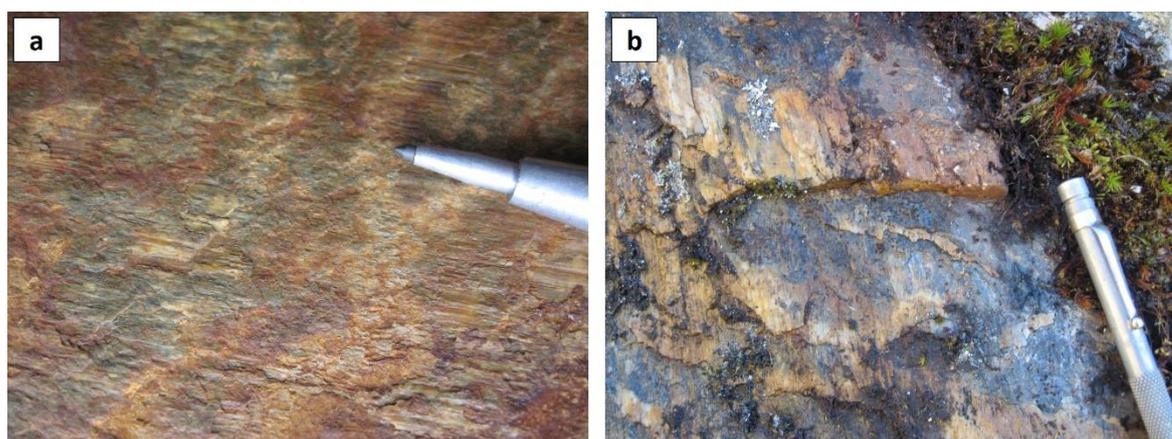


Figura 52. Indicadores cinemáticos-tectoglifos en la zona A-11. a) 410380-E, 8433231-N, mirando al NNE, falla de cinemática dextral ligeramente inclinado, con superficie estriada marcada. b) 410177-E, 8433591-N, mirando al SSO, falla de cinemática normal sinistral, con tectoglifos escalonados y cristalización al abrigo, que indica el sentido de movimiento
Fuente: Elaboración propia

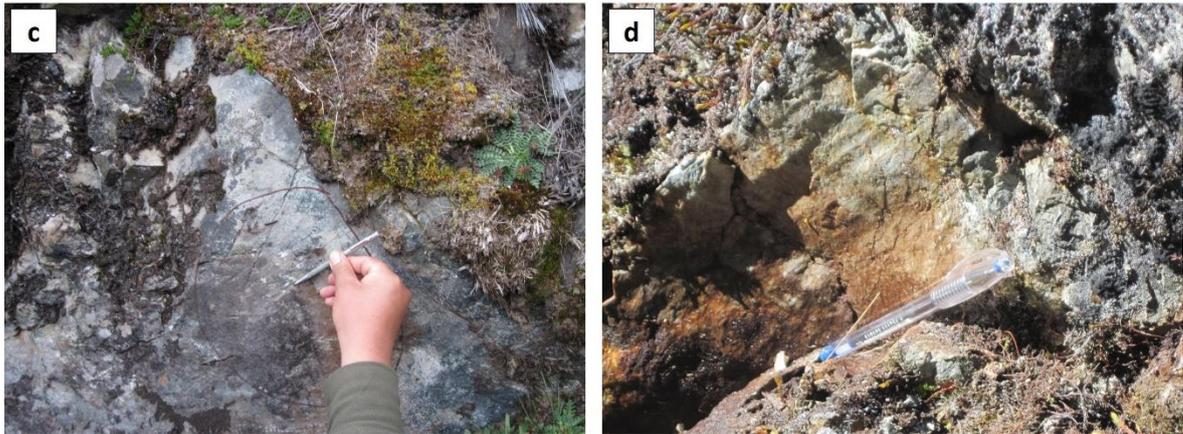


Figura 53. Indicadores cinemáticos-tectoglifos en la zona A-11. c) 410300-E, 8432775-N, mirando al SE, falla de cinemática dextral normal, con superficie estriada. d) 410260, 8432890-N, mirando al SE, falla con cinemática dextral normal, con evidencia de estrías y fractura riedel R1

Fuente: Elaboración propia

En la zona A-11, se realizó la caracterización estructural; con el análisis en el diagrama de roseta (Figura 54) se llegó a determinar que las fallas de mayor densidad tienen una dirección con buzamiento promedio de 5°NE / 76°E, las fallas de mediana densidad tienen dirección con buzamiento de 162°NE / 46°O y 333°NE / 75°E.

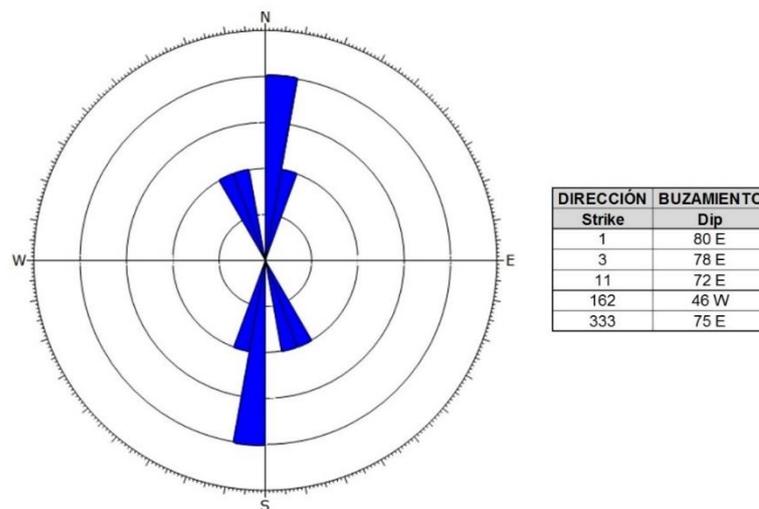


Figura 54. Diagrama de rosas de orientaciones de las fallas en la zona A-11, anomalía de mineralización

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3 CINEMATICA DE FALLAS DE LA ZONA A-8 Y ZONA A-7

En la zona A-8, donde se encuentra el target Tuntani con una importante anomalía de mineralización, esta zona se encuentra en la misma tendencia estructural (estructural

trend) NO-SE, de la zona A-1 donde se encuentra el proyecto Crucero, en esta zona se evidencio movimientos con cinemáticas de tipo dextral, así como movimientos cinemáticos de componentes conjugados con movimientos de tipo dextral normal, etc.; en la Figura 55a y Figura 55b se muestra algunas evidencias de estos movimientos.

En la zona A-7, se observó una intensa oxidación y se evidencio movimientos con cinemática de componentes conjugados con movimientos de tipo dextral inversa, sinistral inversa, etc.; en la Figura 55c y Figura 55d se muestra algunas evidencias de estos movimientos.

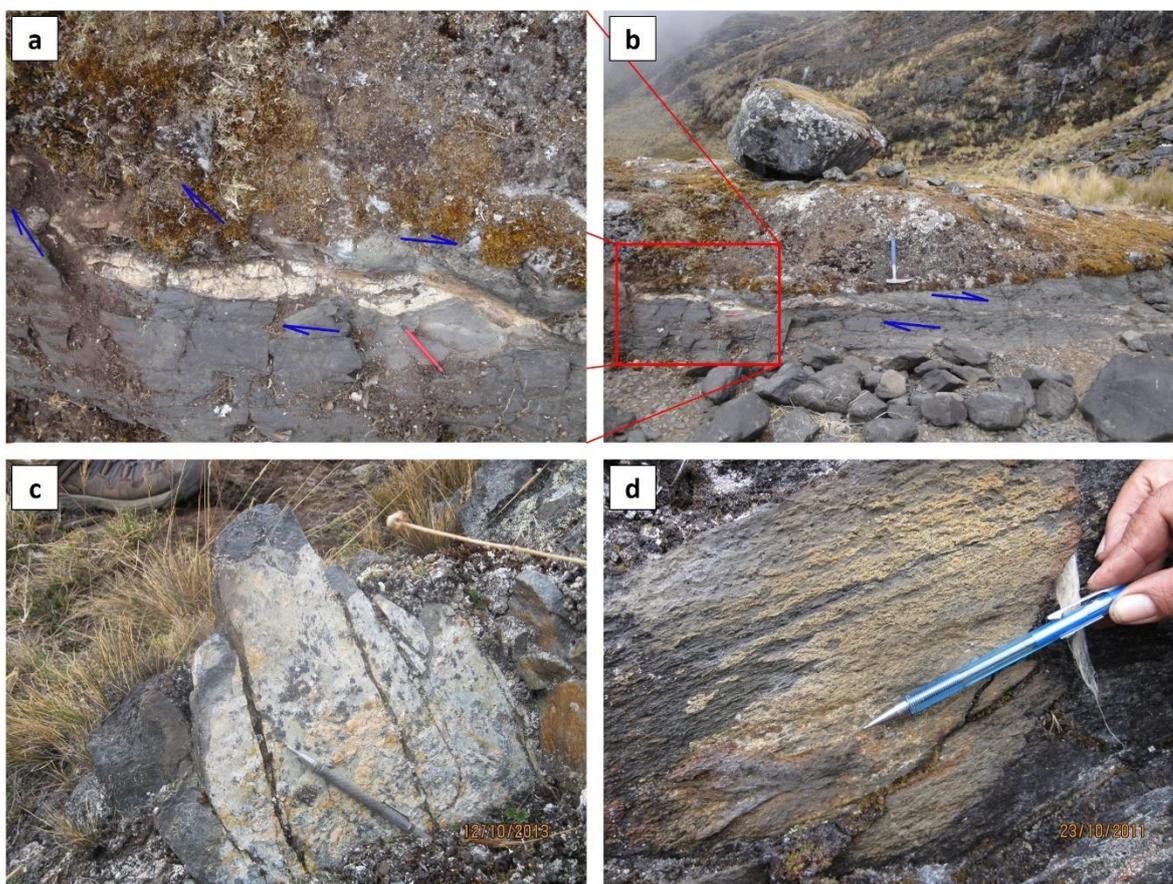


Figura 55. Indicadores cinemáticos-tectoglifos en la zona A-8 y zona A-7. a) Zoom de la imagen (b). b) 410298-E, 8434250-N, mirando al NE, falla de cinemática normal dextral, con juntas de extensión (dilatational jogs) rellenos de Qz y fracturas riedel R1. c) 410132-E, 8434352-N, mirando al NNE, falla de cinemática dextral inversa, con superficie estriada y tectoglifo de cristalización al abrigo. d) 410912-E, 8434439-N, mirando al NE, falla con cinemática sinistral inversa, con evidencia de estrías erosionadas
Fuente: Elaboración propia

En la zona A-8, se realizó la caracterización estructural; con el análisis en el diagrama de roseta (Figura 56) se llegó a determinar que las fallas de mayor densidad

tienen una dirección con buzamiento promedio de 17°NE / 76°E y 32°NE / 71°E, las fallas de mediana densidad tienen dirección con buzamiento de 60°NE / 75°S.

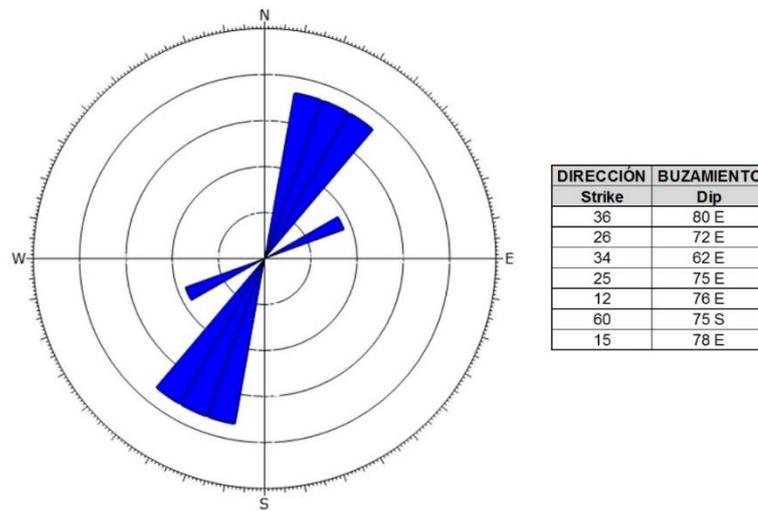


Figura 56. Diagrama de rosas de orientaciones de las fallas en la zona A-8 (target tuntani) anomalía de mineralización
Fuente: Elaboración propia

En la zona A-7, se realizó la caracterización estructural; con el análisis en el diagrama de roseta (Figura 57) se llegó a determinar que las fallas de mayor densidad tienen una dirección con buzamiento promedio de 337°NE / 83°E, las fallas de mediana densidad tienen dirección con buzamiento de 343°NE / 63°E.

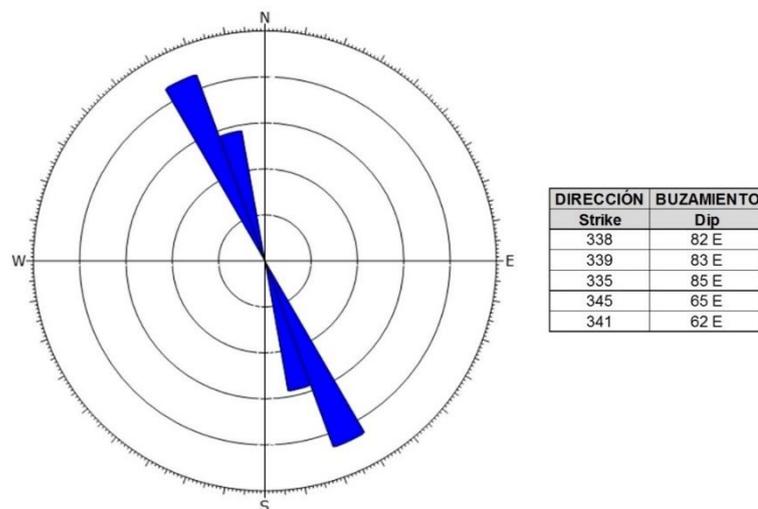


Figura 57. Diagrama de rosas de orientaciones de las fallas en la zona A-7, con intensa presencia de oxidación
Fuente: Elaboración propia

4.1.3 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA DEFORMACIÓN DE LOS ESTRATOS EN LAS PIZARRAS

En el proyecto Crucero (zonas A-1 y A-11), los principales rumbos de la estratificación en las pizarras tienen un rango de N20°O a N85°O y S5°E a S40°E con buzamientos que varían de 20°E a 60°E y 25°O a 75°O, formando anticlinales y sinclinales. En la dirección NO se encuentra el target Tuntani (zonas A-8 y A-7), los rumbos principales de los estratos en las pizarras van de N20°O a N40°O, con buzamientos que varían de 35°NE a 55°NE, formando una estructura plegada de un solo flanco (monoclinal), que en dirección NO se observó que está interrumpido por la falla Canihuncani y falla Pacacorral; la amplia variabilidad en el rango de los rumbos están relacionados a condiciones estructurales locales ocasionadas por fallas que dislocan y deforman a las pizarras. Ver Anexo II. Lamina N°. 10: Mapa de Deformación de los Estratos.

4.1.3.1 DEFORMACIÓN DE LOS ESTRATOS DE LA ZONA A-1 EN EL PROYECTO CRUCERO

En el estereograma (Figura 58), se ilustra el comportamiento que tienen los estratos de la zona A-1, resultando clara la variación en su buzamiento, que de estar dirigido hacia el NE, cambia hacia el OSO evidenciando la deformación de los estratos en el proyecto.

Los planos de estratificación medidos e interpretados en el estereograma indican que los flancos del pliegue forman un ángulo de 93° a 132° que corresponde a una estructura plegada abierta hacia el SE cuyo eje principal tiene una orientación de N27°-33°O, entonces podemos decir que esta estructura podría estar relacionado a la notoria concentración de mineralización con valores de oro (> 2 g/ton de Au), lo que corrobora a las observaciones de campo e interpretación geoquímica de isovalores de oro.

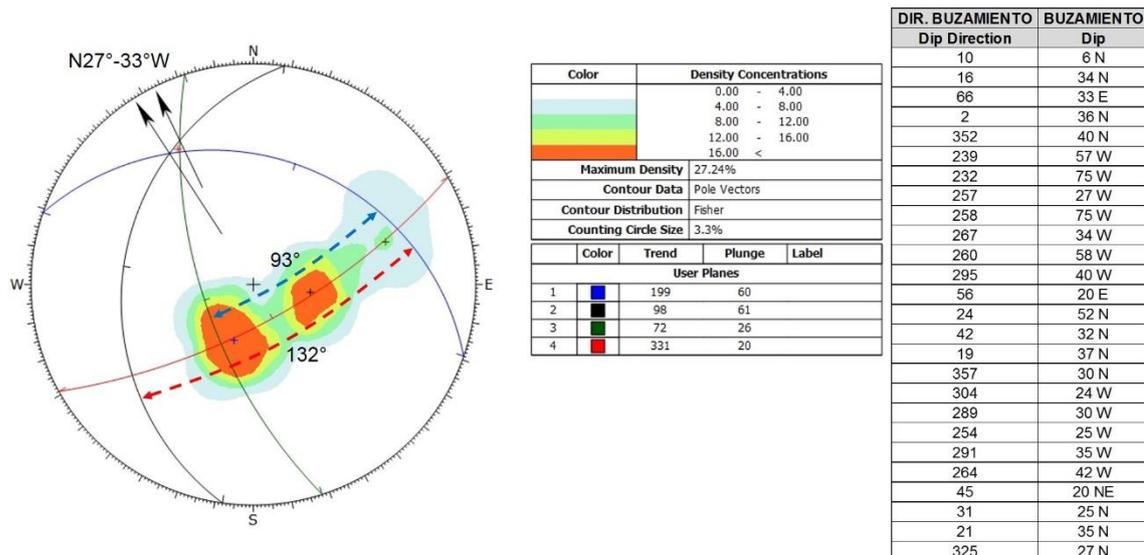


Figura 58. Análisis estereográfico de la estratificación de las pizarras en el proyecto Crucero (zona A-1), definiendo una estructura plegada abierta hacia el SE con el eje orientado al N27°-33°O y con ángulos entre los flancos del pliegue que van de 93° a 132°
 Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2 DEFORMACIÓN DE LOS ESTRATOS DE LA ZONA A-8 EN EL TARGET TUNTANI

En la zona A-8 del target Tuntani, el estereograma ilustra el comportamiento de los estratos con un buzamiento preferente hacia el NE con una ligera variación hacia el NO evidenciando la deformación de los estratos.

Los planos de estratificación que se midieron en la zona A-8 indican que los flancos del pliegue tienen un ángulo de 126° que corresponde a una estructura plegada abierta al S con un eje aparente de orientación N4°O; teniendo un comportamiento similar a la zona A-1, ver Figura 59.

Esta estructura plegada por encontrarse próximo a la unión de las fallas Canihuancani y falla Pacacorral se encuentra disturbada e interrumpida, evidenciando que hacia la dirección NO del target se tenga solo un flanco erosionado de esta estructura, formando un pliegue monoclinal.

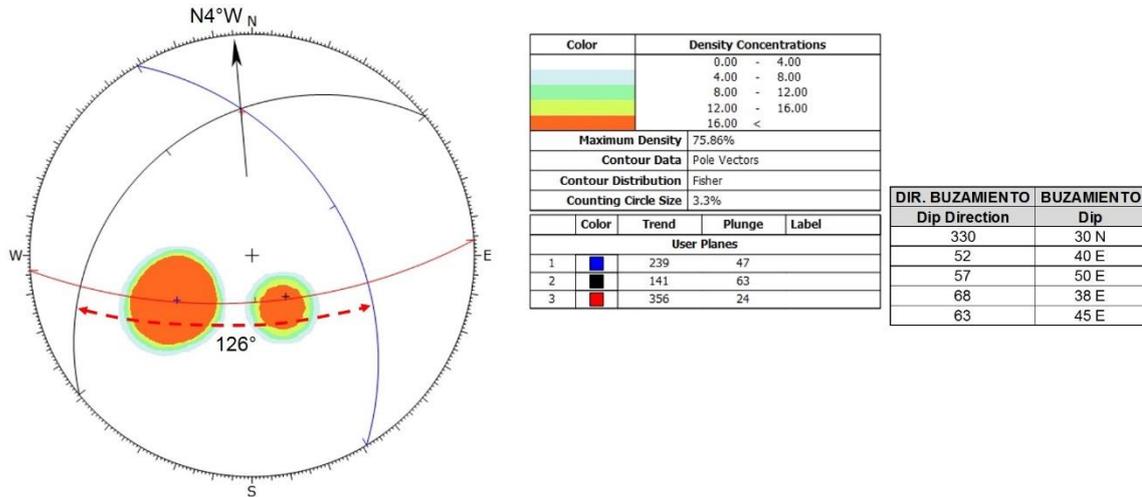


Figura 59. Análisis estereográfico de la estratificación de las pizarras en el target Tuntani (zona A-8), definiendo una estructura plegada abierta hacia el S con el eje aparente orientado al N4°O y con ángulos entre los flancos del pliegue de 126°
 Fuente: Elaboración propia

4.2 DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS PRINCIPALES Y RELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS CON LA MINERALIZACIÓN DE LA ZONA A-1

4.2.1 DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS PRINCIPALES

Para este caso se dividió el área de investigación en 4 zonas, la zona A-1 (proyecto crucero), zona A-11 (anomalía), zona A-8 (target Tuntani), y la zona A-7 (oxidación) mostraron ligeras variaciones de direcciones del esfuerzo principal sigma 1 (σ_1), donde se definió un movimiento de tipo dextral normal en las zonas A-1, A-11 y A-8 y un movimiento de tipo dextral inversa en la zona A-7. Ver Anexo II. Lamina N°. 11: Mapa Estructural y de Esfuerzos

4.2.1.1 DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE LA ZONA A-1 EN EL PROYECTO CRUCERO

El análisis cinemático y la interpretación del composito de fallas de la zona A-1, se observó (Figura 60a) que mayormente los planos de falla están inclinados al NE, seguidos de inclinaciones al SE y SO, siendo la tendencia de las estrías mayormente al SE y NO, esto indico un comportamiento de movimientos conjugados de tipo dextral normal (Figura 60b).

La dirección del plano de falla que se obtuvo tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) de 307°NE/68°N. El esfuerzo principal mayor sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene dirección SSE–NNO con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 168°/31° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección ENE–OSO con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 78°/1°.

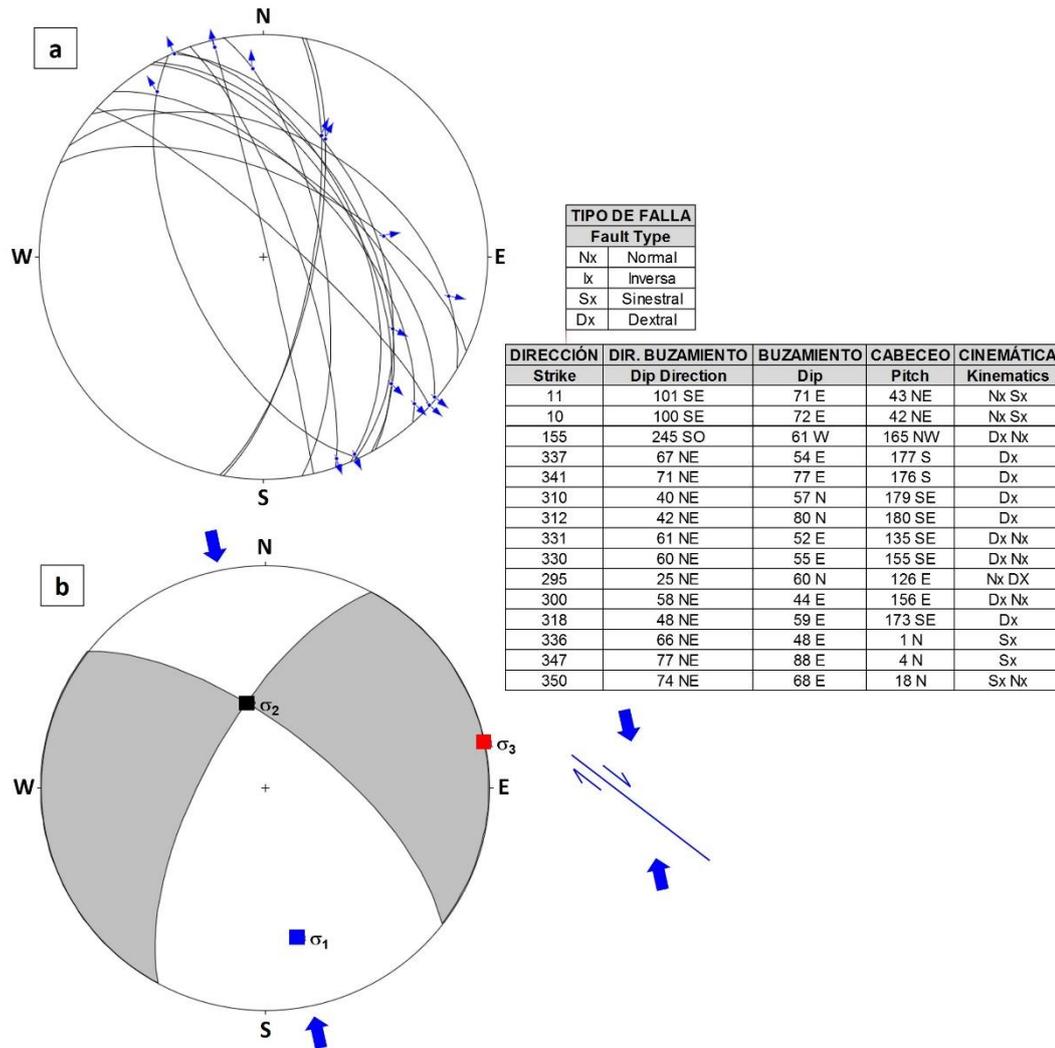


Figura 60. Análisis de fallas y determinación de esfuerzos con cinemática dextral normal en la zona A-1. a) Planos de fallas y sus componentes, mostrando la dirección y cinemática de movimientos de cada falla. b) Determinación de esfuerzos, sigma 1 (σ_1) de dirección SSE–NNO con trend/plunge de 168°/31° y sigma 3 (σ_3) de dirección ENE–OSO con trend/plunge de 78°/1° Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2 DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE LA ZONA A-11

El análisis cinemático y la interpretación del composito de fallas de la zona A-11 donde se encuentra una anomalía de mineralización, se observó (Figura 61a) que

mayormente los planos de falla están inclinados al E, seguidos de inclinación al NE y SO, siendo la tendencia de las estrías mayormente al S, SE y NE, esto indico un comportamiento de movimientos conjugados de tipo dextral normal (Figura 61b).

La dirección del plano de falla que se obtuvo tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) de 353°NE/65°E. El esfuerzo principal mayor sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene dirección SO-NE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 215°/50° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección SE-NO con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 112°/11°.

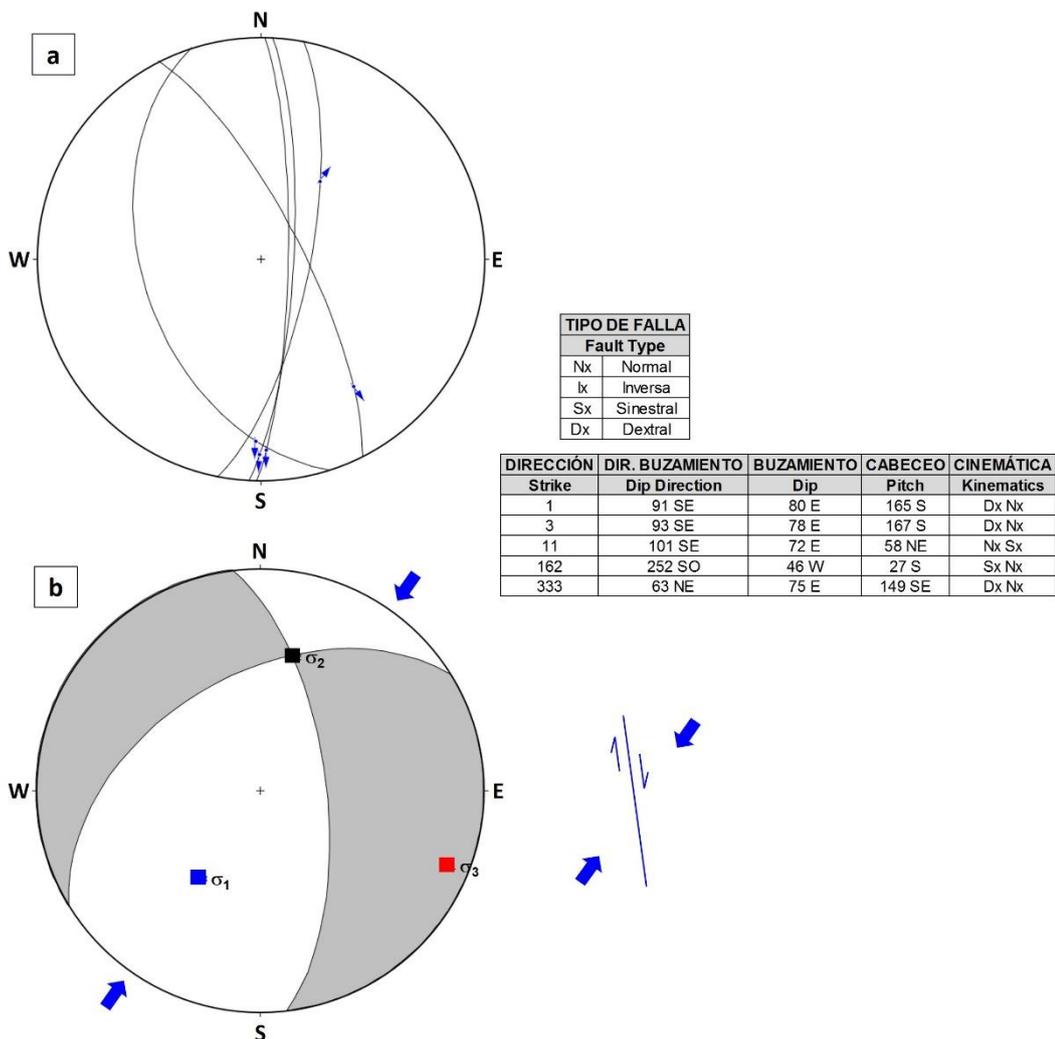


Figura 61. Análisis de fallas y determinación de esfuerzos con cinemática dextral normal en la zona A-11. a) Planos de fallas y sus componentes, mostrando la dirección y cinemática de movimientos de cada falla. b) Determinación de esfuerzos, sigma 1 (σ_1) de dirección SO-NE con trend/plunge de 215°/50° y sigma 3 (σ_3) de dirección SE-NO con trend/plunge de 112°/11°
Fuente: Elaboración propia

4.2.1.3 DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE LA ZONA A-8 EN EL TARGET TUNTANI

El análisis cinemático y la interpretación del composito de fallas de la zona A-8 donde se encuentra el target Tuntani, se observó (Figura 63a) que mayormente los planos de falla están inclinados al SE, siendo la tendencia de las estrías mayormente al SO y S, esto indico un comportamiento de movimientos conjugados de tipo dextral normal como se muestra en la Figura 62 y su respectivo análisis en la Figura 63b.

La dirección del plano de falla que se obtuvo tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) de 31°NE/72°SE. El esfuerzo principal mayor sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene dirección OSO–ENE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 253°/29° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección SSE–NNO con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 161°/3°.

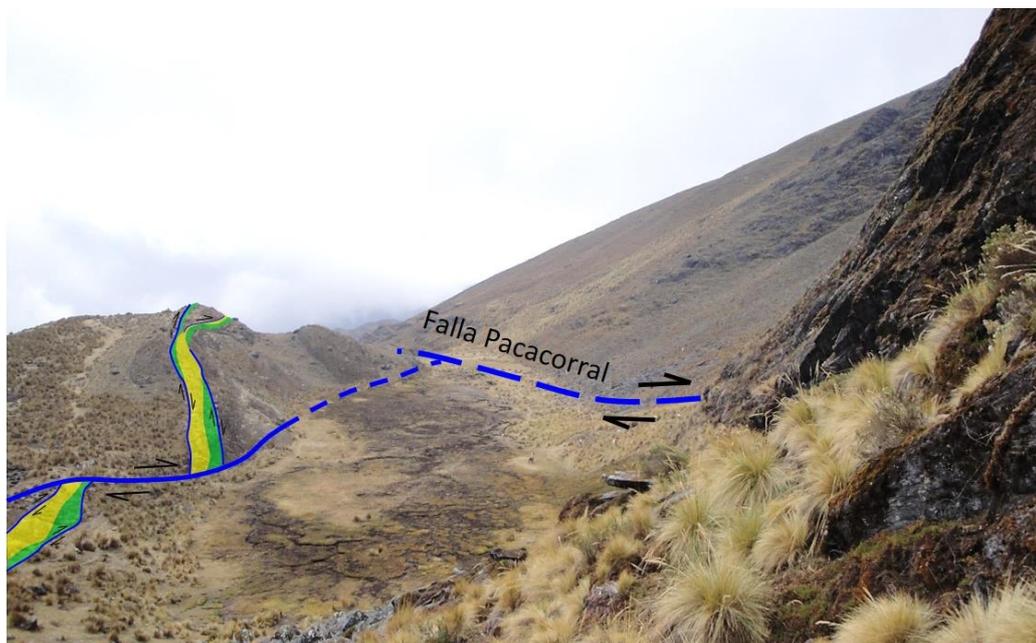


Figura 62. Vista panorámica de la zona A-8 en el target Tuntani. 410278-E, 8434142-N, mirando al N, se observa estructuras post minerales (fallas en azul, diques en verde, vetas en amarillo), que afectan a las pizarras de la formación Ananea
Fuente: Elaboración propia

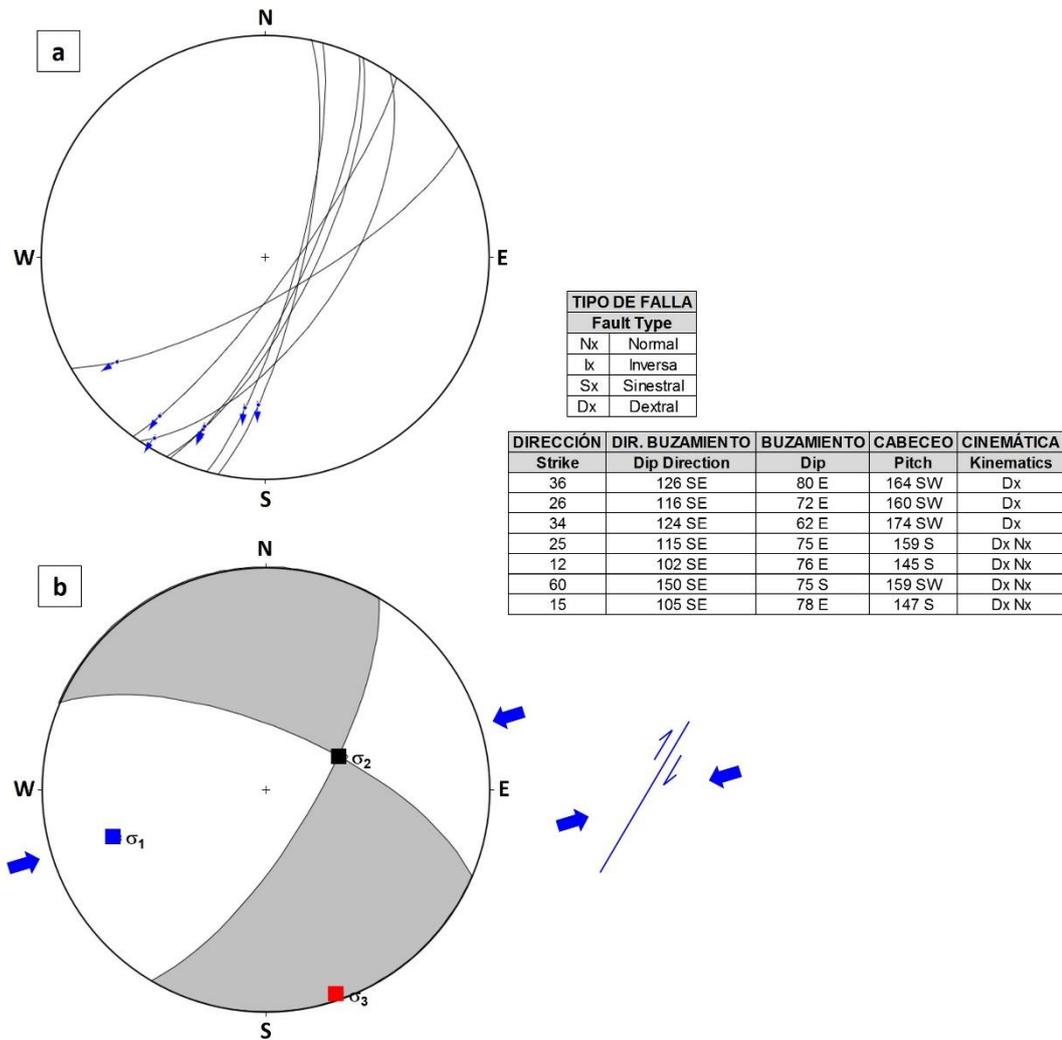


Figura 63. Análisis de fallas y determinación de esfuerzos con cinemática dextral normal en la zona A-8. a) Planos de fallas y sus componentes, mostrando la dirección y cinemática de movimientos de cada falla. b) Determinación de esfuerzos, sigma 1 (σ_1) de dirección OSO-ENE con trend/plunge de 253°/29° y sigma 3 (σ_3) de dirección SSE-NNO con trend/plunge de 161°/3° Fuente: Elaboración propia

4.2.1.4 DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE LA ZONA A-7

El análisis cinemático y la interpretación del composito de fallas de la zona A-7 donde se encuentra una intensa oxidación, se observó (Figura 64a) que mayormente los planos de falla están inclinados al NE, siendo la tendencia de las estrías mayormente al SE y NO, esto indico un comportamiento de movimientos conjugados de tipo dextral inversa (Figura 64b) que corresponde a un régimen compresivo como se muestra en la Figura 47a.

La dirección del plano de falla que se obtuvo tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) de 342°NE/74°E. El esfuerzo principal mayor sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene dirección NE-SO con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 33°/8° y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se determinó que tiene dirección NO-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de 298°/31°.

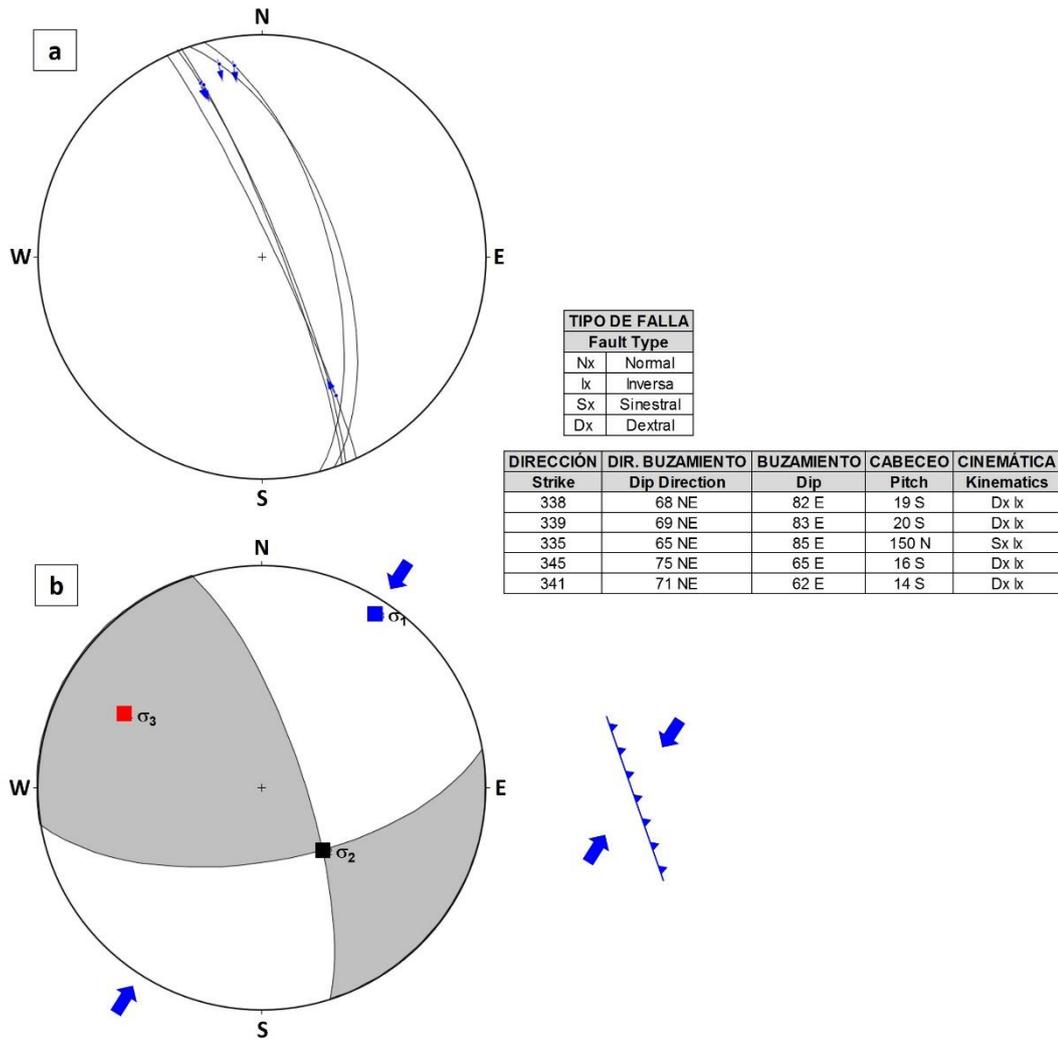


Figura 64. Análisis de fallas y determinación de esfuerzos con cinemática dextral inversa en la zona A-7. a) Planos de fallas y sus componentes, mostrando la dirección y cinemática de movimientos de cada falla. b) Determinación de esfuerzos, sigma 1 (σ_1) de dirección NE-SO con trend/plunge de 33°/8° y sigma 3 (σ_3) de dirección NO-SE con trend/plunge de 298°/31°
Fuente: Elaboración propia

4.2.1.5 RESUMEN DE LOS ESFUERZOS PRINCIPALES EN EL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Se determinaron en el área de investigación diferentes direcciones de esfuerzos, en algunos casos con ligeras variaciones en la tendencia/inmersión (trend/plunge) en las 4 zonas analizadas, donde se determinó que la zona A-11 y zona A-8 guardan relación puesto que el esfuerzo principal mayor σ_1 tienen direcciones de SO-NE con ligera variación a OSO-ENE, esta deformación también es evidenciado por los anticlinales y sinclinales con ejes de orientación NO-SE, mientras que en la zona A-1 el esfuerzo principal mayor σ_1 se determinó que tiene dirección de SSE-NNO mostrándose diferente a las zonas A-11 y A-8, este sistema de fallas que se encuentran entre la falla Pacacorral y falla Canihuancani probablemente correspondan a un evento diferente, pero que esta relaciona al emplazamiento de la mineralización de la zona A-1, así mismo la zona A-7 también se muestra distinto a las otras zonas, donde el esfuerzo principal mayor σ_1 se determinó que tiene dirección de NE-SO formando fallas inversas que está relacionado a un régimen compresivo; a continuación se muestra un resumen (Tabla 14) de los esfuerzos principales mayores σ_1 y esfuerzos principales menores σ_3 de las 4 zonas.

Tabla 14.

Resumen de los esfuerzos sigma 1 (σ_1) y sigma 3 (σ_3) en el área de investigación

ZONA	ESFUERZO	DIRECCIÓN	TENDENCIA	INMERCIÓN	SENTIDO
ZONE	STRESS	DIRECTION	TREND	PLUNGE	SENSE
A-1	σ_1	SSE - NNO	168°	31°	Extensión
	σ_3	ENE - OSO	1°	1°	Acortamiento
A-11	σ_1	SO - NE	215°	50°	Extensión
	σ_3	SE - NO	112°	11°	Acortamiento
A-8	σ_1	OSO - ENE	253°	29°	Extensión
	σ_3	SSE - NNO	161°	3°	Acortamiento
A-7	σ_1	NE - SO	33°	8°	Extensión
	σ_3	NO - SE	298°	31°	Acortamiento

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 RELACIÓN ESTRUCTURAL CON EL EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACIÓN EN LA ZONA A-1

Para ver las relaciones de las estructuras (fallas y pliegues) con el emplazamiento de la mineralización, es necesario establecer las diferentes fases minerales de las estructuras (vetas, venillas, brechas, etc.), y determinar la cantidad de eventos en que estas fueron emplazadas (Boetsch, 2014).

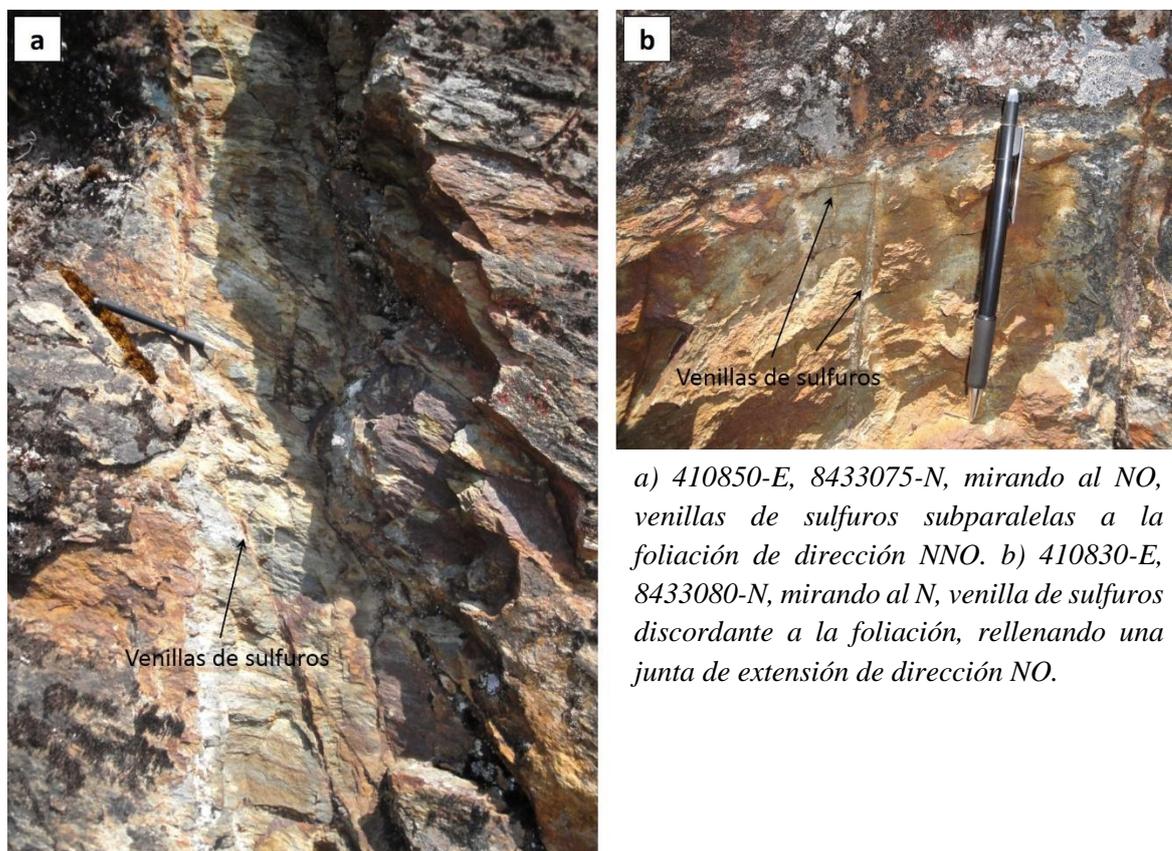
Para el caso del proyecto Crucero se basó en la concentración de mineralización, mediante los resultados y/o valores geoquímicos que se obtuvo de las muestras que fueron tomados en superficie, poniéndose bastante interés en la geoquímica por oro (Au), así como de los diferentes tipos de falla que están relacionadas geoméricamente con el emplazamiento de la mineralización; esto permitió establecer un patrón de deformación de los eventos asociados a la mineralización, siendo útil para definir nuevos criterios de exploración de la zona A-1 en el proyecto Crucero, Ver Anexo II. Lamina N°. 12: Mapa Estructural y Geoquímico de Au PPB, así como para la zona A-11 y zona A-8 (target Tuntani).

4.2.2.1 RELACIÓN GEOMETRICA – CINEMATICA DE LAS FALLAS Y LA MINERALIZACIÓN

La zona A-1 en el proyecto Crucero, está situado entre la falla Canihuanca y la falla Pacacorral, ambas fallas tienen dirección NO. La concentración geoquímica de valores de oro (Au) de superficie nos permitió evaluar las estructuras en este caso fallas que pudieron ser responsables de la distribución de oro (Au).

En la parte central del proyecto se reconoció dos sets de estructuras con relleno de mineral, evidenciando dos etapas de mineralización, estas estructuras están denotadas por vetillas y venillas rellenas de sulfuros y cuarzo-sulfuros que se presentan en forma subparalela a la foliación (Figura 65a) y transversal a los planos de foliación (Figura 65b),

siendo discordantes a los estratos, que también se encuentran con mineralización diseminada. Las vetillas, venillas y diseminación comprenden de sulfuros como la arsenopirita (FeAsS), pirrotita (Fe_{1-x}S), calcopirita (CuFeS_2), pirita (FeS_2), y estibina (Sb_2S_3).



a) 410850-E, 8433075-N, mirando al NO, venillas de sulfuros subparalelas a la foliación de dirección NNO. b) 410830-E, 8433080-N, mirando al N, venilla de sulfuros discordante a la foliación, rellenando una junta de extensión de dirección NO.

Figura 65. Ocurrencia de la mineralización en la zona A-1, en ambos casos con venillas y diseminación de sulfuros
Fuente: Elaboración propia

En la parte central y SE, se distinguieron dos sistemas de fallas que fueron los determinantes en el control de valores altos de oro (> 2 g/ton de Au), que se encuentran hacia el S y SE de la parte central del proyecto. El primer sistema tiene una dirección promedio de 339°NE con buzamiento de 85°E , se observa en la Figura 66a que representa al primer sistema de fallas formando parte de una escarpa que es subparalela al borde del afloramiento, estas fallas aparentemente son las que controlaron las concentraciones de los valores de oro (Au) hacia el S como al SE y tienen cinemáticas con movimiento del tipo dextral, dextral normal y en algunos casos sinestral. El segundo sistema de fallas

tiene una dirección promedio de 319°NE con buzamiento de 82°E como se muestra en la Figura 66b se encuentran rellenas con sulfuros; estas estructuras se componen de múltiples fallas discretas de desgarre (fallas échelon) subparalelas con cinemática de movimiento de tipo dextral normal y normal dextral que actuaron como controladores de mineralización de oro ($> 2 \text{ g/ton de Au}$).

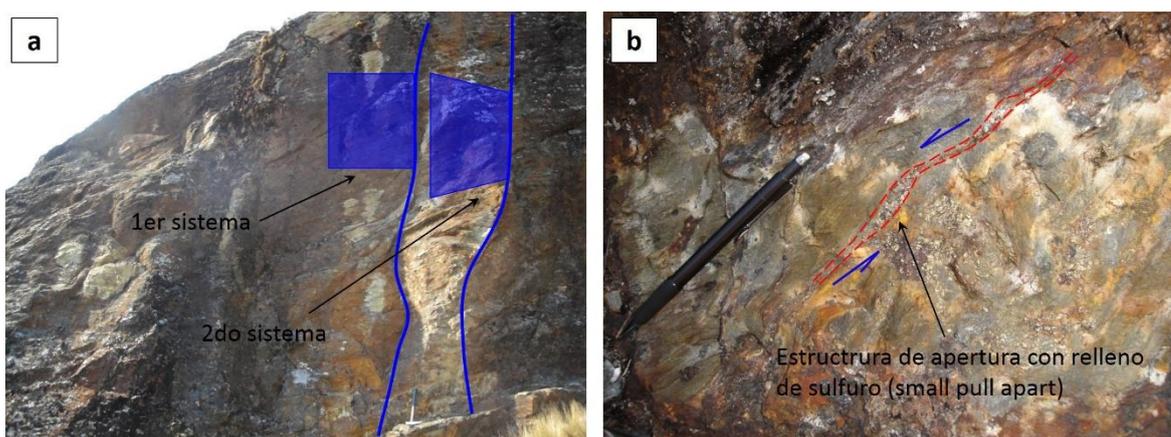


Figura 66. Sistema de fallas e indicadores cinemáticos-tectoglifos en la zona A-1. a) 410735-E, 8433070-N, mirando al NE, escarpas de fallas mostrando los dos sistemas de fallas. b) 410740-E, 8433090, vista en planta, falla de cinemática sinistral, con juntas de extensión (dilatational jogs) o (small pull apart) relleno de sulfuros pirita, arsenopirita
Fuente: Elaboración propia

En la parte NO del proyecto se observó estructuras de dilatación (dilatational jogs) rellenas de sulfuros y cuarzo-sulfuros. Estos desplazamientos de dilatación (Figura 67a) parecen haberse desarrollados como estructuras de fallas de desgarre (fallas échelon) que tienen cinemáticas con movimientos de tipo dextral y dextral normal. Estas fallas en échelon tienen buzamientos entre 50°E y 78°E , siendo subparalelas a la dirección 319°NE . Lo que indica que las estructuras de dilatación (dilatational jogs) parecen haberse formado durante la propagación de fallas, que fueron rellenos de fluidos mineralizantes portadores de sulfuro como se muestra en la Figura 67b.

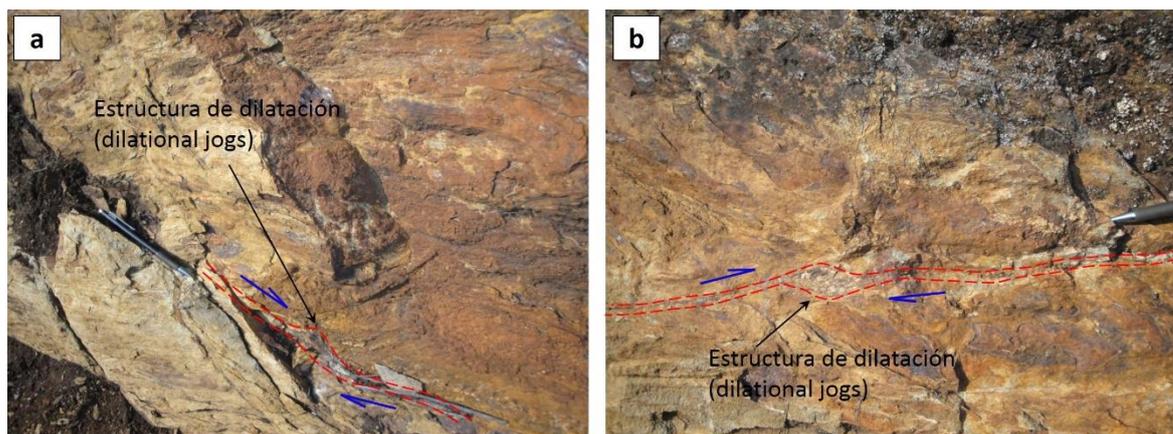


Figura 67. Indicador cinemático-tectoglifo en la zona A-1. a) 410735-E, 8433070-N, mirando al NE, falla de cinemática dextral, con juntas de extensión (dilational jogs) o (small pull apart) relleno de cuarzo, sulfuros estibina, arsenopirita. b) 410740-E, 8433090, mirando al NNE, falla de cinemática dextral, con juntas de extensión (dilational jogs) o (small pull apart) relleno de cuarzo, sulfuros estibina, arsenopirita

Fuente: Elaboración propia

Como tal, las fallas escalonadas asociadas con el desarrollo de estructuras de dilatación (jogs), son sincronicas, y parecen controlar la geometría de la mineralización de oro en el proyecto Crucero, haciendo que haya mayor concentración y amplitud al SE y una ligera reducción hacia el NO en el proyecto Crucero, estas concentraciones de oro también guardan relación con la deformación de los estratos que en algunos puntos se dirigen hacia el NE para luego cambiar hacia el OSO, lo que hace que corresponda a un pliegue abierto hacia el SE (Capítulo IV. Ítem 4.1.3.1 DEFORMACIÓN DE LOS ESTRATOS DE LA ZONA A-1 EN EL PROYECTO CRUCERO), donde se tiene mayores concentraciones de mineralización de oro (> 2 g/ton de Au).

En sección geológica estructural A - A' las fallas son de tipo normal, y se encuentran cortando a las rocas de la formación Ananea que se encuentran mineralizadas. Ver Anexo II. Lamina N°. 13: Sección Geológica Estructural A - A'.

4.3 DISCUSIONES

En esta sección se integra los resultados obtenidos en la investigación y los estudios anteriores que permiten establecer un contexto estructural en el que se desarrolló

el yacimiento aurífero de tipo orogénico que se emplazó en pizarras de la formación Ananea, y las implicancias de los resultados en la exploración, podemos decir:

El análisis de la estratigrafía de la formación Ananea así como de las principales direcciones de distorsión se vio sujeto a deformación dúctil que se encuentran entre las fallas Canihuancani y falla Pacacorral que están asociados a la mineralización de oro (Au), siendo evidenciado por “el sistema de fallas de dirección NO-SE que regionalmente están asociados a mineralización aurífera orogénica, siendo estos sistemas de alcance kilométrico originando deformación dúctil en las rocas del Paleozoico” (Rodríguez et al., 2017), la mineralización en la zona A-1 se encuentra en una estructura que está definido como un pliegue anticlinal (Pacacorral) cuyo eje está orientado al N27°-33°O, así como la anomalía en la zona A-8 que también es una estructura plegada con eje orientado al N4°O, que está afectado por la falla Canihuancani, siendo un potencial de mineralización por estar en la misma tendencia estructural (structural trend) de la zona A-1.

El régimen de deformación local dentro del área de investigación proponen que “la mineralización en la zona A-1 se ha logrado definir con mayor precisión la dinámica de las fallas, con un mayor predominio de fallas de rumbo transcurrentes con movimientos preferenciales a la normal clasificándolas del tipo sinestral normal o dextral normal” (Diaz, 2011), sin embargo con esta investigación se tiene mayormente cinemáticas dextral y dextral normal, teniendo mejor sustento de la relación deformación - mineralización con las evidencias que se observaron en campo. De la misma manera estas cinemáticas se observan en las zonas A-11 y A-8.

A partir del análisis de las estructuras y la geometría de vetillas, venillas y diseminación, se estimó que la orientación de apertura principal, equivalente al esfuerzo principal menor σ_3 , es horizontal al momento de ocurrir el emplazamiento de la mineralización de sulfuros, sucediendo en un determinado evento de mineralización.

Entonces, para determinar los esfuerzos del régimen tectónico al momento de ocurrir el emplazamiento de la mineralización, se realiza un análisis cinemático de las estructuras en conjunto (fallas, vetillas, venillas y disseminación de sulfuros), ya que éstas se consideran estructuras multievento entre extensión y cizalla, cuya bisectriz corresponde al esfuerzo principal máximo sigma 1 (σ_1) (Figura 68), generando apertura en las estructuras que posteriormente fueron rellenados de sulfuros, ver Figura 66a, 66b y Figura 67a, 67b.

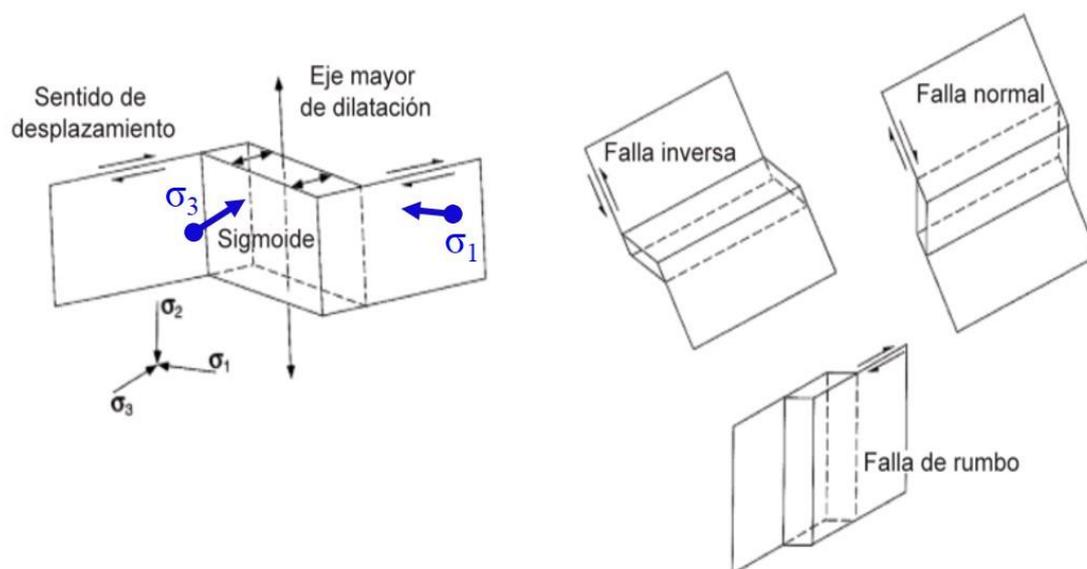


Figura 68. Orientación de los esfuerzos principales que están asociados a la generación de vetas producto del desplazamiento de un plano de falla en diferentes regimenes tectonicos
Fuente: Modificado de Cox et al. (2001); Cox (2005), citado en Boetsch (2014), p.84

Es de suma relevancia mencionar que los datos estructurales tomados dentro del área de investigación reflejan un régimen local de deformación, que fácilmente se acomoda a una escala distrital, pero no permiten, por si solos, realizar conclusiones a escala regional. Cabe indicar que a escala regional los sistemas de falla mapeados son principalmente inversos, esto se debe al régimen tectónico compresivo anterior al régimen de extensión (Monge & Zedano, 1996), como se observa en la zona A-7 que evidencia fallas con cinemática de tipo dextral inverso.

CONCLUSIONES

- Las características estructurales de las fallas de la zona A-1 en el proyecto Crucero presentan mayormente movimientos cinemáticos de tipo dextral con pitch promedio de 3° y movimientos cinemáticos conjugados de tipo dextral normal con pitch promedio de 33° , en la zona A-11 presentan movimientos cinemáticos conjugados de tipo dextral normal con pitch promedio de 20° , en la zona A-8 del target Tuntani presentan mayormente movimientos cinemáticos conjugados de tipo dextral normal con pitch promedio de 27° y movimientos cinemáticos de tipo dextral con pitch promedio de 10° , en la zona A-7 presentan movimientos cinemáticos conjugados de tipo dextral inverso con pitch promedio de 17° , concluyendo que las características de la zona A-1, A-11 y A-8 tienen similares movimientos conjugados extensionales que están relacionados a la falla Canihuancani y falla Pacacorral, mientras que las fallas en la zona A-7 tienen movimientos conjugados de acortamiento mostrándose diferente a las otras zonas. El comportamiento estructural de la deformación de los pliegues es similar en las zonas A-1 y A-8 por tener ejes en dirección NO y que corresponden a estructuras plegadas abiertas hacia el SE y S, en la zona A-1 el eje principal tiene una orientación de $N27^\circ-33^\circ O$, que en este caso podría estar relacionado a la concentración de mineralización con valores de oro (> 2 g/ton de Au), en la zona A-8 el eje tiene una orientación de $N4^\circ O$, donde puede ocurrir anomalías de mineralización.

- Se determinaron que las direcciones de los esfuerzos principales mayores σ_1 (σ_1) de las 4 zonas distintas, donde en la zona A-11 y zona A-8 guardan relación teniendo dirección SO-NE con ligera variación de OSO-ENE, mientras que en la zona A-1 se determinó que el esfuerzo principal mayor tiene dirección de SSE-NNO, que podría corresponder a un evento diferente pero que está relacionado al emplazamiento de la mineralización, sin embargo en la zona A-7 se muestra distinto a las otras zonas, donde se determinó que el esfuerzo principal mayor tiene dirección de NE-SO formando fallas inversas, entonces podemos decir que las zonas A-11, A-8 y A-1 corresponderían a un régimen distensivo pero a diferentes eventos de deformación, mientras que la zona A-7 correspondería a un régimen compresivo siendo un evento anterior del ocurrido en las zonas A-11, A-8 y A-1. Y mediante un análisis geométrica-cinemático de las fallas, vetillas, venillas y diseminación se determinó que el régimen local de deformación en la zona A-1 es de tipo extensional o distensivo relacionados a fallas conjugadas de tipo normal dextral y a estructuras de dilatación (dilatational jogs ó pull apart) rellenas con sulfuros (arsenopirita, estibina, pirita, calcopirita), que son subparalelas al esfuerzo principal mayor σ_1 (σ_1) que sucedió durante el periodo de emplazamiento de la mineralización económica de oro (Au), teniendo cierta coherencia con el régimen de deformación y movimiento de la falla Canihuancani y falla Pacacorral.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo a la dirección del esfuerzo principal mayor sigma 1 (σ_1), que se determinó en la zona A-1 que generan estructuras de dilatación (dilational jogs ó pull apart), se recomienda que en las zonas A-11 y A-8 se realice un mapeo detallado, muestreo geoquímico de rocas transversal a las estructuras mencionadas y según a los resultados de laboratorio se planifique la ubicación, dirección e inclinación de los sondajes de exploración.
- Realizar un estudio estructural detallado para determinar la profundidad a la cual se encontraría una posible mineralización en las zonas A-11 y A-8, donde se involucre a la litología de las rocas descritas en el área de investigación, así como a las estructuras y mineralización, para determinar la magnitud del desplazamiento de las fallas y la probable profundidad a la que se podría encontrar una zona mineralizada.
- Realizar un estudio de inclusiones fluidas para determinar cuántos eventos de mineralización sucedieron en las zonas A-1, A-11 y A-8, y se pueda establecer la paragénesis de mineralización en cada zona, estos estudios permitirán correlacionar a qué evento de mineralización y deformación corresponde cada zona.

BIBLIOGRAFÍA

- Allmendinger, R. (2018). Software FaultKin 8. Recuperado el 28 de Febrero del 2018, de <http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs/faultkin.html>
- Allmendinger, R. W. (1987). *Técnicas modernas de análisis estructural*. (AGA, Ed.) (16°). Buenos Aires, Argentina: Asociación Geológica Argentina.
- Anderson, E. M. (1951). The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Brittan. *The Journal of Geology*, 62(4).
- Boetsch, M. (2014). *Control estructural de la mineralización Argentó – Aurífera y criterios de Exploración en el Distrito Cerro Bayo, Región de Aysén, Chile (tesis de magíster)*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Boyle, R. W., Keppie, J., & Haynes, S. J. (1986). Turbidite-hosted gold deposits. *Geological Association of Canada, Special Paper*, (32), 1–13.
- Carlotto, V. (2006). La deformación y el acortamiento andino en el Sur del Perú. Cusco-Abancay-Sicuani. *Boletín de La Sociedad Geologica Del Perú*, 101, 91–119. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/288858284>
- Carlotto, V., Jaillard, E., Cerpa, L., Cárdenas, J., Flores, T., Latorre, O., & Ibarra, I. (2005). Las cuencas terciarias sinorogénicas en el Altiplano y en la Cordillera Occidental. *Boletín de La Sociedad Geologica Del Perú*, 6, 103–126. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/278810575>

- Ciciarelli, M. I. (1990). *Análisis estructural del sector oriental del macizo nordpatagónico y su significado metalogénico. Provincias de Río Negro y Chubut (tesis de doctor)*. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Recuperado de http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/_documentos/tesis/0565_Tesis.pdf
- Clark, A. H., Kontak, D. J., Langridge, J., Sandeman, H. A., & Archibald, D. A. (1990). Geologic and Geochronologic Constraints on the Metallogenic Evolution. *Economic Geology*, 85, 1520–1583. Recuperado de <https://pubs.geoscienceworld.org/segweb/economicgeology/article-abstract/85/7/1520/20850>
- Cox, S. F., Wall, V. . J., Etheridge, M. A., & Potter, T. F. (1991). Deformational and metamorphic processes in the formation of mesothermal vein-hosted gold deposits - examples from the Lachlan Fold Belt in central Victoria , Australia. *Ore Geology Reviews*, 6, 391–423. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0169-1368\(91\)90038-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0169-1368(91)90038-9)
- Dalmayrac, B., Laubacher, G., & Marocco, R. (1980). *Caracteres generales de la evolucion geológica de los Andes Peruanos*. (INGEMMET, Ed.). Lima, Perú: INGEMMET.
- Davis, G. H., Reynolds, S. J., & Kluth, C. F. (1996). *Structural Geology of Rocks & Regions*. (WILEY, Ed.) (3°). New Jersey, EEUU: John Wiley & Sons, Inc.
- Recuperado de <http://geologylearn.blogspot.com/2017/02/download-geoscience-books.html>
- De Vicente, G., Muñoz, A., & Giner, J. L. (1992). El uso del método de los diedros rectos: implicaciones a partir del modelo de deslizamiento del análisis poblacional de fallas. *Revista de La Sociedad Geológica de España*, 5(3–4), 7–19. Recuperado

- de <https://www.researchgate.net/publication/31513067>
- Dewey, J. (1972). Tectónica de placas. In UCM (Ed.), *Deriva continental y tectónica de placas* (pp. 34–45). Madrid, España: Prentice Hall.
- Diaz, G. (2011). *Estudio geológico estructural del Proyecto Crucero - Puno (Informe interno)* (2° No. 1). Lima, Perú.
- Dunbar, C., & Newell, N. (1946). Marine early Permian of the central Andes and its fusuline-faunas. *American Journal of Science*, 244, 377–402.
- Fernandez, V. (2009). *Declaración de impacto ambiental Proyecto Pacacorral: Categoría I - Exploración Minera (Informe interno)* (1° No. 1). Lima, Perú.
- Finch, E., Hardy, S., & Gawthorpe, R. (2004). Discrete-element modelling of extensional fault- propagation folding above rigid basement fault blocks. *Basin Research*, 16(4), 489–506. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2004.00241.x>
- Fornari, M., Laubacher, G., Hérail, G., & Delaune, M. (1988). Les gisements d'or des Andes sud-orientales du Pérou. *Géodynamique*, 3, 139–161. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/32982578>
- Galan, M. (2009). Métodos e instrumentos de recolección de datos en la investigación. Recuperado el 15 de Enero del 2018, de <https://manuelgalan.blogspot.com/search?q=Métodos+e+Instrumentos+de+Recolección+de+Datos+en+la+Investigación>
- GeoCosas. (2008). Microtectónica. Recuperado el 22 de Octubre de 2017, de <https://geocosas.wordpress.com/tag/microtectonica/>
- Goldfarb, R. J., Groves, D. I., & Gardoll, S. (2001). Orogenic gold and geologic time : A global synthesis. *Ore Geological Reviews*, 1368(18), 1–75. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(01\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(01)00016-6)
- Gonzalez de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería*

- Geológica*. (I. Capella, Ed.). Madrid, España: PEARSON, Prentice Hall.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre, M., Hagemann, S. G., & Robert, F. (1998). Orogenic gold deposits : A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geological Reviews*, 1368(13), 7–27. Recuperado de http://www.fgel.uerj.br/dgap/disciplinas/Geoconomica/papers/Orogenic_Gold.pdf
- Gutierrez, G. (1992). *La estructura del antiforme del Narcea y su relación con los mantos Occidentales de la zona Cantábrica (tesis doctoral)*. Universidad de Oviedo, Asturias, España.
- Harding, T. P. (1974). Petroleum traps associated with Wrench Faults. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 58(7), 1290–1304. <https://doi.org/10.1306/83D91669-16C7-11D7-8645000102C1865D>
- Hills, E. (1972). *Elements of Structural Geology*. (E. S. Hills, Ed.) (2°). London E.C.: Chapman and Hall Ltd & Science Paperbacks. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-5843-2>
- Ingemmet. (2012). 2012 Año exitoso para el INGEMMET. *Revista Institucional Del INGEMMET*, 4(19), 5–9.
- Ingeoexpert. (2017). Tipos de muestreo en minería. Recuperado el 15 de Febrero del 2018, de <https://ingeoexpert.com/articulo/tipos-muestreo-mineria/?v=3acf83834396>
- Insugeo. (2019). Principios de Reología. Recuperado el 29 de Mayo del 2019, de http://www.insugeo.org.ar/publicaciones/docs/scg_15/capitulo_2.htm
- Investigacion y Ciencia. (2019). ¿Cómo se formaron los Andes? Recuperado el 29 de Mayo del 2019, from <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/qu-ocultan-las-estrellas-de-neutrones-765/cmo-se-formaron-los-andes->

17429

- Ito, B., & Pinto, R. (2003). *Prospecto Crucero - Resultados de la exploracion superficial y perforacion diamantina campaña 2003 (Informe interno)* (CED-INF 04-95 No. 1). Lima, Perú.
- Jaeger, J. C., Cook, N., & Zimmerman, R. (1969). Analysis of Stress and Strain. In *Fundamentals of Rock Mechanics* (4°, pp. 9–33). London, UK: Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511735349>
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Investigación del comportamiento*. (L. E. Pineda Ayala & I. Mora Magaña, Eds.) (4°). California, USA: McGraw-HILL.
- Kerrich, R., & Cassidy, K. F. (1994). Temporal relationships of lode gold mineralization to accretion , magmatism , metamorphism and deformation- Archean to present : A review. *Ore Geology Reviews*, 9, 263–310.
- Kontak, D., Clark, A. H., & Farrar, E. (1984). The Magmatic Evolution of the Cordillera Oriental, Southeastern Perú. *Andeanmagmatism; Chemical and Isotopicconstraints, Shiva Publications*, 203–219.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. (O. Neurath, Ed.) (2°, Vol. 2). Chicago, Illinois, USA: THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS, LTD.
- Laubacher, G. (1978). *Estudio geológico de la Región Norte del lago Titicaca*. (INGEOMIN, Ed.). Lima, Perú: INGEOMIN.
- Lee, C. A., Morton, D. M., Kistler, R. W., & Baird, A. K. (2007). Petrology and tectonics of Phanerozoic continent formation : From island arcs to accretion and continental arc magmatism. *Earth and Planetary Science Letters*, 263, 370–387. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.09.025>
- Liesa, C. L., Roman, T., Arlegui, L. E., Cortés, A. L., & Gil, A. (1997). El uso de modelos experimentales en la enseñanza de la geología estructural (I) Aplicación a

- la deformación discontinua. *Revista Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 5(3), 226–234. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/88452/132413>
- Lipa, V., & Saraiva Dos Santos, T. (2006). Análisis estructural del plúton Abancay, Sur del Perú. In SGP (Ed.), *13° Congreso Peruano de Geología* (pp. 299–302). Lima, Perú: Sociedad Geológica del Perú. Recuperado de es.scribd.com/document/255906495/Analisis-Estructural-Del-Pluton-de-Abancay
- Marret, R., & Allmendinger, R. (1990). Kinematic analysis of fault-slip data. *Journal of Structural Geology*, 12(8), 973–986. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(90\)90093-E](https://doi.org/10.1016/0191-8141(90)90093-E)
- Martinez, W., & Monge, R. (1998). *Estratigrafía del Paleozoico de la cordillera Oriental al Sureste del Perú, frontera Perú - Bolivia*. Lima, Perú. Recuperado de <http://peru.inka.free.fr/Runapacha/paleozoico.pdf>
- Mercier, J., & Vergely, P. (2001). *Tectónica*. (NORIEGA, Ed.) (1° Reimpr). México, D.F.: LIMUSA S.A.
- Monge, R., & Zedano, J. (1996). *Geología del cuadrángulo de Limbani 29-x*. (O. Moncayo Palacios, Ed.) (1°). Lima, Perú: INGEMMET.
- Muñoz, A., & De Vicente Muñoz, G. (2005). Programa de Doctorado “Dinámica Global.” In *Análisis del estado de esfuerzos en la corteza* (p. 25). Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/39159715_Analisis_del_estado_de_esfuerzos_en_la_corteza
- Newell, N. D. (1949). Geology of the Lake Titicaca Region, Perú and Bolivia. *Geological Society of America*, 36, 1–124. <https://doi.org/10.1130/MEM36-p1>
- Páez, V. (2010). *Análisis estructural en la región de Paso de la Yesca, límite entre los*

- estados de Jalisco y Nayarit (tesis de maestría)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. Recuperado de http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/posgrado/tesis/maestria/paez_juav.pdf
- Palacios, O., Klinck, B. A., De La Cruz, J., Allison, R. A., De La Cruz, N., & Hawkins, M. P. (1993). *Geología de la cordillera Occidental y altiplano al Oeste del lago Titicaca, Sur del Perú*. (INGEMMET, Ed.). Lima, Perú: Allamanda S.R.L.
- Petit, J. (1987). Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. *Structural Geology*, 9(5), 597–608. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0191814187901453>
- Ramsay, J. G., & Martin, H. I. (1989). *The techniques of modern structural geology* (6°). London, UK: Academic Press.
- Riedel, W. (1929). Zur mechanik geologischer brucherscheinungen. *Centralblatt Fur Minerologie, Geologie, Und Paleontologie 1929B*, 354–368.
- Rodríguez, G., de Azevedo, F., Coira, B., & Brodie, C. (2001). Mineralizaciones auríferas en sedimentitas ordovícicas de la sierra de Rinconada (Jujuy-Argentina): implicancias para la exploración minera. *Revista Geológica de Chile*, 28(1). <https://doi.org/10.4067/s0716-02082001000100003>
- Rodríguez, R., Soberon, D., Callo, W., & Choquehuanca, S. (2017). Controles estructurales para la exploración de depósitos minerales estratégicos en el Sur de la Cordillera Oriental del Perú. En *11° Congreso Internacional de ProExplo 2017*. Lima, Perú: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.
- Sangster, A. (1990). *Metallogeny of the Meguma Terrane , Nova Scotia* (8 No. 90). Ottawa, Ontario, Canada.
- Sempere, T. (2004). Las "fases tectónicas" en los Andes Centrales : Esplendor y

- decadencia de un paradigma geológico. *Boletín de La Sociedad Geologica Del Perú*, (5), 203–216.
- Sempere, T., & Jacay, J. (2006). Estructura tectonica del sur del Peru (Antearco, Arco, y Altiplano Suroccidental). En T. Sempere & J. Jacay (Eds.), *13° Congreso Peruano de Geología (Resúmenes extendidos)* (pp. 324–327). Lima, Perú: Sociedad Geológica del Perú.
- Silvester, A. (1988). Strike-Slip Faults. *Geological Society of America*, 100(11), 1666–1703. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1988\)100<1666](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1988)100<1666)
- Snoke, A., Tullis, J., & Todd, V. (1998). *Fault related Rocks : A Photographic Atlas*. Princeton, Nueva Jersey: Princeton University Press. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/j.ctt7zvg0k>
- Stüwe, K., Will, T., & Zhou, S. (1993). On the timing relationship between fluid production and metamorphism in metamorphic piles. *Earth and Planetary Science Letters*, 114, 417–430.
- Tullis, J., & Snoke, A. (1982). Significance and petrogenesis of mylonitic rocks. *Geology*, 10(5), 227–230. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1982\)10<227](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1982)10<227)
- UNSL. (2015). Universidad Nacional de San Luis, Departamento de Geologia-Tema 03 “Aspectos teoricos de la deformación.” Recuperado el 26 de Febrero del 2018, de <http://www0.unsl.edu.ar/~estructural/login/about.html>
- Valdivieso, Y. (2011). Exploración de yacimientos de oro orogenico en la franja Paleozoica inferior Ollachea - La Rinconada. En *7° Congreso de ProExplo 2011*. Lima, Perú: Instituto de Ingenieros de Minas del Peru.
- Velásquez, C. A., Canllahui, J. C., Aguirre, H. C., & Quispe, A. (2010). *Proyecto Crucero - Resultados de la exploracion superficial y perforacion diamantina campaña 2010 (Informe interno)* (2° No. 1–10). Lima, Perú.

- Waldron, J. (2005). Extensional fault arrays in strike-slip and transtension. *Journal of Structural Geology*, 27, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2004.06.015>
- Wikipedia. (2017a). Tensor deformación. Recuperado el 4 de Octubre del 2017, de https://es.wikipedia.org/wiki/Tensor_deformación
- Wikipedia. (2017b). Tensor tensión. Recuperado el 4 de Octubre del 2017, de https://es.wikipedia.org/wiki/Tensor_tensión
- Wise, D. U., Dunn, D. E., Engelder, J. T., Geiser, P. A., Hatcher, R. D., Kish, S. A., ... Schamel, S. (1984). Fault related rocks: Suggestions for terminology. *Geology*, 12, 391–394. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1984\)12<391:FRSFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1984)12<391:FRSFT>2.0.CO;2)

ANEXOS

ANEXO I. DATOS DE CAMPO

ANEXO II. RELACIÓN DE MAPAS

ANEXO I

DATOS DE CAMPO

DATA ESTRUCTURAL DE PLIEGUES

DATA ESTRUCTURAL DE FALLAS

DATA ESTRUCTURAL DE PLIEGUES

ID	ESTE	NORTE	DIRECCIÓN	RUMBO	DIR. BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	ESTRUCTURA	ZONA
Id	East	North	Strike	Direction	Dip Direction	Dip	Structure	Zone
1	410946	8432931	280	N80W	10 NE	6 N	Pliegue	A-1
2	410900	8433024	286	N74W	16 NE	34 N	Pliegue	A-1
3	410809	8433146	336	N24W	66 NE	33 E	Pliegue	A-1
4	410660	8433360	272	N88W	2 NE	36 N	Pliegue	A-1
5	410526	8433534	262	S82W	352 NW	40 N	Pliegue	A-1
8	410783	8433456	149	S31E	239 SW	57 W	Pliegue	A-1
9	410990	8433059	142	S38E	232 SW	75 W	Pliegue	A-1
10	410925	8432908	167	S13E	257 SW	27 W	Pliegue	A-1
11	410852	8433023	168	S12E	258 SW	75 W	Pliegue	A-1
12	410795	8433093	177	S3E	267 SW	34 W	Pliegue	A-1
13	410686	8433273	170	S10E	260 SW	58 W	Pliegue	A-1
14	410482	8433517	205	S25W	295 NW	40 W	Pliegue	A-1
15	410901	8432859	326	N34W	56 NE	20 E	Pliegue	A-1
16	410805	8433021	294	N66W	24 NE	52 N	Pliegue	A-1
17	410692	8433169	312	N48W	42 NE	32 N	Pliegue	A-1
18	410616	8433280	289	N71W	19 NE	37 N	Pliegue	A-1
19	410502	8433436	267	S87W	357 NW	30 N	Pliegue	A-1
20	410855	8432927	214	S34W	304 NW	24 W	Pliegue	A-1
21	410759	8433042	199	S19W	289 NW	30 W	Pliegue	A-1
22	410665	8433159	164	S16E	254 SW	25 W	Pliegue	A-1
23	410601	8433264	201	S21W	291 NW	35 W	Pliegue	A-1
24	410483	8433373	174	S6E	264 SW	42 W	Pliegue	A-1
25	410787	8432949	315	N45W	45 NE	20 NE	Pliegue	A-1
26	410685	8433058	301	N59W	31 NE	25 N	Pliegue	A-1
27	410582	8433207	291	N69W	21 NE	35 N	Pliegue	A-1
28	410470	8433334	235	S55W	325 NW	27 N	Pliegue	A-1
29	410161	8434508	240	S60W	330 NW	30 N	Pliegue	A-8
30	410160	8434626	322	N38W	52 NE	40 E	Pliegue	A-8
31	410275	8434835	327	N33W	57 NE	50 E	Pliegue	A-8
32	410118	8434734	338	N22W	68 NE	38 E	Pliegue	A-8
33	410018	8434923	333	N27W	63 NE	45 E	Pliegue	A-8

DATA ESTRUCTURAL DE FALLAS

ID	ESTE	NORTE	DIRECCIÓN	DIR. BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	CABECEO	CINEMÁTICA	ZONA
Id	East	North	Strike	Dip Direction	Dip	Pitch	Kinematics	Zone
1	410953	8432862	11	101 SE	71 E	43 NE	Nx Sx	A-1
2	410947	8432885	10	100 SE	72 E	42 NE	Nx Sx	A-1
3	410922	8433068	155	245 SO	61 W	165 NW	Dx Nx	A-1
4	410907	8432867	337	67 NE	54 E	177 S	Dx	A-1
5	410886	8433238	341	71 NE	77 E	176 S	Dx	A-1
6	410722	8433541	310	40 NE	57 N	179 SE	Dx	A-1
7	410541	8433600	312	42 NE	80 N	180 SE	Dx	A-1
8	410839	8433090	331	61 NE	52 E	135 SE	Dx Nx	A-1
9	410823	8433080	330	60 NE	55 E	155 SE	Dx Nx	A-1
10	410729	8433083	295	25 NE	60 N	126 E	Nx DX	A-1
11	410840	8433092	300	58 NE	44 E	156 E	Dx Nx	A-1
12	410836	8433057	318	48 NE	59 E	173 SE	Dx	A-1
13	410921	8432888	336	66 NE	48 E	1 N	Sx	A-1
14	410926	8432862	347	77 NE	88 E	4 N	Sx	A-1
15	410915	8432847	350	74 NE	68 E	18 N	Sx Nx	A-1
16	410375	8432769	1	91 SE	80 E	165 S	Dx Nx	A-11
17	410435	8432753	3	93 SE	78 E	167 S	Dx Nx	A-11
18	410177	8433591	11	101 SE	72 E	58 NE	Nx Sx	A-11
19	410350	8432810	162	252 SO	46 W	27 S	Sx Nx	A-11
20	410380	8433231	333	63 NE	75 E	149 SE	Dx Nx	A-11
21	410262	8434245	36	126 SE	80 E	164 SW	Dx	A-8
22	410257	8434307	26	116 SE	72 E	160 SW	Dx	A-8
23	410258	8434324	34	124 SE	62 E	174 SW	Dx	A-8
24	410007	8433716	25	115 SE	75 E	159 S	Dx Nx	A-8
25	410132	8434352	12	102 SE	76 E	145 S	Dx Nx	A-8
26	409999	8433812	60	150 SE	75 S	159 SW	Dx Nx	A-8
27	410133	8434351	15	105 SE	78 E	147 S	Dx Nx	A-8
28	410912	8434439	338	68 NE	82 E	19 S	Dx Ix	A-7
29	410718	8434184	339	69 NE	83 E	20 S	Dx Ix	A-7
30	410923	8434841	335	65 NE	85 E	150 N	Sx Ix	A-7
31	410915	8434854	345	75 NE	65 E	16 S	Dx Ix	A-7
32	410940	8434863	341	71 NE	62 E	14 S	Dx Ix	A-7

ANEXO II

RELACIÓN DE MAPAS

LAMINA N° . 01	: MAPA GEOMORFOLÓGICO REGIONAL
LAMINA N° . 02	: MAPA GEOLÓGICO REGIONAL
LAMINA N° . 03	: MAPA DE ZONAS ESTRUCTURALES
LAMINA N° . 04	: MAPA DE UBICACIÓN
LAMINA N° . 05	: MAPA DE PROPIEDADES MINERAS
LAMINA N° . 06	: MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL
LAMINA N° . 07	: MAPA GEOLÓGICO LOCAL
LAMINA N° . 08	: MAPA ESTRUCTURAL LOCAL
LAMINA N° . 09	: MAPA DE LINEAMIENTOS REGIONAL
LAMINA N° . 10	: MAPA DE DEFORMACIÓN DE LOS ESTRATOS
LAMINA N° . 11	: MAPA DE ESFUERZOS ESTRUCTURALES
LAMINA N° . 12	: MAPA ESTRUCTURAL Y GEOQUÍMICA (AU PPB)
LAMINA N° . 13	: SECCIÓN GEOLÓGICA ESTRUCTURAL A – A’