

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**CONTROLES ESTRUCTURALES DEL PÓRFIDO
TRAPICHE APURIMAC - PERÚ**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
JHIMER ENRIQUE GONZALES SANCHEZ**

**ASESOR
Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE**

**CAJAMARCA - PERÚ
2013**



DEDICADO:

A mi madre Georgina como un testimonio de mi infinito agradecimiento por toda una vida de esfuerzos y sacrificios y por inculcarme los valores que ahora poseo.

A mi esposa Liz por la infinita paciencia y apoyo que me brindó en todo momento para culminar con esta meta.

A mis hijos Fabrizio y Sebastián por permitirme robarles mucho del tiempo en que merecía estar con ellos.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Compañía de Minas Buenaventura SAA. A través del Vicepresidente y Gerente de Exploraciones Dr. César Vidal Cobián y Gerente de proyecto Ing. Fernando Llosa Tejada quienes hicieron posible el desarrollo de la presente tesis. Especial y sincero agradecimiento al Jefe de Exploraciones del Proyecto Trapiche y tutor Ing. Javier Veliz Mamani. por la supervisión, sugerencias, correcciones y facilidades prestadas al presente trabajo, además de su amistad y ayuda desinteresada.

Al Ingeniero Braulio Ito Espinoza. Jefe de Proyecto Trapiche por sus comentarios, sugerencias y por las facilidades prestadas en el proyecto, asimismo a los geólogos de exploraciones del Proyecto Wilfredo Pintado Martínez y Delfor Cáceres Tejada. Por sus valiosos comentarios y apoyo en el campo.

Al Equipo de Cómputo del Proyecto por el apoyo brindado en la elaboración de planos y figuras.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca y la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, la cual me formó académicamente mediante grandes profesionales, de los cuales guardo grandes enseñanzas y recuerdos.

A mi asesor, Ing. Alejandro Lagos Manrique, por sus aportes, paciencia, tiempo y correcciones para mejorar el presente estudio.

Así mismo hago extensivo mis agradecimientos a los Ingenieros: Reynaldo Rodríguez Cruzado., José Siveroni Morales y Zenón Quipe Mamani, catedráticos de la Escuela de Geología de la UNC por su amistad, orientaciones y sugerencias.

A todos ellos y a mis compañeros de trabajo por sus orientaciones y apoyo recibido en todo momento y a todas las personas que han colaborado con el desarrollo de los trabajos de esta Tesis, mi mayor agradecimiento.



INDICE

	Pág.
Listado de figuras	i
Listado de tablas	iv
Listado de láminas	iv
Índice de abreviaturas	vi
Resumen	ix
Abstract	x

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación	1
1.2. Planteamiento del problema	1
1.2.1. Definición del Problema	1
1.2.2. Formulación del Problema	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Hipótesis	3
1.5. Justificación	3
1.6. Alcances y limitaciones	4
1.7. Metodología de la Investigación	4
1.7.1. Tipo de Investigación	4
1.7.2. Método de trabajo	4
1.8. Ubicación y accesibilidad	5
1.9. Aspectos fisiográficos y geomorfológicos	8
1.9.1. Base topográfica	8
1.9.2. Geomorfología	8
1.9.3. Características climáticas	10
1.9.4. Red hidrográfica	11
1.9.5. Flora y fauna	11
1.10. Demografía y comunidades	13



CAPITULO II: MARCO TEORICO

	Pág.
2.1. Antecedentes	14
2.2. Sistemas porfiríticos de cobre	15
2.2.1. Fases intrusivas	16
2.2.2. Alteraciones hidrotermales y mineralización en los pórfidos	17
2.3. Revisión de conceptos estructurales fundamentales	25
2.3.1. Estructuras Tectónicas	25

CAPITULO III: MARCO GEOLOGICO REGIONAL

3.1. Marco tectónico	31
3.2. Estratigrafía	32
3.2.1. Estratigrafía del Mesozoico	35
3.2.2. Estratigrafía del cenozoico post Batolito Andahuaylas-Yauri	43
3.3. Batolito Andahuaylas – Yauri	45
3.4. Marco metalogenético	46
3.4.1. Extensión en territorio chileno	50
	53

CAPITULO IV: GEOLOGÍA LOCAL DE TRAPICHE

4.1. Estratigrafía	53
4.1.1. Formación Piste	53
4.1.2. Formación Chuquibambilla	58
4.1.3. Grupo Tacaza	59
4.1.4. Depósitos cuaternarios	60
4.2. Petrología	60
4.2.1. Stock granodiorítico	60
4.2.2. Pórfido Cuarzo Dacita II	63
4.2.3. Pórfido Cuarzo Monzonítico Principal	65
4.2.4. Pórfido Cuarzo Monzonítico Intramineral	67
4.2.5. Pórfido Cuarzo Monzonítico Tardío	70
4.2.6. Pórfido Cuarzo Dacita	72
4.2.7. Diques de Dacita porfirítica	74



	Pág.
4.3. Brecha Pipe	76
4.3.1. Brecha Cuarzo Magnetita	77
4.3.2. Brecha Cuarzo Mineral	77
4.3.3. Brecha Cuarzo Turmalina	78
4.3.4. Brecha Freatomagmática	79
4.4. Dataciones radiométricas	80

CAPITULO V: GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. Alteraciones hidrotermales	82
5.1.1. Episodio de formación del pórfido de Cu-Mo	83
5.1.2. Episodio de formación de la brecha hidrotermal	94
5.2. Mineralización	97
5.2.1. Zona lixiviada	102
5.2.2. Zona de óxidos	102
5.2.3. Zona Mixta	103
5.2.4. Zona Enriquecida	104
5.2.5. Zona Transicional	107
5.2.6. Zona Primaria	107

CAPITULO VI: TECTONICA Y ESTRUCTURA DEL CINTURON ANDAHUAYLAS – YAURI

6.1. Cronología de los Eventos Tectónicos	111
6.1.1. Fase Tectónica Peruana	112
6.1.2. Fase Tectónica Inca	114
6.1.3. Fase Tectónica Quechua	117
6.1.4. Pleistoceno Medio al Presente	121
6.2. Condiciones estructurales del distrito trapiche en el contexto del sector Antabamba	124
6.2.1. Plegamientos	126
6.2.2. Principales sistemas de fallas	127



CAPITULO VII: CONDICIONES ESTRUCTURALES DEL YACIMIENTO TRAPICHE

	Pág.
7.1. Plegamientos	131
7.2. Sistemas de fallas	133
7.2.1. Sistema de fallas strike slip conjugados NWW (sinistral) y NE (dextral)	134
7.2.2. Sistema de fallas E-W+-10°	139
7.2.3. Sistema de fallas conjugados N-S+-20°	140
7.2.4. Determinación de Paleoesfuerzos	140
7.3. Sistemas de diques tardíos	142
7.4. Fracturamientos	143
7.4.1. Fracturas de roca caja	144
7.4.2. Fracturas de las unidades intrusivas	145
7.4.3. Fracturas en los diques tardíos	145
7.5. Sistemas de venillas	147
7.5.1. Venillas en la roca encajonante	147
7.5.2. Venillas en el PQM Principal	148
7.5.3. Venillas en el PQM Intramineral	151

CAPITULO VIII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1. Modelo estructural	152
8.2. Evolución geológica-estructural	157
8.3. Contrastación de la hipótesis	162
CONCLUSIONES	163
RECOMENDACIONES	165
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	166



LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Mapa de ubicación del área de estudio	6
Figura 1.2. Ubicación del proyecto Trapiche en la CC. de Mollebamba	7
Figura 1.3. Principales unidades geomorfológicas	9
Figura 2.1. Modelo esquemático de un sistema tipo pórfido	21
Figura 2.2. Evolución y zonación de alteraciones y mineralización en-PCDs	22
Figura 2.3. Clasificación de venillas asociadas a pórfidos	23
Figura 2.4. Principales franjas de pórfidos en los Andes	24
Figura 2.5. Tipos de fallas	26
Figura 2.6. Esquema de una zona de cizalla y rocas asociadas	27
Figura 2.7. Modelo de deformaciones	28
Figura 2.8. Modelo mecánico de Riedel	29
Figura 2.9. Apertura de fallas jogs y bends	30
Figura 3.1. Bloques que forman el substrato de los Andes del Sur del Perú	32
Figura 3.2. Tectónica extensional (Triásico superior-Cretácico Inferior	34
Figura 3.3. Paleogeografía del sur del Perú	34
Figura 3.4. Cuenca de Arequipa limitada por fallas normales	35
Figura 3.5. Afloramiento lutitas y limolitas de la formación Mara	38
Figura 3.6. Vista panorámica del cerro Lucaljahua, mirando al Norte	39
Figura 3.7. Vista panorámica del cerro Ajoloma mirando al SE	39
Figura 3.8. Columna estratigráfica regional	41
Figura 3.9. Tectónica Compresiva (Cretácico superior-Reciente)	43
Figura 3.10. Control estructural de la Cordillera Occidental (Sur del Perú)	43
Figura 3.11. Principales pulsos magmáticos del Batolito Andahuaylas – Yauri	46
Figura 3.12. Marco metalogenético del Batolito Andahuaylas-Yauri	48
Figura 3.13. Principales tipos de yacimientos de la franja Andahuaylas – Yauri	49
Figura 3.14. Franja de pórfidos del Eoceno Superior–Oligoceno Inferior (43-30 Ma)	52
Figura 4.1. Columna estratigráfica local	55
Figura 4.2. Limoarcillita gris	57
Figura 4.3. Estudio microscópico de una limolita	57
Figura 4.4. Arenisca de grano fino	58



	Pág.
Figura 4.5. Estudio microscópico de una arenisca	59
Figura 4.6. Descripción macroscópica de una granodiorita	61
Figura 4.7. Fotomicrografías del stock granodiorítico	62
Figura 4.8. Descripción macroscópica de un PQD II	63
Figura 4.9. Fotomicrografías del PQD II	64
Figura 4.10. Descripción macroscópica de un PQM Principal	65
Figura 4.11. Fotomicrografías del PQD Principal	67
Figura 4.12. Descripción macroscópica de un PQM Intramineral	68
Figura 4.13. Fotomicrografías del PQD Intramineral	69
Figura 4.14. Descripción macroscópica de un PQM Tardío (PGD)	70
Figura 4.15. Fotomicrografías del PGD	71
Figura 4.16. Descripción macroscópica de un Pórfido cuarzo dacita	72
Figura 4.17. Fotomicrografías de un Pórfido cuarzo dacita	74
Figura 4.18. Muestra de mano de un dique dacítico	75
Figura 4.19. Fotomicrografías de una dacita porfírica	76
Figura 4.20. Descripción macroscópica de la Brecha cuarzo magnetita	77
Figura 4.21. Descripción macroscópica de la Brecha cuarzo mineral	78
Figura 4.22. Descripción macroscópica de la Brecha cuarzo turmalina	79
Figura 4.23. Descripción macroscópica de la Brecha freatomagmática	80
Figura 5.1. Muestras de mano con alteración potásica	87
Figura 5.2. Fotos de core con venillas tipo A	87
Figura 5.3. Muestra de sondaje con alteración propilítica	88
Figura 5.4. Muestras de sondaje con alteración skarn de GRNs y Hornfels	89
Figura 5.5. Fotos de core con venillas tipo EB	89
Figura 5.6. Muestra de sondaje con alteración argílica intermedia	90
Figura 5.7. Fotos de core con venillas tipo B	91
Figura 5.8. Muestra de sondaje con alteración filica	92
Figura 5.9. Fotos de core con venillas tipo C	92
Figura 5.10. Foto de core con venilla tardía	93
Figura 5.11. Distribución espacial de las alteraciones hidrotermales en TRA E	93
Figura 5.12. Muestra de BxCM, con alteración potásica	95



	Pág.
Figura 5.13. Muestra de BxCM, con alteración argílica intermedia	95
Figura 5.14. Muestra de BxCM, con alteración fílica	96
Figura 5.15. Muestras de PQM Principal y BxCM, con alteración argílica	97
Figura 5.16. Muestra de mano de zona lixiviada	102
Figura 5.17. Muestra de mano y de core de la zona de óxidos	103
Figura 5.18. Muestra de core de zona mixta	104
Figura 5.19. Muestras de cores de zona enriquecida	105
Figura 5.20. Muestras de core de zona enriquecida para microscopía	106
Figura 5.21. Fotomicrografías mineragráficas de la zona enriquecida	107
Figura 5.22. Muestra de core de zona transicional	107
Figura 5.23. Muestras de core de zona primaria	108
Figura 5.24. Muestra de core de zona primaria para microscopía	109
Figura 5.25. Fotomicrografías mineragráficas de la zona primaria	110
Figura 6.1. Dirección de convergencia en el Sur del Perú y Chile	112
Figura 6.2. Historia tectónica del yacimiento Trapiche dentro de la Tectónica Regional del sur del Perú	113
Figura 6.3. Tectónica Inca I, emplazamiento del Batolito Andahuaylas-Yauri	115
Figura 6.4. Compresión NE-SW, el Batolito Andahuaylas-Yauri se levanta y cuerpos subvolcánicos con pórfidos de Cu se emplazan	116
Figura 6.5. Cuadro cronoestratigráfico con los principales eventos Tectónicos	120
Figura 6.6. Evidencias estructurales de la Tectónica Andina en el Cinturón Andahuaylas – Yauri	123
Figura 6.7. Elipsoides de deformación mostrando las estructuras heredadas de las fases tectónicas Peruana e Inca	127
Figura 6.8. Rosas estructurales y diagrama de esfuerzos del Distrito de Trapiche	129
Figura 7.1 Elipsoide de deformación mostrando el anticlinal Trapiche	131
Figura 7.2. Rosas estructural de los sistemas de fallas del depósito Trapiche	134
Figura 7.3. Rosas estructurales y diagrama de esfuerzos de la Bx Pipe y pórfido	135
Figura 7.4. Vista panorámica de la falla Cerro Colorado, mirando hacia el NW	136
Figura 7.5. Paleoesfuerzos del sistema de fallas Cerro Colorado	137



	Pág.
Figura 7.6. Vista panorámica de la zona de falla Arpa Orco	138
Figura 7.7. Paleoesfuerzos del Sistema de fallas Arpa Orco	138
Figura 7.8. Vista panorámica de la zona de falla Trapiche	139
Figura 7.9. Principales paleoesfuerzos bajo un régimen compresivo ENE	142
Figura 7.10. Principales paleoesfuerzos bajo un régimen compresivo NE	142
Figura 7.11. Principales orientaciones de los diques en el área de Trapiche	143
Figura 7.12. Principales sistemas de fracturas en el depósito Trapiche	144
Figura 7.13. Principales sistema de fracturas en la roca huésped	145
Figura 7.14. Principales sistema de fracturas en los intrusivos	146
Figura 7.15. Principales sistemas de fracturas en los diques tardíos	146
Figura 7.16. Principales sistemas de venillas en el depósito Trapiche	147
Figura 7.17. Principales sistemas de venillas en la roca huésped	148
Figura 7.18. Principales tipos de venillas en la roca huésped	148
Figura 7.19. Principales sistemas de venillas en el pórfido principal	149
Figura 7.20. Fotos de los principales tipos de venillas en el PQM P	150
Figura 7.21. Principal sistema de venillas en el PQM Intramineral	151
Figura 7.22. Sheeting de venillas de qz tipo "A", en el PQM I	151
Figura 8.1. Principales ejes compresivos relacionados a la formación del depósito Trapiche	154
Figura 8.2. Modelo conceptual para el emplazamiento de pórfidos	158

LISTADO DE TABLAS

Tabla 4.1. Dominios de zonas mineralizadas	98
Tabla 7.1. Estación falla Cerro Colorado, principales fallas con pitch	136
Tabla 7.2. Estación falla Arpa Orco, principales fallas con pitch	138
Tabla 7.3. Principales datos cinemáticos de fallas antiguas	141
Tabla 7.4. Principales datos cinemáticos de fallas recientes	142

LISTADO DE LÁMINAS

Lámina 1. Mapa Fisiográfico	12
Lámina 2. Plano Geológico Regional	40
Lámina 3. Plano Geológico Local	54



	Pág.
Lamina 4. Sección A – B. Litología	56
Lámina 5. Plano Dataciones Radiométricas	81
Lámina 6. Plano de Alteraciones	84
Lámina 7. Sección A – B. Alteración	85
Lámina 8. Plano de Mineralización sector óxidos de cobre	99
Lamina 9. Plano de Mineralización Nivel 4300	100
Lámina 10. Sección A – B. Mineralización	101
Lámina 11. Lineamientos estructurales sector Antabamba	125
Lámina 12. Plano Estructural Local	132
Lámina 13. Evento Tectónico compresivo ENE - WSW	155
Lámina 14. Evento Tectónico compresivo NE - SW	156
Lámina 15. Cortes evolutivos SW-NE y W-E	159



Índice de Abreviaturas

Lugares

Brecha Pipe	Bx Pipe
Trapiche Este	TRA E

Símbolos

logaritmo negativo de Actividad de Hidrogeno	pH
Kilometro	km
Metro	m
Centímetro	cm
Milímetro	mm
Micrómetro	µm
Partes por millón	ppm
Millones de años	Ma

Intrusivos

Depósitos de cobre porfirítico	PCDs
Pórfido cuarzo monzonítico principal	PQM P
Pórfido cuarzo monzonítico Intramineral	PQM I
Pórfido cuarzo monzonítico Tardío	PGD
Pórfido cuarzo dacita	PQD

Rocas sedimentarias

Areniscas	Arn
Limolitas	Lim
Limolitas Calcáreas	Lim cal
Calizas	Clz

Brechas

Brecha cuarzo turmalina	Bx CT
Brecha cuarzo mineral	Bx CM



Brecha cuarzo magnetita	Bx CMg
Brecha hidrotermal	BxH
Brecha tectohidrotermal	BxTH
Minerales	
Actinolita	act
Arcillas	arcs
Arsenopirita	aspy
Azurita	az
Biotita	bt
Bornita	bn
Calcopirita	cp
Calcosina	cc
Covelina	cv
Cuarzo	cz
Clorita	cl
Carbonatos	CBs
Carbonatos de cobre	CBsCu
Cuprita	Cup
Crisocola	crl
Calcita	cal
Caolín	cao
Cobres grises	CGRs
Digenita	dg
Epidota	ep
Esfalerita	sf
Feldespatos	Fspar
Feldespatos potásicos	FpK
Goethita	Goe
Granates	Grns
Galena	gn
Hematita	hm
Hornblenda	hb



Illita	ill
Jarosita	jar
Limonitas	LIMs
Malaquita	mal
Molibdenita	Mb
Magnetita	mgt
Neotocita	Neot
Óxidos de cobre	ÓxCu
Pirita	py
Piroxenos	px
Sulfuros	SULs
Tenorita	ten

Direcciones

Norte	N
Norte – sur	NS
Noroeste	NW
Noreste	NE
Norte noreste	NNE
Este noreste	ENE
Oeste noroeste	WNW
Norte noroeste	NNW
Noroeste oeste	NWW
Sur	S
Sureste	SE
Suroeste	SW
Sur sureste	SSE
Este – oeste	EW

Fallas

Sistema de Fallas Caylloma-Condorama-Mollebamba	C-C-M
Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo	C-L-M



RESUMEN

El depósito Trapiche un sistema de estilo pórfido de Cu-Mo, se encuentra en el Cinturón Andahuaylas-Yauri del sur del Perú, una zona geológicamente anómala atribuida principalmente a la época de la orogénesis Incaica del Eoceno al Oligoceno. Sin embargo las estructuras tectónicas presentes en el distrito, han sido producidas durante las fases tectónicas Peruana e Inca, bajo esfuerzos compresivos NE a ENE, respectivamente; estas estructuras consisten de plegamientos, fallamientos y fracturamientos a escala regional, distrital y local.

El emplazamiento de una serie de pórfidos de composición monzonítica (PQM P y PQM I) así como su posterior mineralización está controlada por un evento compresivo de orientación ENE a escala regional evidenciadas por plegamientos de orientación NNW y tres sistemas principales de fallas cuyas orientaciones son: WNW (sinistral), NE (dextral), E-W (sinistral normal). Los fluidos hidrotermales provenientes del PQM Principal e Intramineral, parecen haber tenido un control estructural regional ENE y NNW, formando venillas-venas de cuarzo-sulfuros y sulfuros, variaciones de los trends de estos sistemas de venillas estuvieron relacionadas en parte a la sobrepresión local de los fluidos.

Este evento compresivo ENE es interpretado como de larga duración desarrollada durante la tectónica Incaica Tardía (Inca III), con rotación del campo de esfuerzos hacia el NE a escala distrital, reactivando el sistema de fallas E-W $\pm 20^\circ$ evidenciado en la formación de la Brecha Pipe y el sistema de fallas NNE (dextral normal), desarrollado en el sector Millucucho. Los diques tardíos se alinean a lo largo de fallas ENE y fallas NNW. La topografía actual está representado por bloques de fallamiento NS a NNE post mineralización de edad Mioceno a reciente; por lo tanto la exploración en los alrededores del depósito Trapiche debe estar orientada en el corredor estructural NW, en la búsqueda de estos aspectos estructurales tales como pliegues, zonas con fuerte deformación por intersección de fallas WNW y NE, fracturas y orientación de venillas.



ABSTRACT

The deposit system Trapiche porphyry style Cu-Mo, is located in the Andahuaylas-Yauri Belt of southern Peru, a geologically anomalous mainly attributed to the time of orogenesis Eocene to Oligocene Inca. However tectonic structures present in the district have been produced during tectonic phases and Inca Peruvian under compressive stresses NE to ENE, respectively, these structures consist of folding, faulting and fracturing at regional, district and local.

The site of a series of porphyry monzonite composition (PQM PQM P and I) and its subsequent mineralization is controlled by a compressive event at regional ENE orientation evidenced by folds NNW orientation and three major fault systems whose orientations are: WNW (sinistral), NE (dextral), EW (sinistral normal). Hydrothermal fluids from the Principal and Intramineral PQM, seem to have had a regional structural control ENE and NNW, forming veinlets, quartz-sulphide veins and sulphides, changes in trends of these systems veins were related in part to the local pressure fluids.

This event is interpreted as compressive ENE long-term tectonics developed during Late Inca (Inca III), with rotation of the stress field to the northeast district scale, the fault system reactivating EW + -20 ° evidenced by the formation of the Breccia Pipe and the NNE fault system (normally dextral) developed Millucucho sector. The late dikes are aligned along faults ENE and NNW faults. The present topography is represented by block faulting NS to NNE post mineralization Miocene to recent; therefore exploration around Trapiche tank must be oriented in the NW structural corridor in search of these structural features such as folds, areas with strong deformation intersection of NW and NE faults, fractures and veinlets orientation.



CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PRESENTACIÓN

El Proyecto Trapiche pertenece a la compañía de Minas Buenaventura SAA, se localiza en el borde sureste del cinturón Andahuaylas – Yauri. Este cinturón está orientado predominantemente al NW, cuyas dimensiones son 300 km de longitud (desde Andahuaylas al NW hasta Yauri al SE) y ancho de 100 a 150 km. aproximadamente, donde se han localizado muchas ocurrencias minerales tipo pórfido Cu, Cu-Mo, Cu-Au, skarns de Cu-Au-Mo y vetas de Cu-Au que albergan importantes prospectos y depósitos minerales tales como Tintaya, Antapacay, Las Bambas, Los Chancas, Cotabambas, Morosayhuas, etc. a lo largo de la cuenca del Mesozoico. Los aspectos tectónicos y estructurales han sido usados predictivamente en exploración; por ejemplo en la provincia de pórfidos de Chile se han reconocido estructuras importantes como la falla de Domeyko que está asociada con varios distritos mineros, tales como Chuquicamata, El Salvador, Escondida, El Abra y otros (Camus 2005). En tanto que en la franja Andahuaylas – Yauri, los depósitos tipo pórfido se emplazan en el batolito Andahuaylas – Yauri, delimitado al SE por el sistema de fallas Condoroma-Cailloma–Mollebamba y al NE por el sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Definición del Problema

En el depósito Trapiche se han cartografiado e identificado una serie de estructuras geológicas como: lineamientos, estratificación, pliegues, fracturas, fallas y venillas; cuya combinación estarían controlando el emplazamiento de varios tipos de intrusiones magmáticas y mineralización tipo pórfido de cobre – molibdeno.



Sin embargo a la fecha no se había realizado un estudio estructural del depósito que nos permita correlacionar aquellas estructuras geológicas que han favorecido la mineralización y por ende nos permita definir aquellos controles estructurales que han sido involucrados en la formación del yacimiento.

1.2.2. Formulación del Problema

Problema principal

¿Cuál es la fase Tectónica generadora de los principales controles estructurales o zonas favorables para el emplazamiento y evolución de los sistemas magmato hidrotermales del pórfido Trapiche?

Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la fase Tectónica más importante que habría generado corredores estructurales con zonas favorables para la mineralización en Trapiche?
- b) ¿Los pórfidos y la Brecha Pipe se habrían formado bajo un mismo régimen de esfuerzos?
- c) ¿Cómo se comporta la roca encajonante frente a los procesos de deformación y mineralización?
- d) ¿Cómo sería el modelo estructural del depósito?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. General

Determinar la fase Tectónica generadora de los principales controles estructurales o zonas favorables para el emplazamiento y evolución de los sistemas magmato hidrotermales que permitieron la ocurrencia de mineralización en el depósito Trapiche.



1.3.2. Específicos

- a) Determinar la fase Tectónica más importante que habría generado corredores estructurales con zonas favorables para la mineralización en Trapiche.
- b) Determinar si los pórfidos y la Brecha Pipe se habrían formado bajo un mismo régimen de esfuerzos.
- c) Determinar el comportamiento de las rocas encajonantes frente a los procesos de deformación y mineralización.
- d) Determinar el modelo estructural del depósito Trapiche.
- e) Cumplir con el requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

1.4. HIPÓTESIS

En el depósito Trapiche las estructuras geológicas generadas durante las fases Tectónicas compresivas Peruana e Inca, controlan el emplazamiento de los cuerpos porfiríticos y el desarrollo de los sistemas de alteración y mineralización.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Con el conocimiento que se tiene hoy en día sobre los yacimientos minerales metálicos, no cabe duda que ellos siempre tengan algún tipo de control estructural. Denominándose así a la influencia que ejercen las estructuras geológicas en los procesos de preparación del terreno, circulación de los fluidos mineralizantes, deposición de la mena y deformación del yacimiento final.

Por lo tanto el análisis de los controles estructurales que se realicen en el depósito Trapiche, nos permitirán generar un modelo estructural aplicable a la exploración de una serie de blancos ó áreas de interés (Targets) lo largo de la provincia metalogenética del Cinturón Andahuaylas - Yauri.



1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

El alcance es transversal y tiene carácter descriptivo y correlacional puesto que se procesó y se hizo un análisis de la data obtenida durante el estudio (2013) y el cartografiado geológico de detalle a escalas 1/5,000 y 1/1,000 realizados en el depósito Trapiche por el equipo de geólogos, de CEDIMIN y Buenaventura, durante las campañas de exploración 2001-2012; así como mapeo regional realizado por Buenaventura y el INGEMMET. Este estudio no incluye análisis químicos e inclusiones fluidas.

1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Tipo de Investigación

CRITERIO	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Objeto de estudio	De Campo
Nivel de medición y análisis de la información	Descriptiva Explicativa Correlacional
Fuente de datos	Primaria Secundaria
Temporalidad	Transversal

1.7.2. Método de trabajo. Comprende las siguientes etapas:

Primera etapa: gabinete I

- Recopilación de información bibliográfica del proyecto y alrededores.
- Análisis e interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas.
- Recopilación de data estructural existente y su correlación con la interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas.



Segunda Etapa: Campo

- Cartografiado de estratos, fracturas, plegamientos, fallas y diques en superficie a escala distrital (1/5,000).
- Mapeo de estratos, diaclasas, zonas de cizalla, pliegues, vetillas, venillas y fallas a escala 1/1,000 que afloran en el depósito.
- Interpretaciones en campo en áreas de interés.
- Logueo de testigos de perforación diamantina realizado en las campañas 2012-2013.

Tercera Etapa: gabinete II

- Confección de planos estructurales, diagramas de rosas, elipsoides de deformación, utilizando los siguientes software: Mapinfo, ArcGis, Dips, Fault Kin y Auto CAD.
- Análisis e interpretación estructural a escala distrital y local.
- Redacción del informe final.

1.8. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área de estudio se ubica en el paraje Ccanccahuane, que pertenece a la CC. Mollebamba, distrito Juan Espinoza Medrano, provincia de Antabamba y departamento de Apurímac (Figuras 1.1 y 1.2). La propiedad minera adjudicada al proyecto Trapiche cubre un área aproximada de 29,800 Has; siendo sus coordenadas centrales UTM en zona 18 y con Datum PSAD 56 del yacimiento las siguientes: UTM: Norte. 8, 396,600 y Este. 729,180.

El acceso es el siguiente:

VIA	Km.	TIEMPO	ESTADO
Lima – Desvío. Caraybamba	819	13 h 30'	Carretera asfaltada
Desvío Caraybamba – Proyecto Trapiche	88	3 h 15'	Carretera afirmada
TOTAL	907	16 h 30'	
Lima – Cuzco		1 h	Vía aérea
Cuzco – Desvío. Caraybamba	330	6 h	Carretera asfaltada
Desvío Caraybamba – Proyecto Trapiche	88	3 h 15'	Carretera afirmada
TOTAL	418	10h 15'	

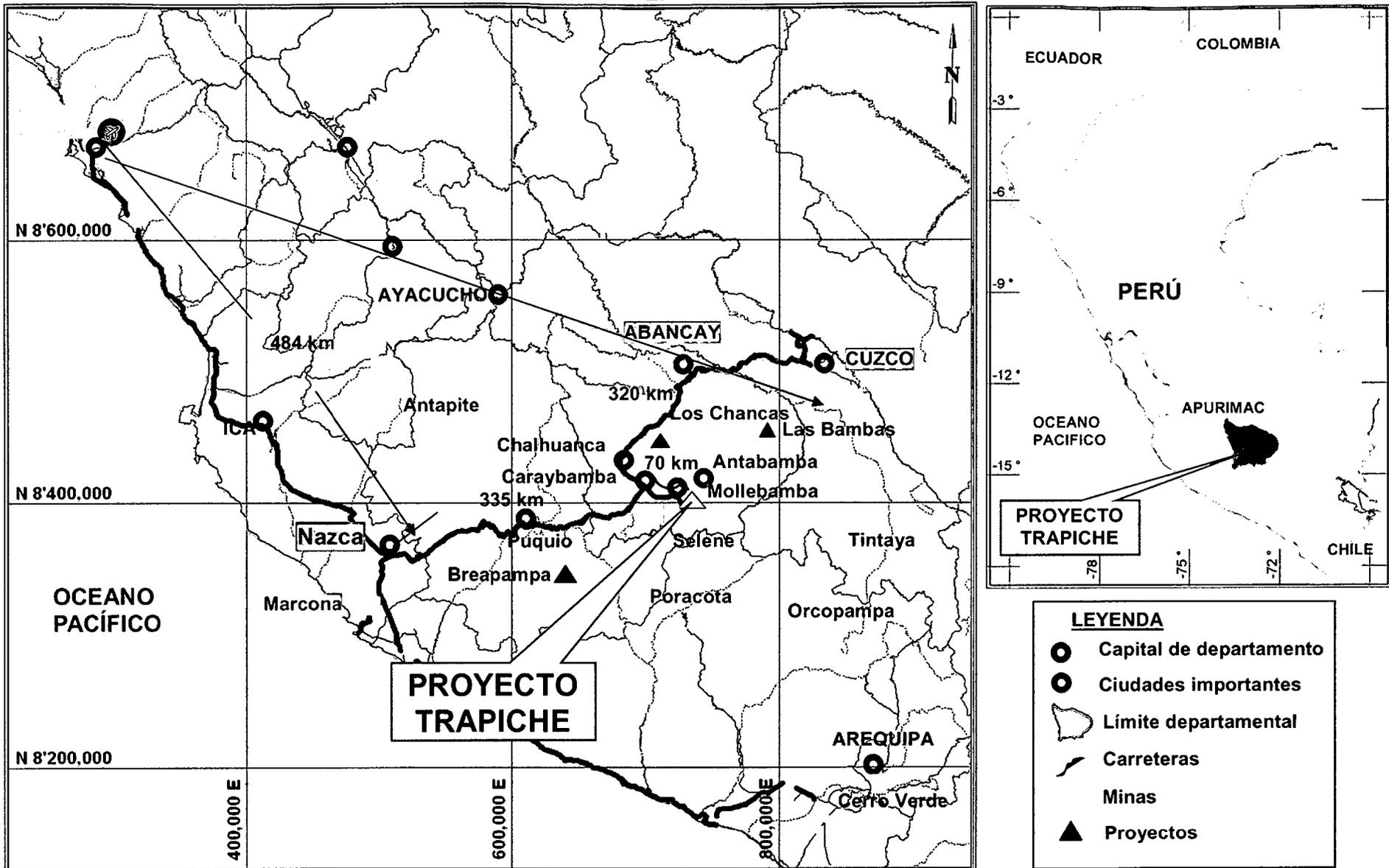
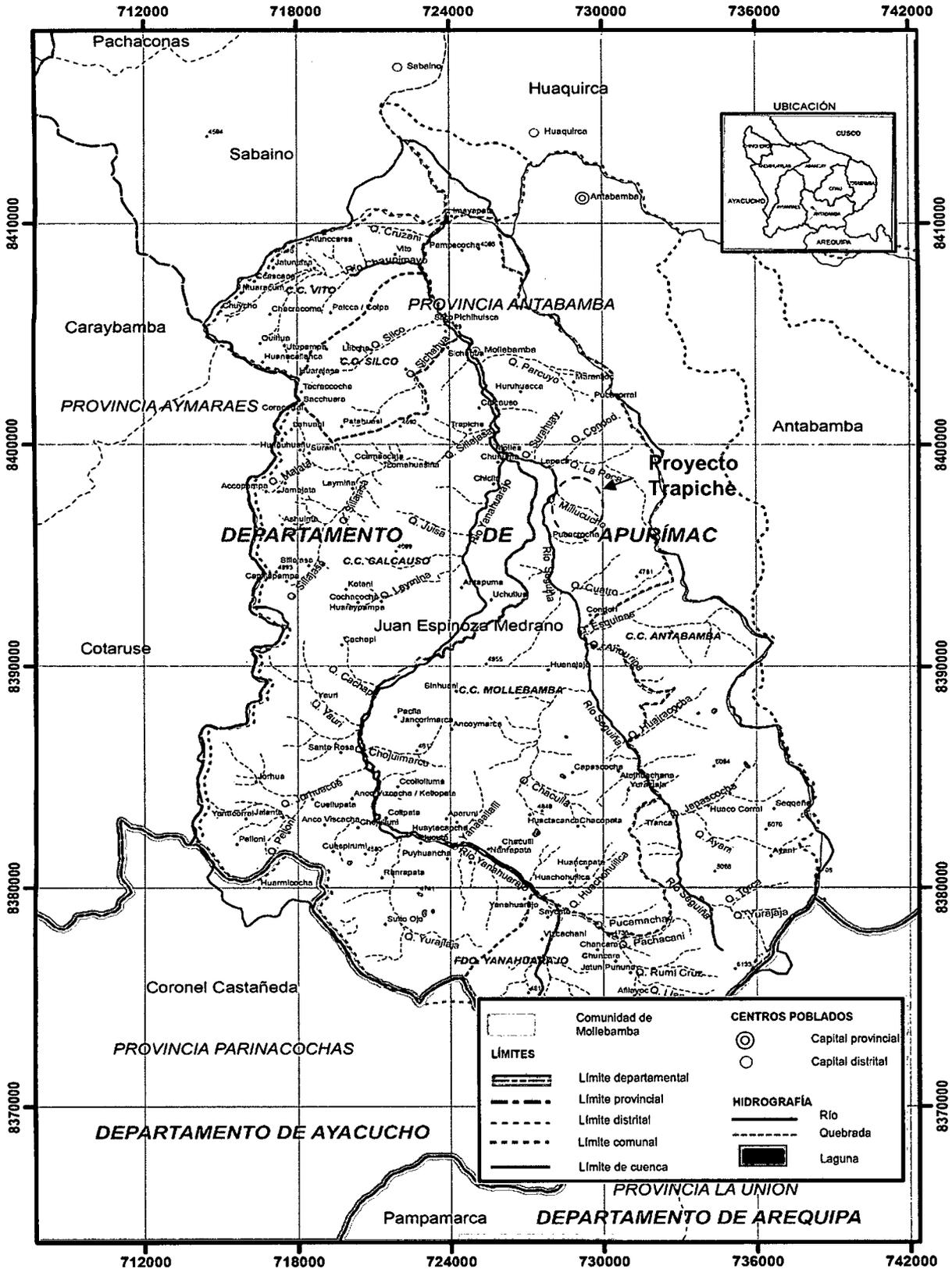


Figura 1.1. Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente Dpto. de Geología Trapiche.



Tomado del Dpto. Geología Trapiche



1.9. ASPECTOS FISIOGRAFICOS Y GEOMORFOLOGICOS

1.9.1. Base topográfica

Compañía de Minas Buenaventura en una primera etapa utilizó distintas cartas y escalas para sus trabajos de exploración, de acuerdo al nivel de detalle requerido, que sirvieron para elaborar folios a escalas 1/5,000 y 1/2,000. Posteriormente se realizaron levantamientos aerofotográficos con vuelo bajo cubriendo un área de 2,100 has y chequeo de 11 puntos de control terrestre, con curvas cada 1.00 m. a escala 1/1,000 y levantamiento aerofotográfico con vuelo alto escala 1/ 20,000 de 44,800 has, para confeccionar planos a escala 1/2,000; en los sistemas geográficos WGS 84 y PSAD 56, estos levantamientos permitieron actualizar la topografía existente y diversos componentes del proyecto.

1.9.2. Geomorfología

Según Pecho, V. (1981) dentro del área de estudio se pueden distinguir tres unidades geomorfológicas:

Altas cumbres.- Corresponde a las partes de mayor altitud, formada por cadenas de montañas que siguen la orientación andina y cuyas altitudes están superiores a 4,500 msnm.

Altiplanicies.- Esta caracterizada por una gran superficie de erosión, es la más importante y de mayor extensión, la morfología es suave y se encuentran entre 4,200 a 4,500 msnm.

Valles Interandinos.- Caracterizado por la presencia de valles profundos y encañonados por donde discurren los principales ríos que drenan la región. El valle de Mollebamba está controlado por fallas regionales.

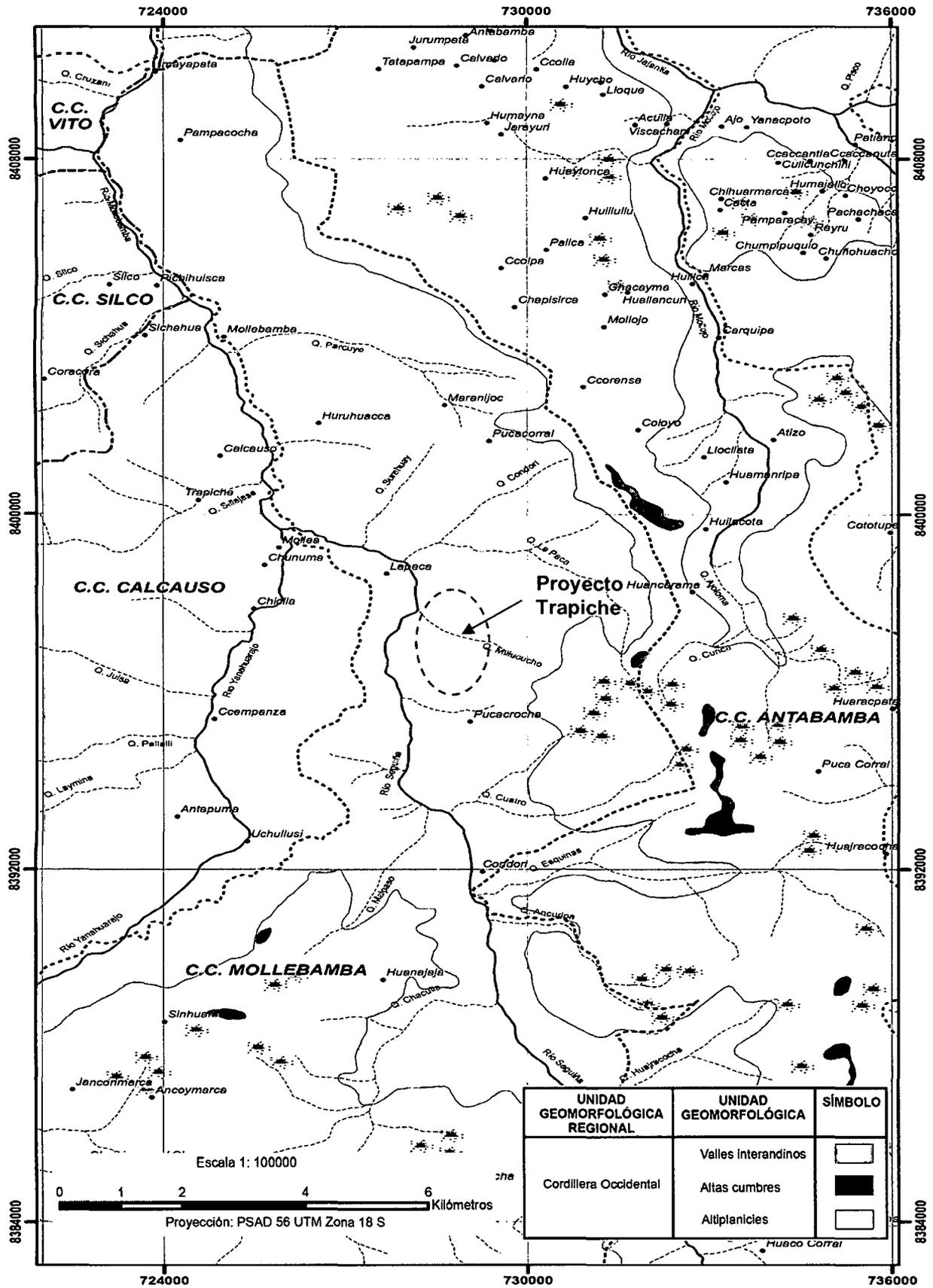


Figura 1.3. Principales unidades geomorfológicas. Tomado del Dpto. Geología Trapiche.



1.9.3. Características climáticas

La región estudiada como la mayor parte de los Andes peruanos posee un clima variable el cual está caracterizado por la alternancia de una estación de lluvias comprendida entre los meses de diciembre a marzo y una estación seca que se prolonga la mayor parte del año comprendida entre los meses de abril a noviembre.

Según la clasificación climática de Köppen-Geiger (2006) en el área se identifican los siguientes tipos de climas elaborados por Tosi, A. (1960) citado por Pecho, V. (1981):

Clima Templado Moderado Lluvioso (Cw)

Diferencia dos subtipos dentro de esta clasificación, el de Estepa Espinosa Montano Bajo (2100 msnm) y el de Estepa Montano (3 000 a 3 500 msnm). El primero correspondería a las partes más bajas de los valles de mayor profundidad y el segundo a los áreas de moderada gradiente, como son las partes intermedias de los principales valles. Las temperaturas máximas que se registran están entre 22 °C y 29 °C y se producen entre los meses de enero y marzo y las mínimas fluctúan entre 10 °C y 8 °C en los meses de mayo a agosto.

Clima Frío Boreal (Dwb)

El clima entre los 3,800 m. y los 4,600 msnm se denomina piso Sub Alpino, este piso está representado, en el área de estudio por las altas vertientes y mesetas andinas o zonas de puna. El clima de esta zona varía de templado a frío, siendo a mayor altura más frío, con temperatura media anual comprendida entre 7 °C a 10 °C. La temperatura máxima absoluta es superior a 20 °C y la mínima absoluta es inferior a 0° C principalmente entre Junio y Agosto.



Clima de Tundra Seca de Alta Montaña (Eth)

Este clima se presenta por encima de los 4 600 msnm y es denominado Piso Nival. Se caracteriza por presentar un frío intenso, principalmente durante las noches en que las precipitaciones son continuas; en el día la insolación es fuerte registrando temperaturas más altas al medio día. El contenido del oxígeno en el medio ambiente es bajo, lo que origina gran sequedad en el ambiente.

1.9.4. Red hidrográfica

El drenaje es subparalelo y dendrítico característico de controles estructurales, El Río principal en el área de estudio es el río Seguíña que discurre en dirección sur-norte y seteado al borde oeste del proyecto, que en unión con el Río Yanahuarajo forma el Río Mollebamba el cual se une aguas abajo con el Río Antabamba para formar el Río Chalhuanca perteneciente a la cuenca del Río Amazonas (Lámina 1). Este río y sus afluentes se caracterizan por ser de régimen permanente y seguir una dirección fluvial promedio noroeste, tienen sus nacientes en la cuenca de captación fluvial de la Cordillera de Huanzo ubicada al sur del área de estudio y que viene a ser el eje de la divisoria hidrográfica que separa las cuencas del Pacífico y la del Atlántico.

1.9.5. Flora y fauna

En el área de estudio se pueden apreciar una gran variedad de árboles, arbustos y gramíneas, pudiéndose mencionar al eucalipto, molle, tuna en las partes bajas, chachacoma, tola, ichu, etc. en las parte altas. La fauna es variada, podemos citar al venado gris, taruca, zorro, pumas, vizcacha, guanaco, perdices, cóndores, gavián, picaflor etc.



1.10. DEMOGRAFIA Y COMUNIDADES

El área del Proyecto Trapiche está incluida dentro de la comunidad de Mollebamba perteneciente a la provincia de Antabamba, esta comunidad posee una población de 350 habitantes. Las principales actividades económicas de la zona son la agricultura, ganadería. La agricultura es la principal actividad económica y constituye la base de la economía de la región, casi la totalidad de la producción agrícola está destinada al sustento de las necesidades alimentarias de las familias desarrollándose bajo sistemas tradicionales de cultivo.

La ganadería es una actividad complementaria a la agricultura, en las zonas altas se destaca la crianza de auquénidos (alpacas y llamas) seguido de ovinos, vacunos y equinos, en la actualidad constituye una fuente importante de ingresos para los pobladores de la zona.



CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

En el año 1995 es ofrecido por terceros una veta de Cu-Au a la Compañía de Exploraciones Desarrollo e Inversiones Mineras (CEDIMIN); entre 1995 a 1999 CEDIMIN adquiere la propiedad y realiza algunas campañas cortas de revisión geológica y muestreo de Stream Sediment con el objetivo de encontrar más estructuras y cuerpos mineralizados, delineándose una anomalía por Cu-Mo en las quebradas Millucucho y Trapiche.

Seguidamente en los años 2,000, el proyecto es visitado por el Ing. F. Llosa T. y el Ing. J. Veliz M. quienes recomiendan mantener la propiedad y realizar trabajos de exploración detallada. En el año 2001 al mando del Ing. F. Llosa se inicia trabajos de cartografiado geológico detallado, ejecución y muestreo de trincheras en el cerro Trapiche, descubriéndose un cuerpo de Brecha Pipe de 800 m de largo y 500 m de ancho, con valores anómalos de Molibdeno en superficie (40 – 1000 ppm), el cobre es bajo (lixiviado); este cuerpo de brecha fue objeto de perforación diamantina (2,192.95 m.l) con resultados muy favorables que impulsaron a continuar las exploraciones.

En el año 2002, las exploraciones superficiales tuvo como objetivos principales, el cartografiado detallado de los Sectores Millucucho y Aycho, realizar el cartografiado regional de las propiedades mineras de CEDIMIN SAC, con el fin de ubicar nuevos targets que permitan incrementar los recursos minerales en el área, así mismo, se ejecutó la prospección Geofísica en el Cerro Millucucho y en el sector Trapiche.



La ejecución y muestreo de trincheras en el Sector Millucucho tuvo resultados favorables determinándose un área 400 x 200 m con promedios de 0.9% Cu, 65 ppm Mo y 10 ppb Au, ligados a un skarn qz – mgt y GRNs – ep – Cl; del mismo modo en el Sector Aycho se han determinado pequeños cuerpos de skarn (roof pendants) con valores económicos que están en el orden de 0.9% Cu, 184 ppm Mo y 40 ppb Au.

Durante los años 2003 y 2004, las exploraciones quedaron paralizadas, se ofrece a terceros. En el año 2005, Trapiche es adquirido por la Cía. de Minas Buenaventura SAA, realizándose la cartografía detallada y muestreo geoquímico del skarn Millucucho, así como 3,789 m.l de perforación diamantina (Brecha Pipe y Skarn Millucucho), prospección geofísica IP (31 km) y magnetometría (18 km). A partir del año 2006 a la fecha continúan las exploraciones con el fin de incrementar y definir los recursos geológicos en Cu –Mo con valor económico.

2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS GEOLOGICOS

SISTEMAS PORFIRÍTICOS DE COBRE

Los sistemas porfiríticos constituyen un grupo variado de depósitos minerales con una amplia diversidad de características, son depósitos grandes de baja ley y gran tonelaje. Los sistemas porfiríticos son denominados de esta manera debido a que están asociados con rocas ígneas intrusivas con fenocristales de feldespatos en una masa fundamental cristalina de grano fino (Maksaev, 2004), están relacionados genéticamente y espacialmente con intrusiones ígneas félsicas, por lo general múltiples cuerpos de rocas intrusivas emplazadas en varios pulsos y frecuentemente asociados con enjambres de diques y brechas. Los intrusivos como la roca de caja muestran típicamente un fracturamiento intenso y pervasivo, la mineralización y alteración se presenta tanto en los intrusivos como en la roca caja. Su ocurrencia está relacionada a un



ambiente tectónomagmático constituido por arcos volcanoplutónicos calcoalcalinos de tipo arco-isla o margen continental activo relacionados con fenómenos de subducción (Oyarzun y Frutos, 1974; Sawkins, 1984).

2.2.1. Fases intrusivas

Estos complejos intrusivos forman cuerpos epizonales, subvolcánicos, sill y stocks, con morfologías y tamaños variables. Son rocas calcoalcalinos, metaluminosas, altamente oxidadas, tipo "I" de la serie de magnetita con textura porfídica y casi siempre contienen anfíbola, biotita, plagioclasa, magnetita, cuarzo y feldespato-K. La profundidad de emplazamiento: 1.5 a 2.5 km con tamaños de los stocks de 2 a 200 km², en promedio 26 km², su alteración y mineralización puede extenderse desde 0.5 a 4 km², en promedio 2 km².

La terminología aplicada para las distintas fases intrusivas ha sido asignada según la clasificación de las etapas de intrusión relacionada a pórfidos de Cu-Mo (R. H. Sillitoe, 1987; F. Rivera, 2007) y se detalla a continuación:

Intrusivo Precursor

Plutón generalmente equigranular, comúnmente actúa como la roca caja del sistema. No trae consigo mineralización (intrusivo sin fluido hidrotermal); ocasionalmente presenta aisladas vetillas de cuarzo y aplitas. En el pórfido Trapiche el intrusivo precursor es el Stock Granodiorítico. En otros pórfidos (Ej. Tintaya, Antapacay, etc.) están constituidos por diorita y tonalita.

Pórfido Principal

Es el intrusivo portador de la mineralización. Presenta fuerte alteración, principalmente potásica y comúnmente exhibe alta ley (~ 0.3 – 1.0 % Cu). Ejemplo: Latita porfirítica de Cuajone, Monzonita



porfirítica en Quellaveco, Pórfido Cuarzo Monzonítico Principal en Trapiche.

Pórfido Intramineral

Exhibe moderada a débil alteración y mineralización. Comúnmente presenta leyes de 0.1 ~ 0.3% Cu en el sistema. Ejemplo: Pórfido Dacita de Cañariaco, Pórfido Latita estéril en Cuajone, Pórfido Cuarzo Monzonítico Intramineral en Trapiche.

Pórfido Tardímineral

Presenta débil a moderada alteración y mineralización, asociado normalmente a alteración propilítica y débil potásica, genera < 0.1 % Cu en el sistema. Ejemplo: Latita porfirítica-tercer pulso de Cuajone, Pórfido diorita de biotita-cuarzo en Cañariaco, PQF tardío en Minas Conga, PGM (Pórfido cuarzo monzonítico granular) en Quechua, pórfidos PGD y PQD en Trapiche.

Intrusivo Postmineral

Se trata de la última manifestación intrusiva en el sistema, el cual consiste de pequeños cuerpos y diques con alteración propilítica y argilica supérgena conteniendo porcentajes menores de pirita. Este intrusivo corta a todas las unidades ígneas descritas anteriormente. Ejemplo: Microgranitos Cerro Verde y diques de dacita – andesita en Trapiche.

2.2.2. Alteraciones hidrotermales y mineralización en los pórfidos

Se entiende como proceso de alteración hidrotermal al intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal-roca. Esta interacción conlleva cambios químicos y mineralógicos en la roca afectada producto del desequilibrio termodinámico entre ambas fases. Por lo tanto la alteración hidrotermal puede ser definida como la conversión de una



asociación mineral original en una nueva asociación mineral que es más estable bajo las nuevas condiciones de presión y temperatura y sobre todo con respecto a la composición de un fluido hidrotermal que atraviesa la roca, las texturas y estructuras originales pueden estar ligeramente o completamente modificadas. Fontboté, L., (1998).

Los procesos de alteración hidrotermal y mineralización de los sistemas porfiríticos de Cu de los Andes de Perú y Chile han sido bien descritos por Camus, F., (2003) quien resume estos procesos en las siguientes etapas:

Etapa Tardimagmática

Llamada también potásica está asociada al emplazamiento de intrusivos portadores de la mineralización de cobre y oro de los sistemas porfiríticos (Gustafson y Hunt, 1975; Sillitoe, 1989). Se produce en condiciones de equilibrio con el magma fuente bajo condiciones de temperaturas superiores a 300 °C a partir de fluidos altamente salinos, con altas razones de K^+ / H^+ y en un régimen de alta fugacidad de oxígeno y actividad de azufre (Beane y Titley, 1981).

La paragénesis que caracteriza a la **alteración potásica** son feldespato potásico, biotita y anhidrita, que reemplaza a los feldespatos minerales máficos y rellena vetillas tipo EB y A (Gustafson y Hunt, 1975). Ocasionalmente con rutilo y magnetita. La bornita y calcopirita son los principales minerales responsables de fijar el cobre. Contemporáneo a la alteración potásica, se desarrolla hacia sus márgenes una fase de menor temperatura que constituye un halo externo denominado **alteración propilítica** constituida por clorita, epidota, carbonato y pirita. Ocasionalmente albita, magnetita y hematita especular. Generalmente define los límites externos de los sistemas porfiríticos.



Cuando los fluidos asociados a la alteración potásica entran en contacto con rocas carbonatadas, las reacciones químicas producidas desarrollan en los contactos rocas corneanas o skarn con asociaciones mineralógicas del tipo prógrado con granate clinopiroxenos y magnetita (Camus, 2003).

Etapa Transicional

Constituye una fase de alteración intermedia entre la etapa tardimagmática y las etapas hidrotermales posteriores (Gustafson y Hunt, 1975). Ocurre al cristalizar los intrusivos consecuentemente las condiciones de presión y temperatura han disminuido. En esta etapa se observan las primeras evidencias de efectos retrógrados causados por el descenso de la temperatura y la incorporación de flujos de agua meteóricas al sistema (Camus; 2003).

Durante esta etapa hay introducción de cobre pero es la mineralización de molibdeno la que pasa a ser importante, principalmente en las venillas de cuarzo tipo B. Esta etapa está caracterizada por presentar una brusca caída en la temperatura y presión lo que contribuye con la depositación de sílice, ya que su solubilidad decrece a casi cero bajo los 250 °C. En los pórfidos de oro, la etapa transicional descrita no ha sido evidenciada. En cambio en casi todos ellos se reconoce una etapa tipo hidrotermal conocida como **alteración argílica intermedia**, la cual se sobrepone a la alteración potásica. Esta alteración incluye sericita, clorita, arcillas (illita-esmectita) y calcita.

Etapa hidrotermal principal

Es conocida también como **alteración Fílica ó cuarzo-sericítica**, se desarrolla en la medida en que los fluidos hidrotermales migran desde el magma fuente y comienzan a enfriarse bajo condiciones de alta actividad de S₂, baja fugacidad de O₂ y baja razón K + /H + comparada con las etapas anteriores. Bajo



estas condiciones la textura original de la roca afectada es destruida casi por completo (Camus, 2003). La paragénesis está caracterizada por la asociación de cuarzo, sericita, pirita con proporciones menores de calcopirita, bornita, enargita, esfalerita y galena. En forma local se presenta anhidrita, turmalina y rara vez carbonatos (Camus, 2003).

Su origen se asocia a procesos físicos y químicos relacionados con la separación por enfriamiento, a partir de fluidos generados en condiciones supercríticas de dos fases líquida y vapor, que producen aumento de volumen con el incremento en el fracturamiento y la formación de chimeneas de brecha. (Tosdal y Richards, 2001). Durante esta fase además se incorpora mineralización de cobre aunque en un volumen relativamente menor comparado con lo que se introduce durante las fases tempranas precedentes. Sin embargo el cuarzo con la pirita, se localiza en venillas tipo “D” (Gustafson y Hunt, 1975).

En los depósitos que presentan desarrollo de skarn la alteración hidrotermal principal se presenta como una fase de tipo retrógrada con minerales hidratados como actinolita además de cuarzo, magnetita, carbonatos, clorita, epidota y pirita (Camus, 2003).

Etapa Hidrotermal tardía

Es la última fase de alteración hidrotermal que afecta a los sistemas porfíricos y se la conoce como alteración **argílica avanzada** Sillitoe (1995) reconoció que las zonas de alteración argílica avanzada forman recubrimientos de rocas alteradas o “lithocaps” sobre los sistemas porfíricos a lo largo de distintos distritos mineros en el mundo y representa la expresión superficial de los pórfidos de cobre, oro molibdeno y estaño. Esta alteración está compuesta típicamente por cuarzo calcedónico, alunita



cristalizada la que grada lateralmente a caolinita, dickita, sericita, pirofilita y diásporo (Sillitoe, 1995). La fase hidrotermal tardía se produce por la acción de fluidos muy ácidos y relativamente oxidados y rocas ubicadas en el ambiente subvolcánico (Sillitoe, 1995).

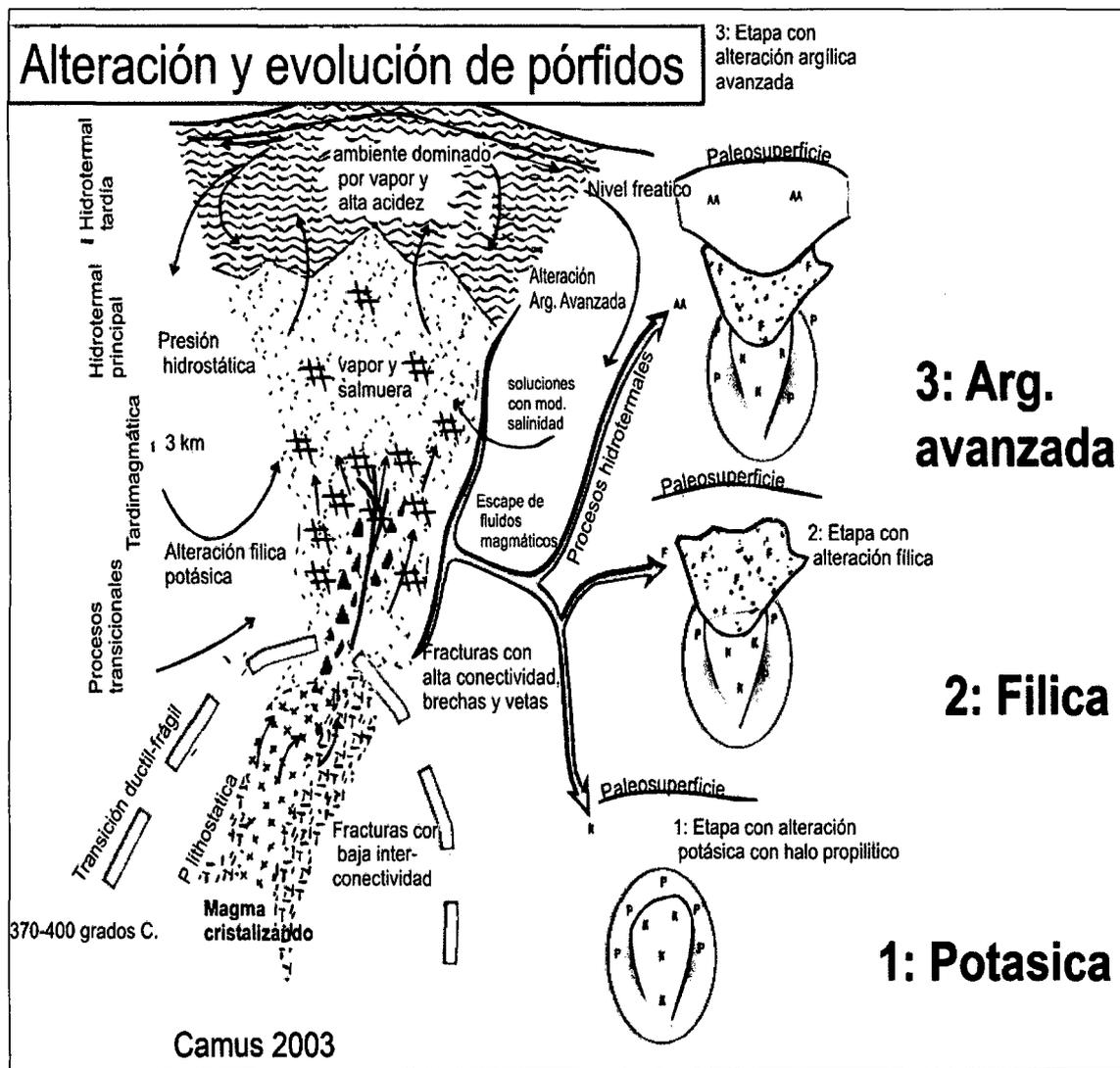


Figura 2.1. Modelo esquemático de un sistema tipo pórfido andino donde el techo del intrusivo aparece ubicado a profundidades entre 1 y 3 km. se muestra la transición dúctil/frágil que marca el límite entre el ambiente donde predominan condiciones de presión litostática y aquel donde las condiciones de Presión son hidrostáticas. Además se indican las tres principales etapas de alteración hidrotermal; basada en los trabajos de Burnham (1979); Burnham y Ohmoto(1980) y Fournier (1999).

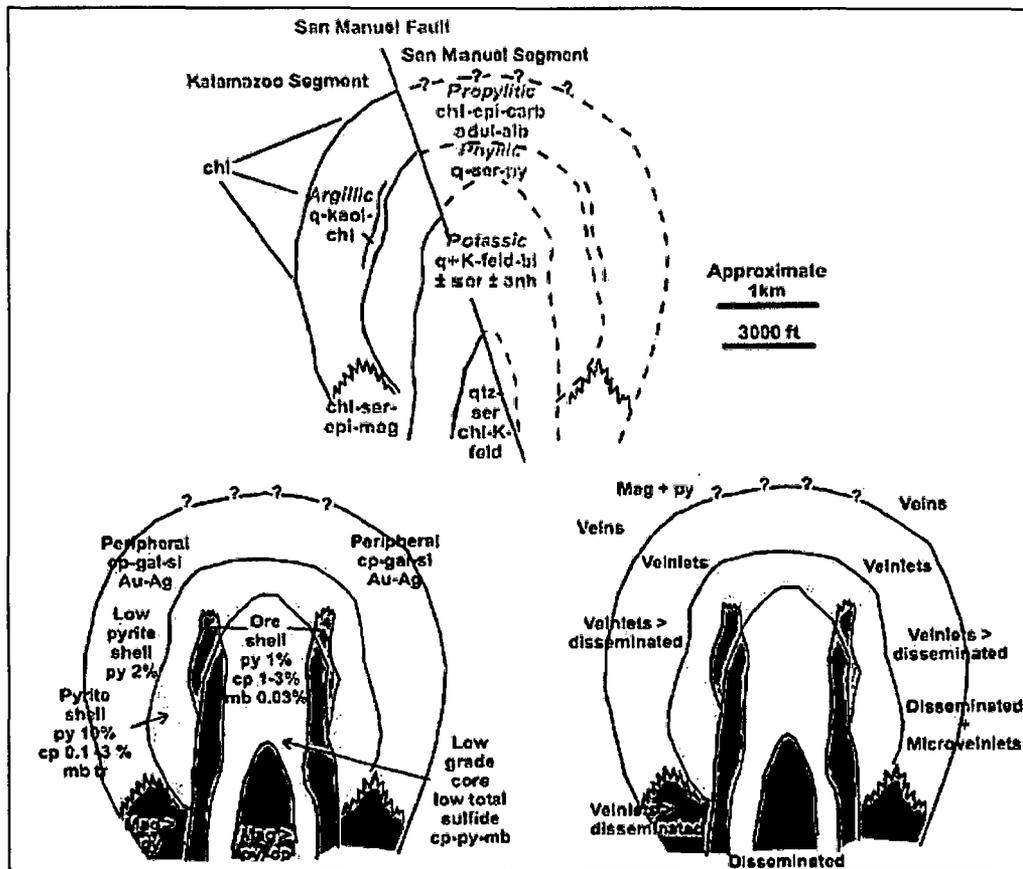
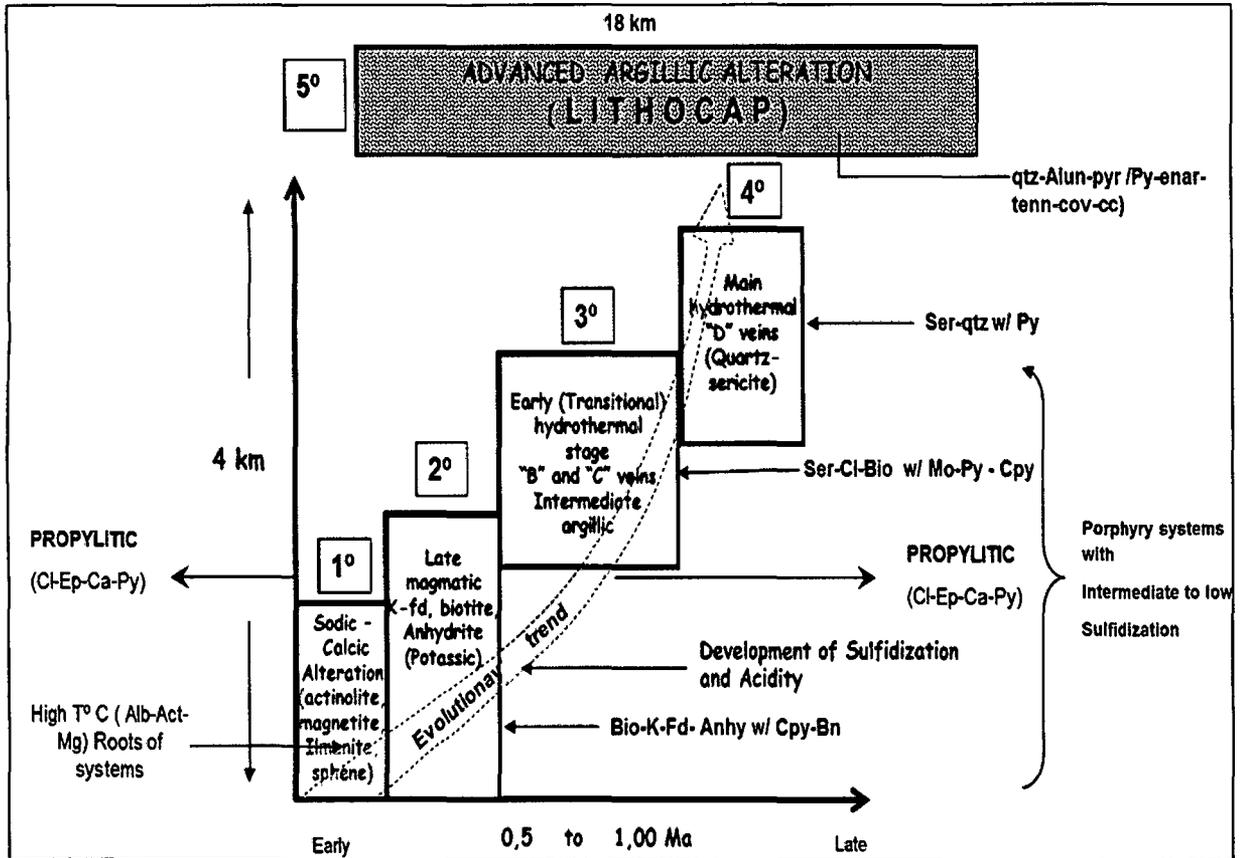
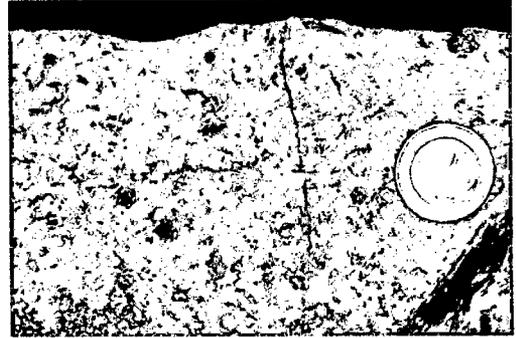


Figura 2.2. Arriba. Evolución de los procesos de alteración y mineralización en los pórfidos (Camus 2003). Abajo. Zonación de alteración y mineralización (Lowell & Gilbert, 1970).



Vetilla “EB”. Consiste de biotitas secundaria con proporciones variables de albita, feldespato K, clorita, actinolita, anhidrita y sericita verde. Suelen ser anteriores a las vetillas “A”. Producida en la etapa hidrotermal tardimagmática y restringida al emplazamiento del pórfido temprano formador del sistema (ejem. Puquio, Perú).



Vetilla “A”. Vetillas tempranas de cuarzo, discontinuas, sinuosas, de forma agusanada y no tienen halos de alteración. Se les encuentra con feldespato K, anhidrita, calcopirita y bornita. Producida también en la etapa tardimagmática (ejem. Quebrada Blanca, Chile).



Vetilla “B”. Continuas, paralelas y normalmente con algún bandeamiento interno, cuya característica distintiva es la sutura central de sulfuros y delgados halos de sericita-anhidrita. Producida en la etapa transicional y relacionada principalmente con la introducción de molibdenita en el sistema (ejem. Toquepala, Perú).



Vetilla “D”. Vetillas continuas y planares con halos compuestos por sericita, que cortan a las vetillas de cuarzo “A” y “B”. En los sulfuros domina la pirita, con calcopirita, bornita, enargita, tennantita, esfalerita y galena. Localmente contiene anhidrita, turmalina y ocasionalmente carbonatos. Producida en la etapa hidrotermal principal (ejem. Proyecto Teck Cominco, Perú).

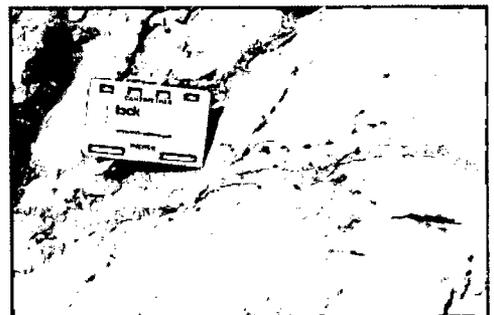


Figura 2.3. Clasificación de vetillas asociadas a sistemas porfiríticos Cu-Mo, recopilado de Gustafson & Hunt (1975) y Camus (2003)

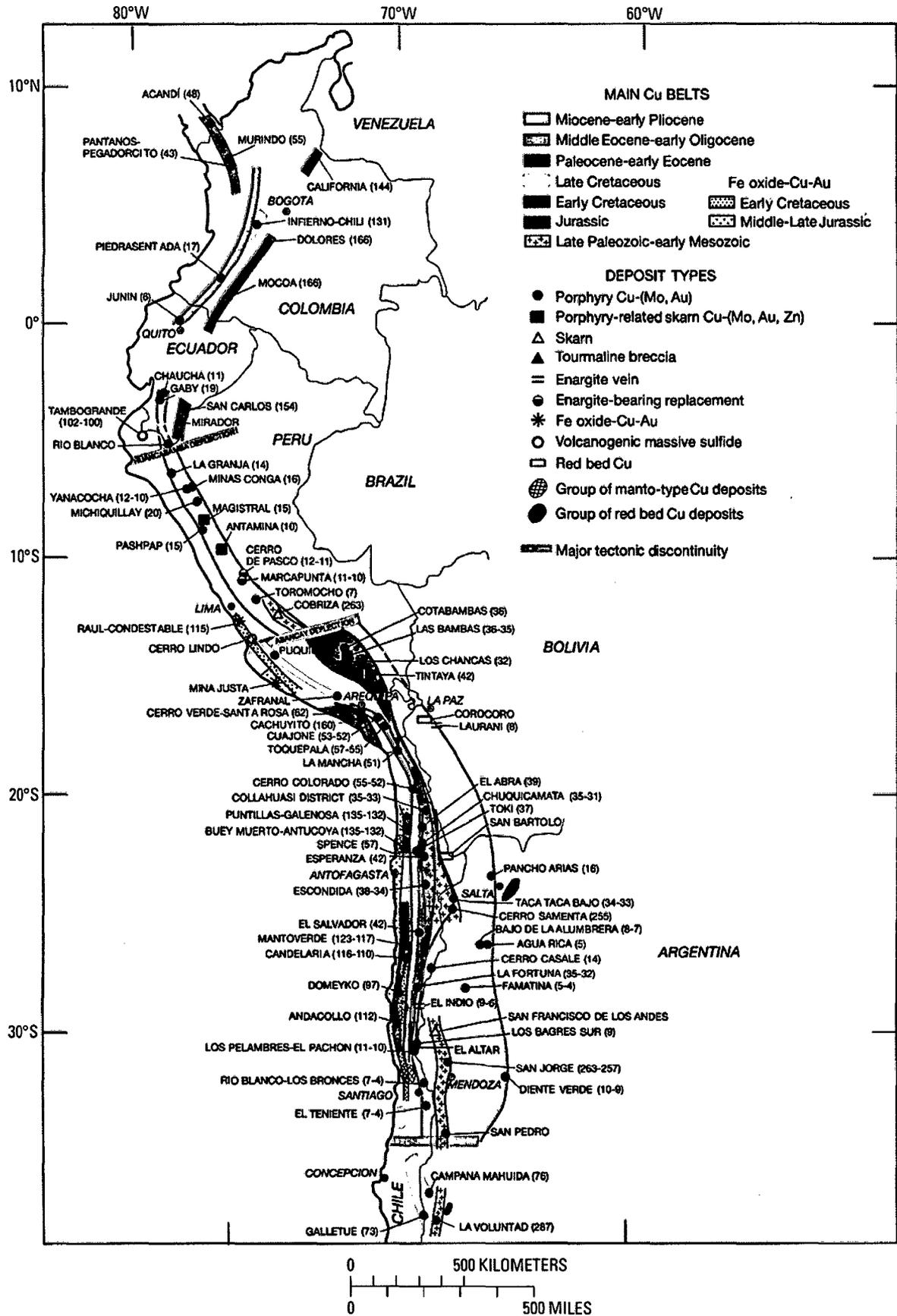


Figura 2.4. Principales franjas de pórfidos de cobre en los andes según Sillitoe y Perello 2005.



2.3. REVISIÓN DE CONCEPTOS ESTRUCTURALES FUNDAMENTALES

2.3.1. Estructuras tectónicas

Son aquellas estructuras generadas por procesos de deformación tectónicas (endógenos) y son los siguientes:

Lineamiento: Rasgo lineal, con uno o varios segmentos rectos o ligeramente curvos, identificado en una imagen de satélite, aerofotos, mapas topográficos o geofísicos; los grandes lineamientos son interpretados como la expresión superficial de antiguas estructuras corticales profundas o trans-litosféricas. Aunque por su tamaño, muchas veces es difícil apreciarlos en el campo, es conveniente intentar confirmar su carácter, antes de su tratamiento. En general, solo se dispone del rumbo y longitud de los segmentos. (Macharé, O. J. 2001).

Fractura: Discontinuidad plana en una roca producida por un mecanismo de ruptura frágil asociado a un estado de esfuerzos local dado. Existen prácticamente en todas las escalas. En el campo se mide, en general, su rumbo y buzamiento. Se podría también anotar su longitud observada y si tiene signos de abertura, por ejemplo algún relleno mineral (cuarzo, calcita).

Falla: Fractura frágil a lo largo del cual existe desplazamiento visible, en general paralelo a la superficie de la misma. De acuerdo al sentido de movimiento, pueden ser normales, inversas y transcurrentes.

Fallas transcurrentes ó de rumbo: Son aquellas que adoptan un movimiento horizontal de los bloques adyacentes. Pueden ser de dos tipos: dextrales y sinistralas.

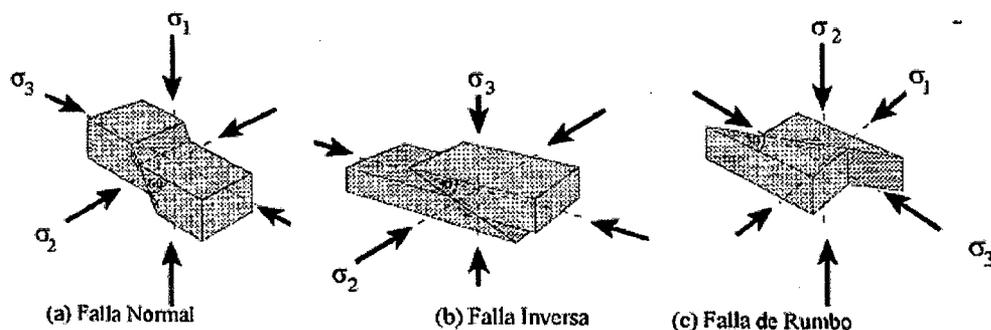


Figura. 2.5. Tipos de falla y su orientación respecto de los ejes principales de estrés (Modificado de Twiss & Moores, 1992).

Zona de Falla: Esta compuesta de innumerables superficies de falla frágiles subparalelas é interconectadas, estrechamente espaciadas conteniendo zonas de brecha ó “fault gouge” (harina de falla en español).

Zona de Cizalla: Corresponde a una ancha zona de deformación generada bajo condiciones dúctiles a dúctiles-frágiles. Se puede decir que una zona de cizalla grada hacia arriba hacia una zona de falla. Estas rocas son deformadas frágilmente en niveles superiores de la corteza terrestre y dúctilmente en los inferiores. La profundidad a la que la deformación pasa de frágil a dúctil se conoce como Zona de Transición dúctil a frágil, generalmente se encuentra bajo 10 a 15 km (Sibson, 1990).

Esfuerzo (σ): Cuando una Fuerza (F) se aplica sobre un plano de superficie S , genera una Presión (P). Entonces: $P = F/S$. El esfuerzo es el límite de dicha Presión cuando la superficie se hace pequeña. Entonces: σ (Pascal) = dF (Newton)/ dS (m^2).

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

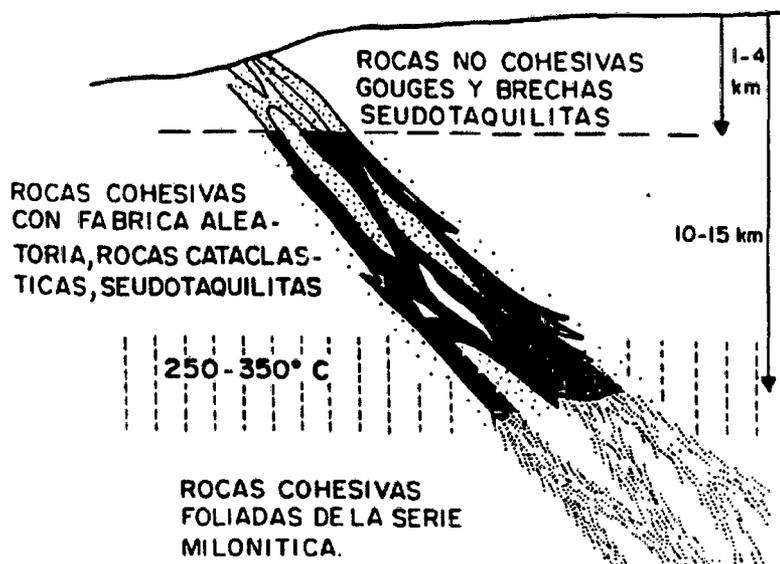


Figura 2.6. Esquema de una gran zona de cizalla y rocas asociadas. Transición dúctil-frágil en líneas verticales. Simplificada de Sibson (1977).

Deformación: Es la transformación de un cuerpo desde un estado inicial hasta un estado final diferente. Sus componentes son: La traslación, la rotación y la deformación interna.

La deformación continúa hasta que el cuerpo llega a su punto de ruptura (R). Al igual que el esfuerzo, la deformación en el espacio es una cantidad tensorial, cuyos componentes principales son:

X: eje de alargamiento

Y: eje intermedio

Z: eje de acortamiento

El Elipsoide de Deformación: Es una representación ideal de la Deformación Continua (strain) de una porción de la materia. Su forma trata de graficar las relaciones angulares entre estructuras, tales como: ejes de pliegues, fracturas de tensión y fallas respecto a los esfuerzos aplicados “Desde Afuera” y que originan una zona de cizalla (shear zone). Su aplicación sencilla, mediante el análisis adecuado de los datos de campo nos puede llevar a encontrar coincidencias con algún modelo de Deformación.

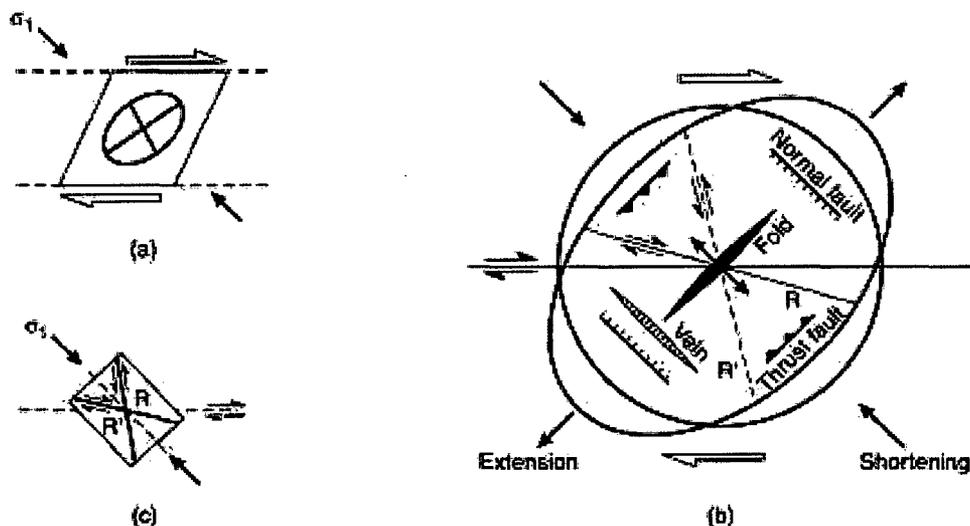


Figura 2.7. Modelo de deformación explicando el origen de estructuras secundarias a lo largo de una falla de rumbo. (a) ilustración de una cizalla simple dextral. Un cuadrado se transforma en un paralelogramo, y el círculo dentro del cuadrado se transforma en una elipse. (b) Detalle de la elipse deformada mostrando que, pliegues y fallas inversas son perpendiculares a la dirección de acortamiento, mientras que fallas normales y venillas son perpendiculares a la dirección de extensión. Las fracturas R y R' se forman en ángulo agudo a la dirección de acortamiento. (c) R y R' son similares a fracturas de cizalla conjugada formadas en rocas cilíndricas que están sujetos a un eje tensional.

Características internas de las zonas de cizalla (Modelo Riedel):

Existen tres tipos de fracturas que pueden desarrollarse en una zona de falla frágil: los planos de Riedel (R) y los planos P:

R1 = R: Son fracturas Riedel de bajo ángulo ($<15^\circ$) con la envolvente de la zona de falla, también se conocen como planos de fractura sintéticos. Su arreglo geométrico es en échelon (escalonadas), es decir paralelas entre ellas dentro de la zona de cizalla.

R2 = R': Son conjugadas respecto a R1 y forman un ángulo de 75° con respecto a la envolvente de la zona de falla. También se conocen como planos de fractura antitéticos. Debido a la evolución dinámica de la zona de falla se producen fenómenos de rotación de las fracturas R1 y R2. Los R1 varían a ángulos inferiores a 15° , y los R2 evolucionan a ángulos mayores a 75° . Durante esta evolución aparece un tercer tipo de fracturas: P = Forman un ángulo agudo con la envolvente.

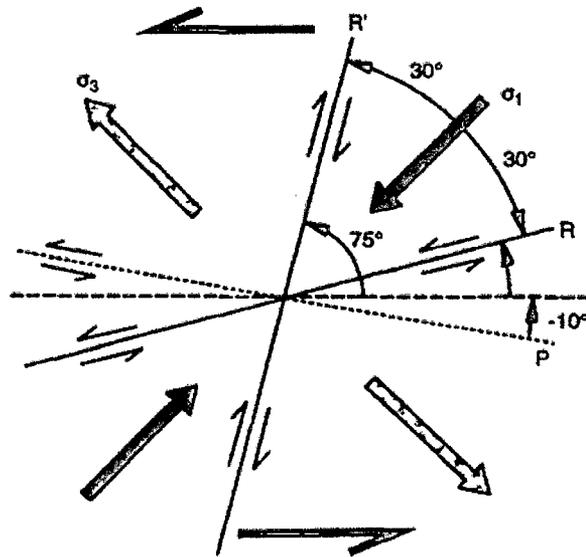


Figura 2.8. Modelo mecánico Riedel de desarrollo de fracturas en una zona de cizalla.

Fenómenos de curvatura en zonas de falla: Las fallas se curvan porque los materiales geológicos no son isotrópicos. Una zona de falla no puede mantener continuidad en el rumbo debido a los cambios físicos que encuentra en el camino.

La curvatura de las fallas se describe en términos de inflexiones: *Inflexiones de Apertura* (releasing bends; zona en extensión) tienden a crear espacios. Se produce cuando el movimiento de uno de los bloques se aleja de la curva.

Inflexiones en Cierre (restraining bends; zona en compresión) son sitios donde el acortamiento genera apilamiento. Se produce cuando el movimiento de uno de los bloques a lo largo de la falla se realiza “contra” la curva

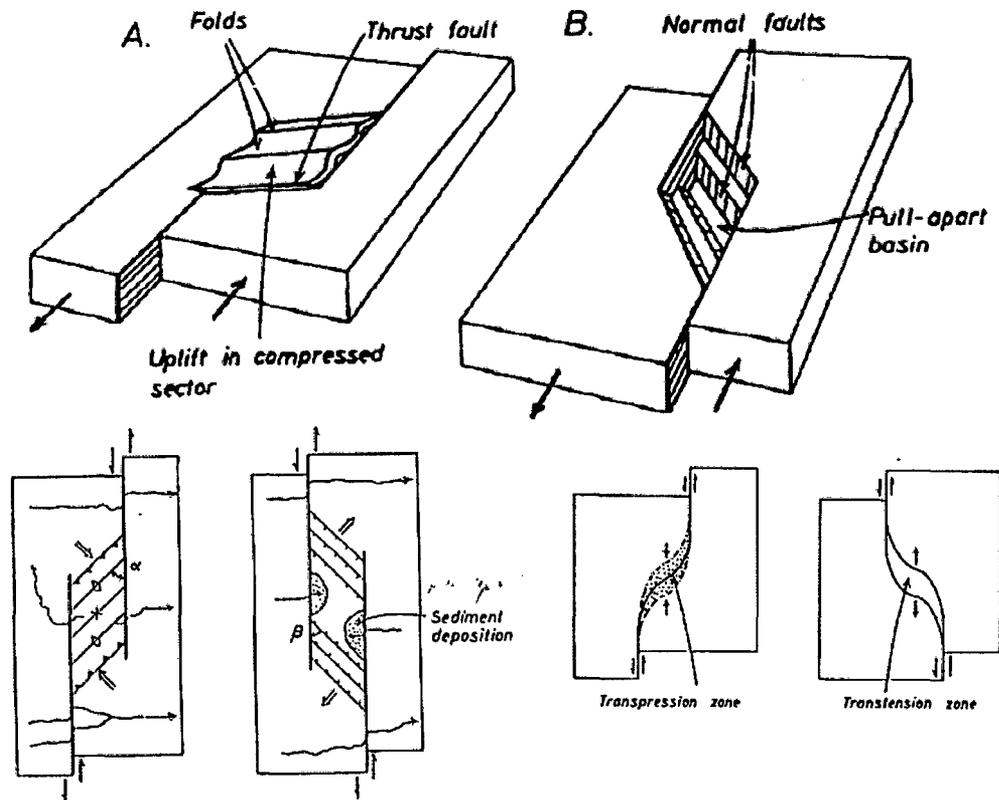


Figura 2.9. Apertura de fallas jogs y bends. Modelo mecánico Riedel de desarrollo de fracturas en una zona de cizalla.

Tectoglifos o microestructuras frágiles: Son una serie de estructuras pequeñas (mm a m), desarrolladas en medio frágil y asociadas a las fallas. Se emplean para determinar la dirección y sentido de desplazamiento sobre un plano de falla y por lo tanto son datos esenciales en los análisis cinemáticos y dinámicos, corresponden mayormente a dos grupos:

Marcadores lineales sobre los espejos de falla.- encontrando: Estrías mecánicas, ranuras, acanaladuras, arañosos, estrías estilolíticas formadas por procesos de disolución.

Formas especiales del plano y fallas secundarias.- caracterizándolos a los siguientes: Plano ondulado, cristalización al abrigo, fracturas de Riedel, fracturas y lúnulas tensionales, denticulación (Macharé, O. J. 2001).



CAPITULO III: MARCO GEOLOGICO REGIONAL

3.1. MARCO TECTÓNICO

La cordillera de los andes es el resultado de la acción de complejos procesos geológicos incluyendo eventos de deformación asociados con magmatismo, volcanismo y sedimentación. Estos se pueden agrupar, según Mpodozis y Ramos (1990) en tres ciclos tectónicos sucesivos desarrollados a lo largo del borde occidental de Gondwana a partir del Paleozoico inferior. El ciclo Famatiniano (Paleozoico Inferior), el ciclo Gondwánico (Paleozoico Superior) y el ciclo Andino (Mesozoico-Cenozoico), los dos primeros corresponden a la Tectónica Herciniana (Megard 1984).

El Ciclo Famatiniano se caracteriza por presentar procesos de colisión, subducción y acreción de terrenos continentales y oceánicos. El ciclo Gondwánico se caracteriza por episodios de subducción, fusión cortical, extensión y rifting.

En el Sur del Perú, estas acreciones no solo han tenido efectos en la formación de los andes, sino también en la ubicación de los depósitos minerales, ya que los límites o suturas de los bloques acretados son controles que ayudan a mejorar las exploraciones regionales y la búsqueda de yacimientos ciegos controlados por estructuras tectónicas regionales (Figura 3.1).

El ciclo Andino se asocia a la evolución de un sistema de margen activo con subducción, que presenta una etapa inicial caracterizada por un sistema de arco magmático-cuenca tras arco la cual evoluciona hacia un arco de naturaleza continental, durante el Cretácico.



La cuenca Occidental (cuenca de Arequipa) limitada por fallas normales; al NE por el sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo (CLM) y al SW por el sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio, con un alto estructural denominado Condoroma – Cailloma limitado al NE por el sistema de fallas Condoroma – Mollebamba (CM) (Figura 3.4).

En el presente estudio nos enfocaremos a estudiar la estratigrafía de la cuenca formada por el Sistema de fallas CLM y CM, que tiene como basamento al tercer bloque litosférico denominado Andahuaylas – Yauri (Víctor Carlotto et al., 2009), esta cuenca se va rellenando desde el Jurásico inferior y se extiende con su eje de sedimentación a lo largo de la Cordillera Occidental recibiendo una potente secuencia clástica en un medio somero y oscilante (Grupo Yura).

En el Cretáceo Inferior la Cuenca sur Occidental continuaba con límites similares a los del Jurásico Superior, cuya sedimentación tiene lugar en cuencas y cubetas controladas por movimientos oscilatorios verticales a lo largo de fallamientos longitudinales heredados de la tectónica Hercínica y de movimientos nevadianos que separan bloques levantados y hundidos.

Durante el Cretáceo superior se inicia la actividad magmática correspondiente al Batolito de la Costa controlado por las grandes suturas como el Sistema Cincha – Lluta – Incapuquio. Mientras que la Cuenca Arequipa continúa recibiendo sedimentación carbonatada y clástica entre varios episodios transgresivos y regresivos. A fines del Cretáceo, los mares se retiraron definitivamente de la región andina produciéndose regresiones paulatinas.

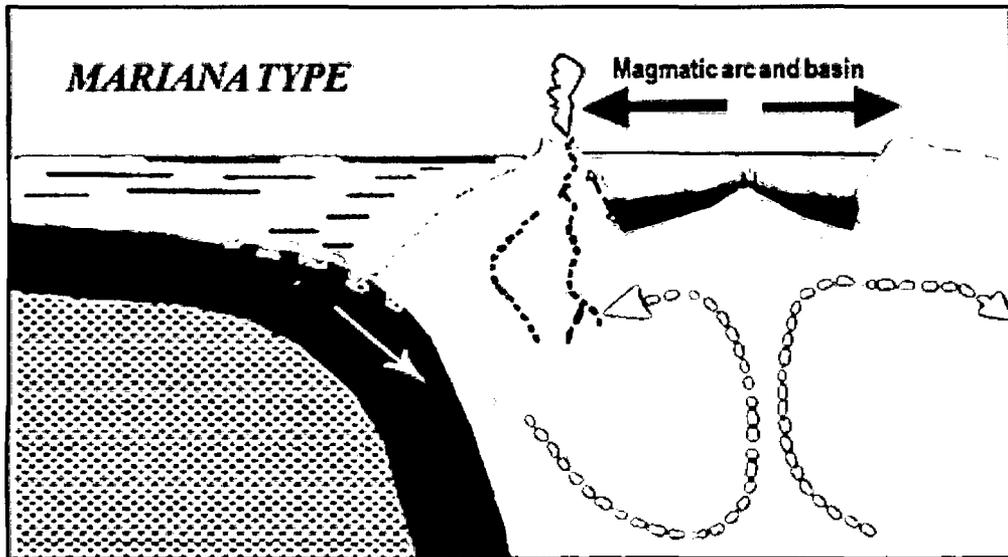


Figura 3.2. Tectónica extensional (Triásico superior-Cretácico inferior). Tomado de Coira et al., 1982; Mpodozis y Ramos, 1990.

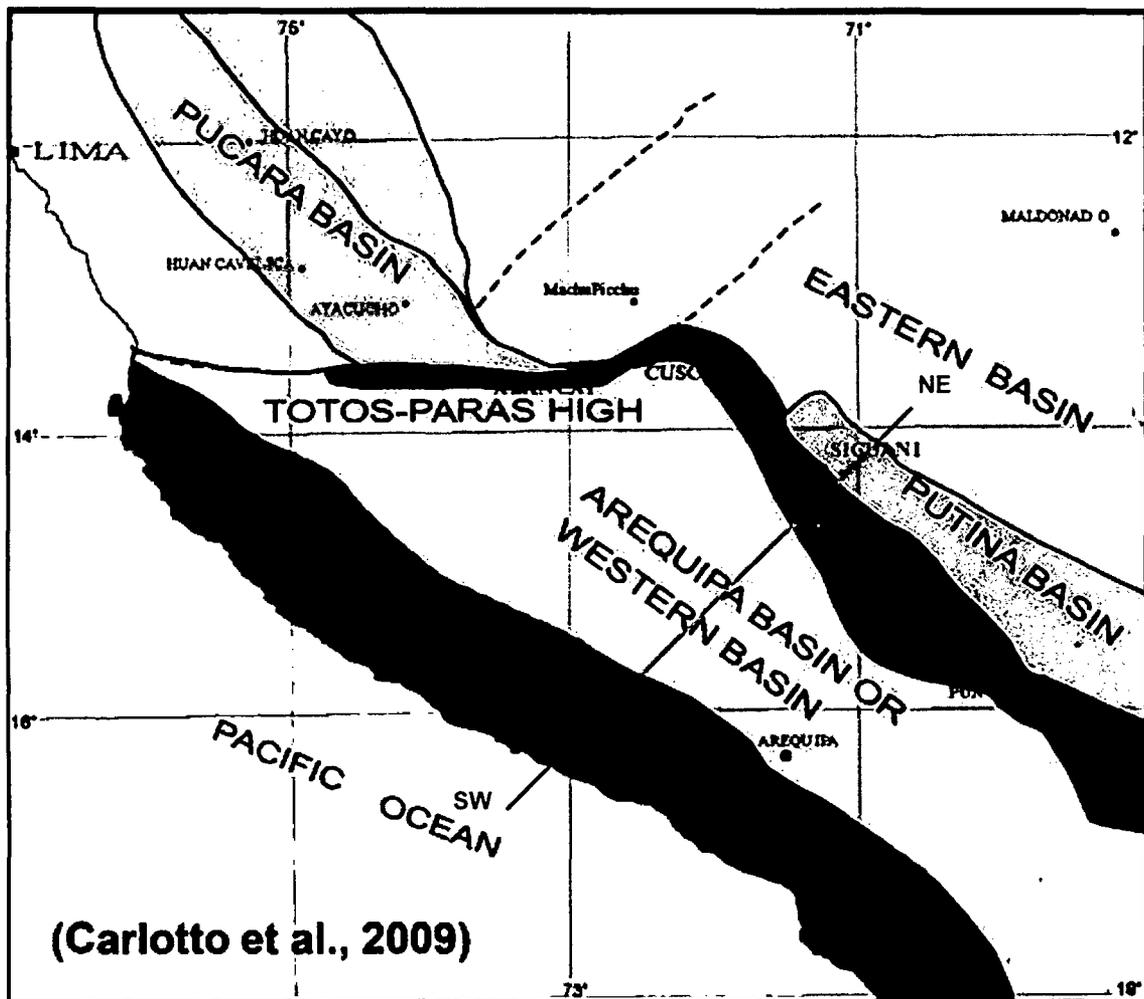


Figura 3.3. Paleogeografía del sur del Perú con el alto estructural denominado Umbral Cusco – Puno. Tomado y modificado de Carlotto et al., 2009.

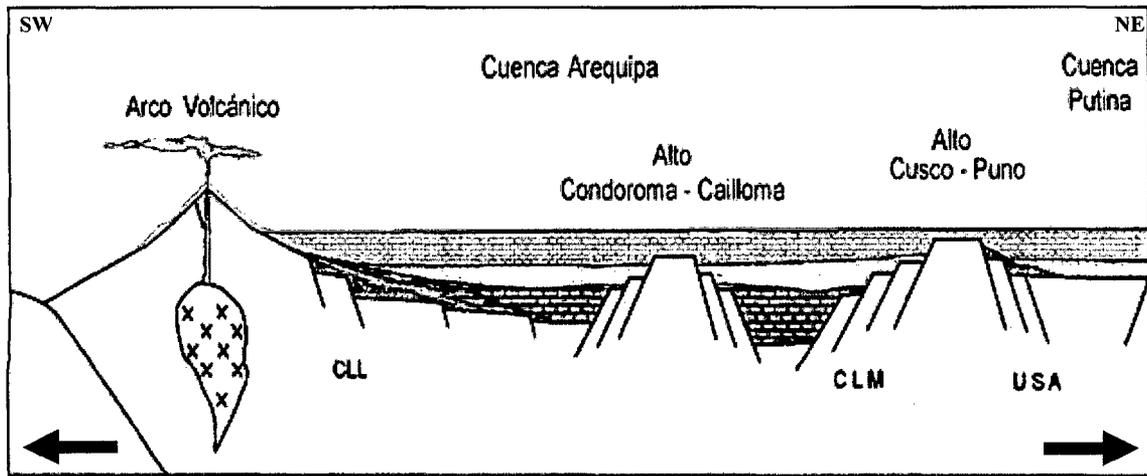


Figura 3.4. Cuenca de Arequipa limitada por fallas normales, Tomado de Carlotto et al., 2003.

3.2.1. Estratigrafía del Mesozoico (Lámina 2)

Grupo Yura (Jurásico Inferior – Cretáceo Inferior)

Este grupo está constituido por más de 2,200 m. de grosor compuesta por rocas sedimentarias marinas y de régimen de plataforma silicoclasticas. En el área se han podido reconocer tres unidades: una secuencia inferior de calizas y lutitas negras bituminosas denominada como Formación Piste, a esta secuencia sobreyacen una intercalación de areniscas y lutitas grises de la Formación Chuquibambilla y por último la parte superior está constituida por areniscas cuarzosas correspondientes a la Formación Soraya.

A. Formación Piste (Jurásico Inferior)

Consiste en un 70% de lutitas negras con material carbonoso e intercalado con areniscas lutáceas gris oscuras de grano fino en estratos delgados; completando la secuencia se tiene en la parte inferior y superior calizas negras bituminosas.



El grosor de esta unidad no ha podido ser determinado por medición directa al no haberse encontrado una secuencia completa debido a la perturbación estructural que presenta y estar afectada por cuerpos intrusivos.

Sus mejores afloramientos se localizan en los alrededores de los cerros Piste, Cucchi y la laguna Huanzo se le asigna un grosor promedio de 300 m. En la zona de estudio afloran en la margen derecha del Rio Seguíña. La edad de la Formación Piste corresponde a la base del Grupo Yura del Jurásico Medio-Superior.

B. Formación Chuquibambilla (Jurásico Medio-Superior)

La base consiste de areniscas gris oscuras, ocasionalmente gris claras y rojizas, de grano fino a medio, en la parte superior de esta unidad se han encontrado lutitas intercaladas con areniscas y calizas gris claras arenosas. Sus contactos son concordantes con las formaciones Soraya y Piste respectivamente.

Aflora en gran parte del depósito tales como C° Trapiche Este y Millucucho.

El grosor de la Fm. Chuquibambilla es variable, en algunos sectores sobrepasa los 600 m. de espesor como se puede observar al SE de Mollebamba por sus características litológicas y posición estratigráfica se le asigna una edad Jurásico Superior.

C. Formación Soraya (Cretáceo Inferior Temprano)

Consiste de bancos de areniscas cuarzosas de color blanco a pardo amarillento de grano medio a fino, se intercalan



con lutitas negras y areniscas grises en la parte inferior de la unidad.

Esta unidad sobreyace en contacto concordante a la Fm. Chuquibambilla y en igual relación infrayace a la Formación Mara.

El espesor de la Fm. Soraya en el valle de Chalhuanca alcanza los 800 m., en el área de estudio aflora al NE del proyecto Trapiche formando notables aristas topográficas que resaltan a gran distancia, como el cerro Sulcacondori. Por su posición estratigráfica se le indica una edad Cretáceo inferior.

D. Formación Mara (Cretáceo Inferior Tardío)

Está constituida por paquetes delgados de lutitas marrones con intercalaciones de limolitas, areniscas cuarzosas y poco contenido de carbonatos. El color predominante de esta formación es rojo a marrón rojizo (Figura 3.5). Por su amplia extensión constituye un nivel guía para la estratigrafía. Alcanza un grosor máximo de 306 m, el mismo que disminuye a 160 m. en el sector del Cerro Ajoloma.

La Formación Mara sobreyace concordantemente a la Formación Soraya e infrayace en igual relación a la Formación Ferrobamba. La edad de esta formación se infiere teniendo en cuenta sus relaciones estratigráficas que permiten asignarle una edad Aptiana del Cretáceo Inferior.



Figura 3.5 Afloramiento lutitas y limolitas de color rojizo de la Fm. Mara, lugar Qda Ajoloma al E del yacimiento Trapiche

E. Formación Ferrobamba (Cretáceo Superior Temprano a Medio)

En el área de estudio sus mejores afloramientos se encuentran en el cerro Lucaljahua, donde la falla Mollebamba pone en contacto con la formación Soraya (Figura 3.6) y en el cerro Ajoloma donde se encuentran en contacto con los volcánicos del Grupo Tacaza (Figura 3.7).

Litológicamente está caracterizada por una secuencia inferior de calizas grises negruzcas, en la parte media, se intercalan calizas dolomitizadas con lutitas-limolitas calcáreas, presentan buena estratificación y se encuentran en bancos delgados a medianos. En la parte superior las calizas se hacen en bancos medianos a gruesos. Algo característico de esta formación es la presencia de abundantes fósiles y nódulos de chert.

Su contacto inferior es concordante con la Formación Mara y en discordancia erosional con las unidades del Grupo Yura; El mayor grosor de esta unidad es de 800 m. se le asigna una edad Albiano- Turoniano del Cretáceo Superior Temprano a Medio.

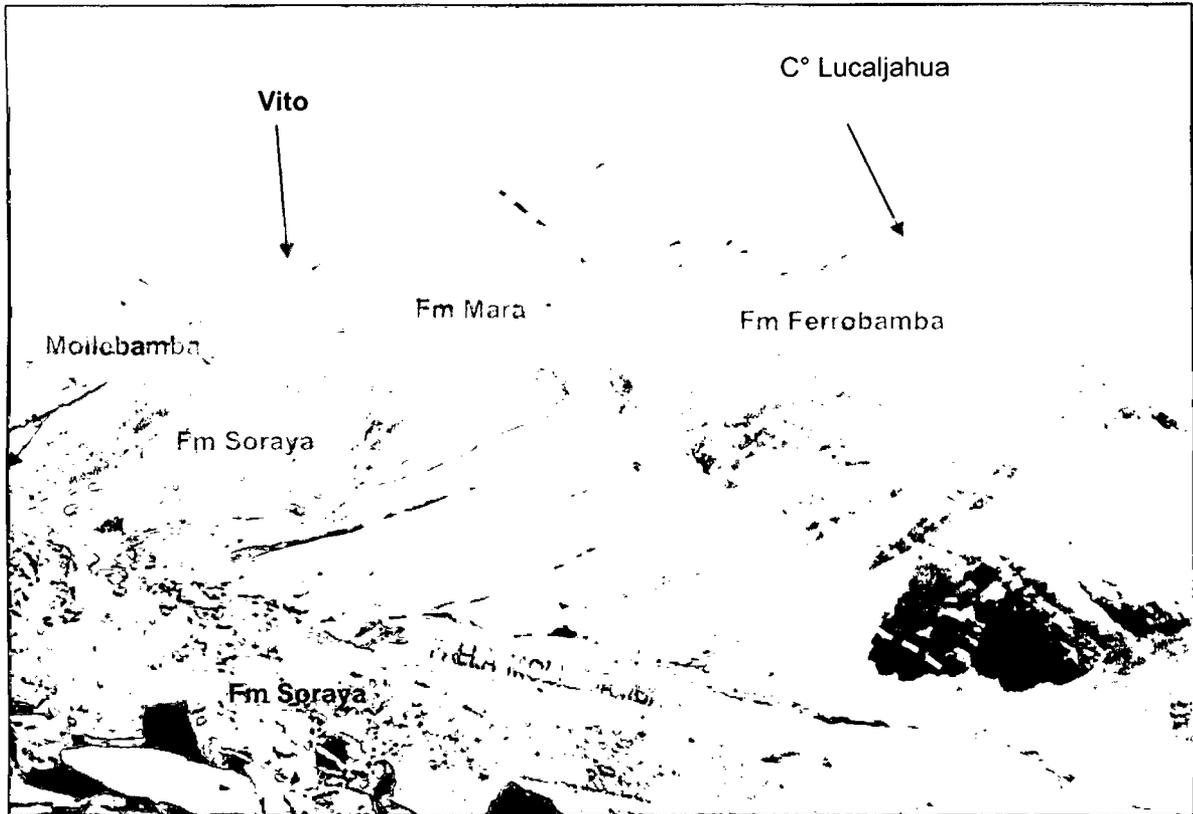


Figura 3.6 Vista panorámica mirando al Norte, la Falla Mollebamba pone en contacto a las formaciones Mara y Ferrobamba que forman el limbo del anticlinal con la formación Soraya.

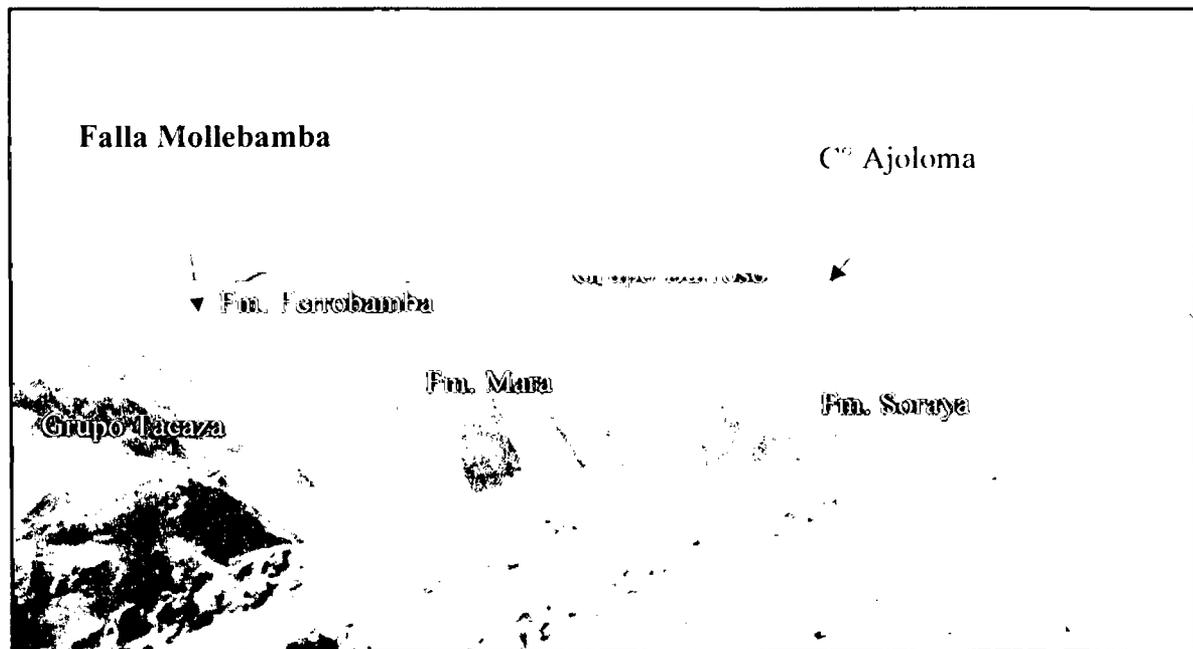


Figura 3.7. Vista panorámica mirando al SE, muestra la falla Mollebamba poniendo en contacto las secuencias cretácicas del Ferrobamba, Mara y Soraya con el Grupo Tacaza; sobreyacen con discordancia angular el Grupo Barroso.



COLUMNA LITO - ESTRATIGRAFICA REGIONAL SECTOR ANTABAMBA

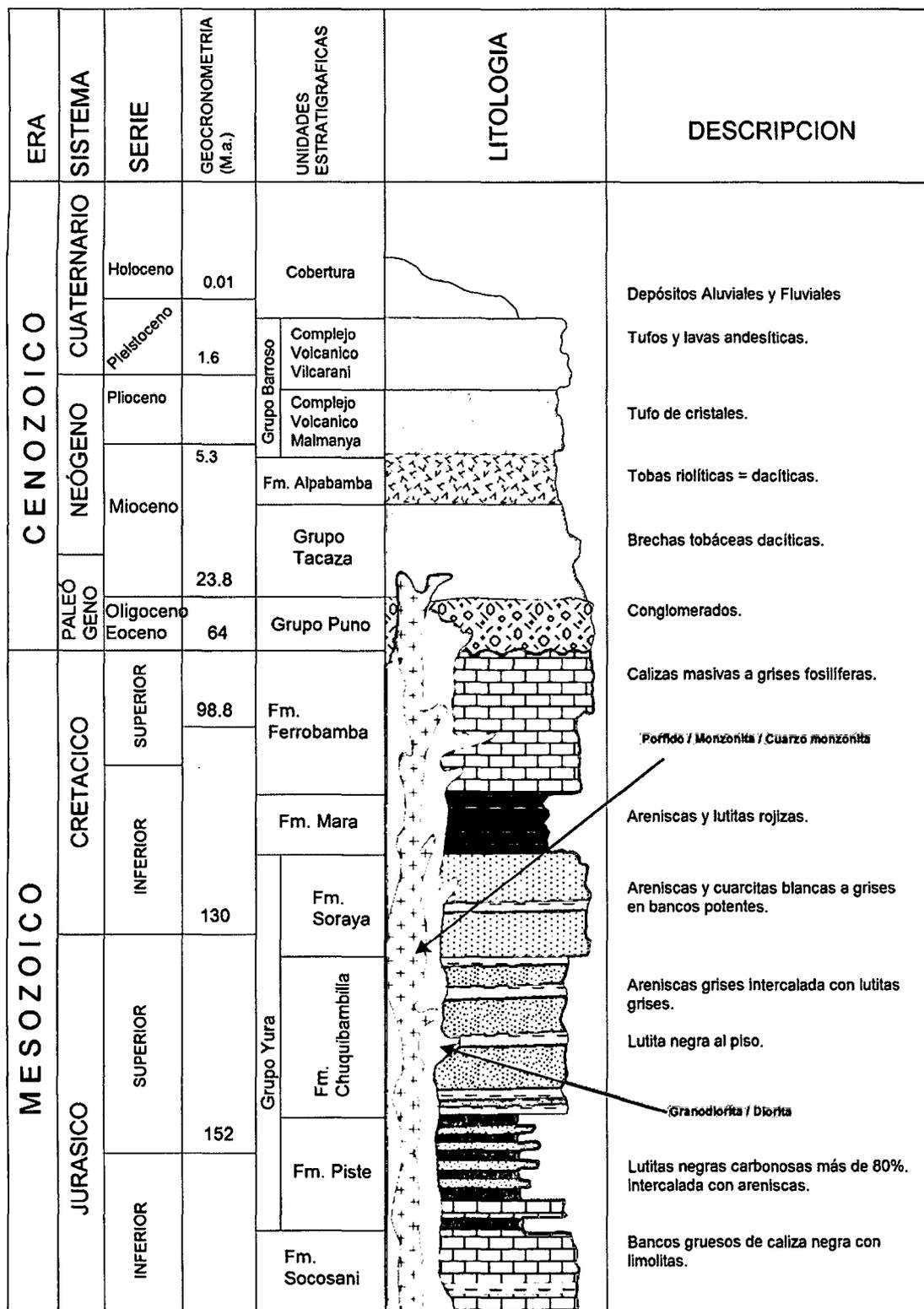


Figura 3.8 Columna estratigráfica regional. Referencia: Dpto. Geología Proyecto Trapiche, 2012.



FASE COMPRESIVA (Cretáceo superior a Reciente)

A fines del Cenomaniano la subducción tipo Andina, ocasiona la emergencia de la secuencia sedimentaria, particularmente en el Eoceno las fallas del sistema Cusco-Lagunillas – Mañazo se comportan como inversas y de rumbo (Transgresivas) controlando la sedimentación muy espesa con más de 10 km de capas rojas sobre el antiguo Umbral Cusco – Puno (Figura 3.9). Referencia: Carlotto et al, 2003.

En este contexto, en el Eoceno-Oligoceno inferior el Batolito Andahuaylas Yauri se emplaza en el borde NE de la antigua cuenca Occidental; el sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo se comportan como fallas de rumbo dextral en el Eoceno inferior, mientras que en el Eoceno superior – Oligoceno inferior (43-30 Ma) lo hace como fallas inversas y cabalgamientos (Carlotto 1998-2002), haciendo subir el batolito y permitiendo el emplazamiento sintectónico de cuerpos subvolcánicos porfiríticos que trajeron la mineralización tipo pórfido.

Al SW del Batolito Andahuaylas –Yauri, los sistemas de fallas que limitan el alto Condorama-Cailloma se comportan fallas inversas y de rumbo con vergencia hacia el NE y SW que permiten aflorar rocas jurásicas y cretácicas que cabalgan sobre las rocas volcánicas y sedimentarias del Paleógeno-Neógeno. Sobre este alto se localizan algunos prospectos y yacimientos tipo pórfido como Trapiche y Lahuani (Perelló et al 2003) ó epitermales como santo Domingo y Selene (Figura 3.10).

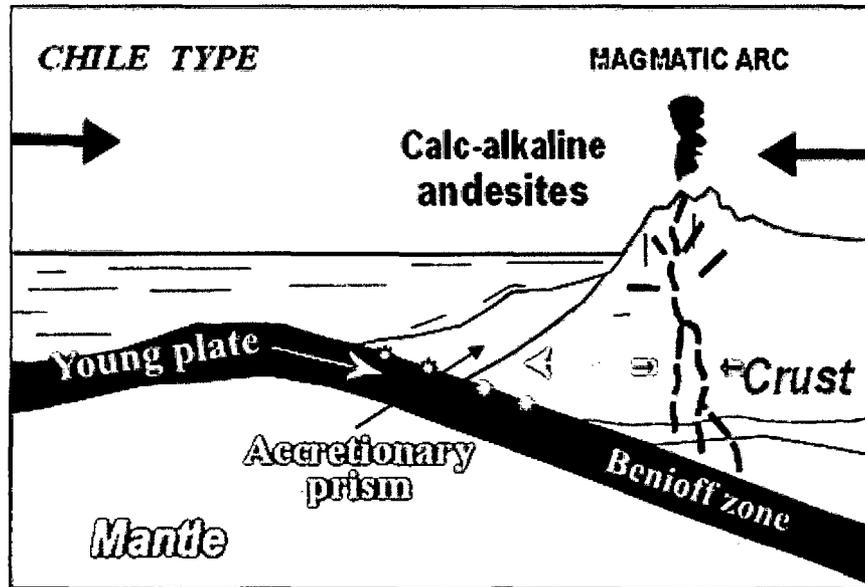


Figura 3.9. Tectónica Compresiva (Cretácico superior-Reciente), Referencia: F. Camus 2000.

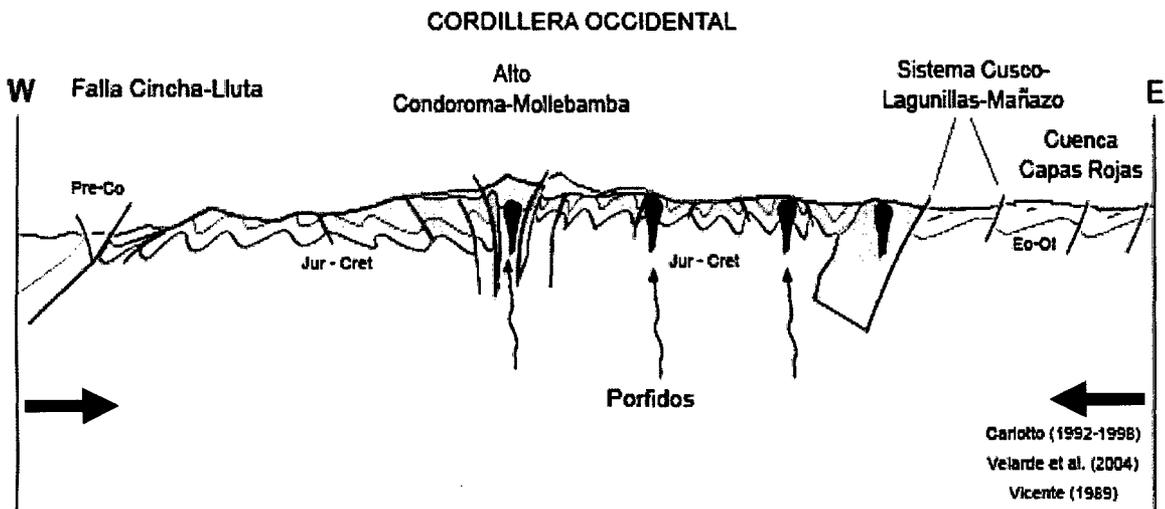


Figura 3.10. Control estructural de la Cordillera Occidental. Tomado de Carlotto 2004.

3.2.2. Estratigrafía Del Cenozoico Post Batolito Andahuaylas Yauri

A. Grupo Tacaza

En el área estudiada, las rocas que componen este grupo son predominantemente de naturaleza volcánica, constituida por derrames lávicos, brechas, tobas y tobas retrabajadas de naturaleza andesítica, dacítica y riolítica de coloraciones gris verdosas a moradas y crema amarillentas. Sobreyacen en



discordancia angular a la Fm. Ferrobamba. Afloran ampliamente hacia el SSE del depósito Trapiche (Lámina 2).

Bellón y Lefevre (1976) describe a las rocas del Tacaza como rocas calcoalcalinas ricas en K. Sandeman et al. (1995) interpretó a estas rocas como producto derivadas del manto, con mínima interacción de la corteza (Wasteneys, 1990). Está asociado con cuerpos subvolcánicos domos y diques que son largamente situados a lo largo del margen Oeste del Altiplano (Benavides, 1999). Las insuficientes dataciones radiométricas no permiten asignarle una edad precisa; sin embargo por posición estratigráfica se le indica una edad Oligoceno-Mioceno.

B. Formación Alpbamba

Yace discordante sobre el Grupo Tacaza y resalta regionalmente por su menor ángulo de buzamiento. Sus características litológicas son variables. Sin embargo destacan en la parte inferior tobas igninbríticas blanquecinas de composición riolítica, latítica y dacítica con notoria estratificación y localmente facies lagunares de características arenosas en capas delgadas.

En la parte superior de la secuencia, se encuentran brechas volcánicas oscuras de composición andesítica a dacítica, con elementos angulosos de color rojizo oscuro por la oxidación de los ferromagnesianos. Se extienden desde la Quebrada Mal Paso hasta Choquemarca SW de Trapiche. Noble D. (1972) ha datado entre 10 y 13 Ma (Mioceno superior), las tobas ubicadas al NW de andahua y que parecen corresponder a la Fm. Alpbamba. Correlacionable con la Fm. Huaylillas del área de Pachia y Palca y la Fm. Caudalosa del área de Castrovirreyna.



C. Grupo Barroso

Localizado al este de Trapiche (cerro Ajoloma), consiste en una secuencia de lavas andesíticas basálticas de color gris oscuro a negro de textura microcristalina a vítrea, ocurren pequeños fenos de plagioclasas y hornblendas. Kaneoka y Guevara le asignan una edad Plioceno Superior – Pleistoceno.

D. Depósitos Cuaternarios

Los depósitos de cuaternarios comprenden sedimentos fluvio-glaciares, fluviales, morrénicos y aluviales expuestos en las planicies y en los márgenes de ríos y quebradas, constituidos por bloques y cantos subangulosos a redondeados, gravas y arenas de naturaleza heterolítica. Estos materiales constituyen los últimos eventos de glaciación, transporte coluvio aluvial y fluvial.

3.3. BATOLITO ANDAHUAYLAS – YAURI

Esta unidad constituye un gran macizo compuesto de múltiples intrusivos que afloran en una franja de dirección NW paralelo a la dirección andina regional, entre las localidades de Andahuaylas por el NW y Yauri por el SE, con 300 km de longitud aproximada y anchos variables entre 10 y 60 km (Marocco, 1977; Bonhome y Carlier, 1990; Carlotto, 1998; Perello, 2003) ver figura 3.12.

El batolito Andahuaylas-Yauri se ha emplazado entre 48 y 28 Ma, en dos etapas, cuyos pulsos magmáticos son interpretados de haber ocurrido en dos fases, los primeros (48-43 Ma) emplazamiento de cuerpos de gabro y diorita seguido del emplazamiento (40-28 Ma) de granodiorita y monzonita /dacita asociados a la mineralización (Perello et al, 2004) ver Figura 3.11. Según dataciones U-Pb del stock Granodiorítico de Trapiche estas facies se habrían extendido hasta 29.21±0.31 Ma. Los depósitos



minerales están asociados a la actividad magmática de intrusiones hipabisales y consiste de sistemas de mineralización como Skarn de Fe, Cu-Fe y pórfidos de Cu, Cu-Au, Cu-Mo-Au (Chancas) y Cu-Mo (Trapiche).

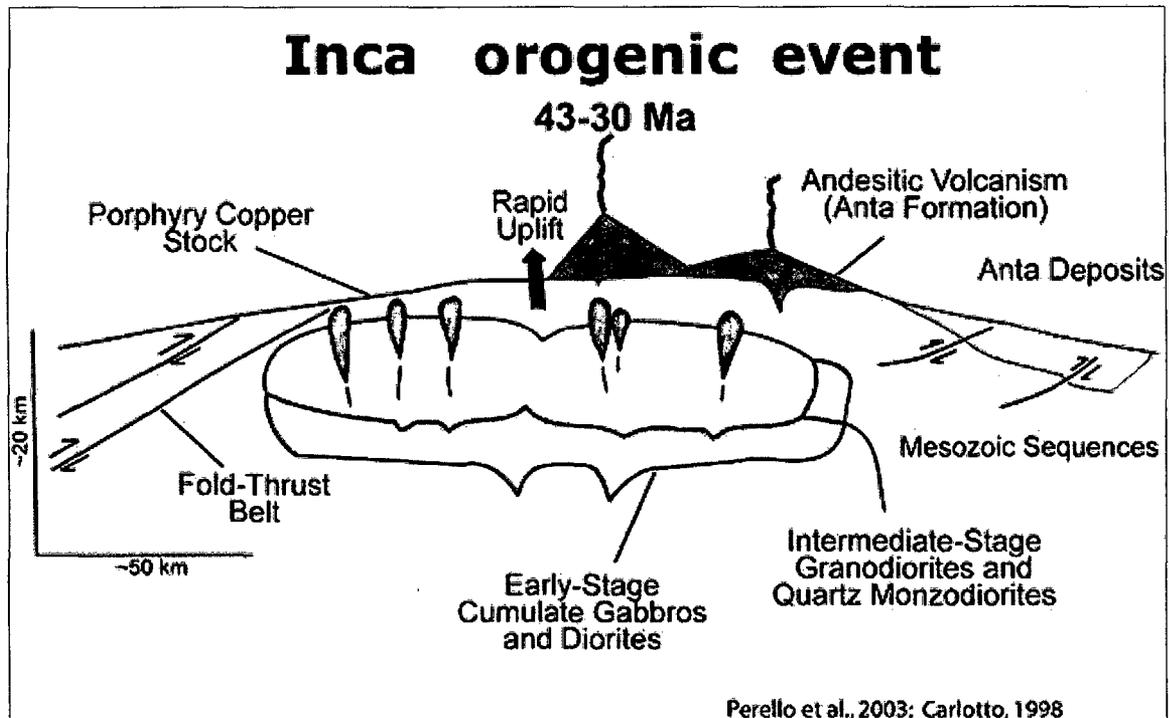


Figura 3.11. Principales pulsos magmáticos del Batolito Andahuaylas – Yauri. Tomado de Perello et al., 2003, Carlotto, 1998.

3.4. MARCO METALOGENÉTICO

El Yacimiento Trapiche se localiza dentro del cinturón metalogenético de Andahuaylas – Yauri cuya extensión es 300 km x 125 km, desde Andahuaylas al NW hasta Yauri al SE, con un área aproximada de 25,000 km² (Terrones L., 1958; Bellido et al., 1972; Santa Cruz et al., 1979).

Perelló et al. 2003, sugiere que los magmas calco alcalinos del Batolito Andahuaylas-Yauri y la subsecuente mineralización tipo pórfido fueron generados durante un evento de subducción horizontal, el que originó el acortamiento cortical, tectónica compresiva y el levantamiento sincrónico que se relaciona con el evento tectónico Inca del Eoceno Medio.



El acortamiento de la parte superior de la corteza habría impedido el rápido ascenso de magma, favoreciendo el almacenamiento de fluidos en grandes cámaras magmáticas, que a una adecuada profundidad de la corteza más superior, permitió el emplazamiento a gran escala de pórfidos de Cu, en regímenes compresivos.

Desde el punto de vista regional, se tiene 02 poblaciones de pórfidos: Una primera población de edad Eocena Superior, corresponde a los pórfidos de Cotabambas (35.7 +/- 0.9 Ma), Morosayhuas (35.2 +/-0.9 Ma), Tintaya (34.7+-1 Ma) y Antapacay (41.1+-0.1 Ma), es congruente con la de otros sistemas tipo pórfidos de la franja Andahuaylas-Yauri a juzgar por las edades K-Ar de 35.9 + 0.9 Ma de Portada y Lahuani y de 36.9 + 0.9 Ma de Alicia. Una segunda población, de pórfidos más jóvenes, parece pertenecer al Oligoceno Inferior, en base a las edades de la alteración potásica de los pórfidos de Chaccaro (33.8 + 1.2 Ma), Katanga (30.3 + 1.3 a 29.4 + 1.0 Ma), Trapiche (29.21+-0.31 Ma) y Winicocha (28.7 + 0.8 Ma), además de los skarns de Tintaya (34.7 + 1.0 y 33.7 + 1.0 Ma) y Chalcobamba (32.6+ 1.0 Ma), estos dos últimos datados por Noble et al. (1984).

Todos estos depósitos se encuentran enmarcados dentro de la intersección de lineamientos estructurales WNW y ENE que constituyen zonas de debilidad estructural favorables para el emplazamiento magmático de episodios tardíos del Batolito Andahuaylas – Yauri en forma de stocks y diques a los que se encuentra ligada la mineralización.



3.4.1. Extensión en territorio Chileno

Hacia territorio chileno la franja Andahuaylas – Yauri se interrumpe al sur de Tintaya donde probablemente continúa bajo la cobertura volcánica principalmente Miocena-Cuaternaria, para engranar con la Franja de Pórfidos del Eoceno superior-Oligoceno inferior (43-31 Ma) del norte de Chile (Figura 2.14), que incluye los clusters de Collahuasi - Quebrada Blanca - Ujina, El Abra - Conchi, Chuquicamata - RT - MM, Esperanza - Telégrafo, Escondida – Zaldívar, El Salvador - Potrerillos, entre otros.

Al igual que en su extensión en territorio chileno donde la franja aparece íntimamente relacionada a un sistema de estructuras regionales (Sistema de Falla de Domeyko), la Franja Andahuaylas-Yauri posee un marcado control estructural, con estructuras como las fallas Cotabambas, Cuzco, Sicuani y otras de expresión regional (Figura 2.13).

De igual manera, ambas franjas peruana y chilena habrían experimentado una evolución magmática, tectónica y sedimentológica similar, a juzgar por la relación íntima entre fallas regionales, bloques alzados y cuencas sinorogénicas (Carlotto, 1998; Maksaev y Zentilli, 1999). Ejemplos de lo último, son las cuencas Cuzco-Sicuani, en Perú (Marocco y Noblet, 1990, Carlotto, 1998; Carlotto et al., 1999) y Salar de Atacama, en Chile (Mpodozis et al., 1999).

Desde el punto de vista metalogénico, la franja del Eoceno superior-Oligoceno inferior en territorio peruano y chileno, está dominada principalmente por mineralización de Cu, Au, Mo y Fe en varias versiones de pórfidos y skarns. En su parte sur en Chile, la carencia de skarns es marcada debido fundamentalmente a la



ausencia de rocas carbonatadas, mientras que las asociaciones de metales están dominadas por Cu-Mo.

La parte norte de esta franja, en Perú, pareciera tener más variedad, a juzgar por la presencia de pórfidos de Cu-Au, Cu (-Au), Cu-Mo y Au, y abundante mineralización de Cu-Fe-Au en skarns relacionados o no a sistemas tipo pórfido (Figura 2.13). La coexistencia de pórfidos de Cu-Au, Cu-Mo y Au en una misma franja metalogenética de ambiente cordillerano, constituye evidencia adicional en el sentido que la asociación metálica de los sistemas de tipo pórfido no guarda relación alguna con el ambiente geotectónico, roca caja ni espesor de la corteza (Sillitoe, 1979; Perelló y Cabello, 1989) sino, más bien depende de otros factores más locales, inherentes a cada sistema en particular.

En este sentido, el común denominador de todas aquellas manifestaciones ricas en Au es la presencia de magnetita hidrotermal en cantidades apreciables (Cotabambas, Esperanza, Antapaccay, La Fortuna), mientras que aquellas pobres en Au y ricas en Mo tienden a ser deficientes en magnetita. Lo anterior sugiere que el estado de oxidación de los fluidos mineralizantes (de carácter oxidante) y su derivación de magmas también oxidantes es un requisito genético para la formación de pórfidos de cobre ricos en oro (Sillitoe, 1998), independientemente, por ejemplo, del ambiente geotectónico (arcos de islas vs márgenes continentales tipo andino) en el que ellos se emplacen (Sillitoe, 1979; Perelló y Cabello, 1989).

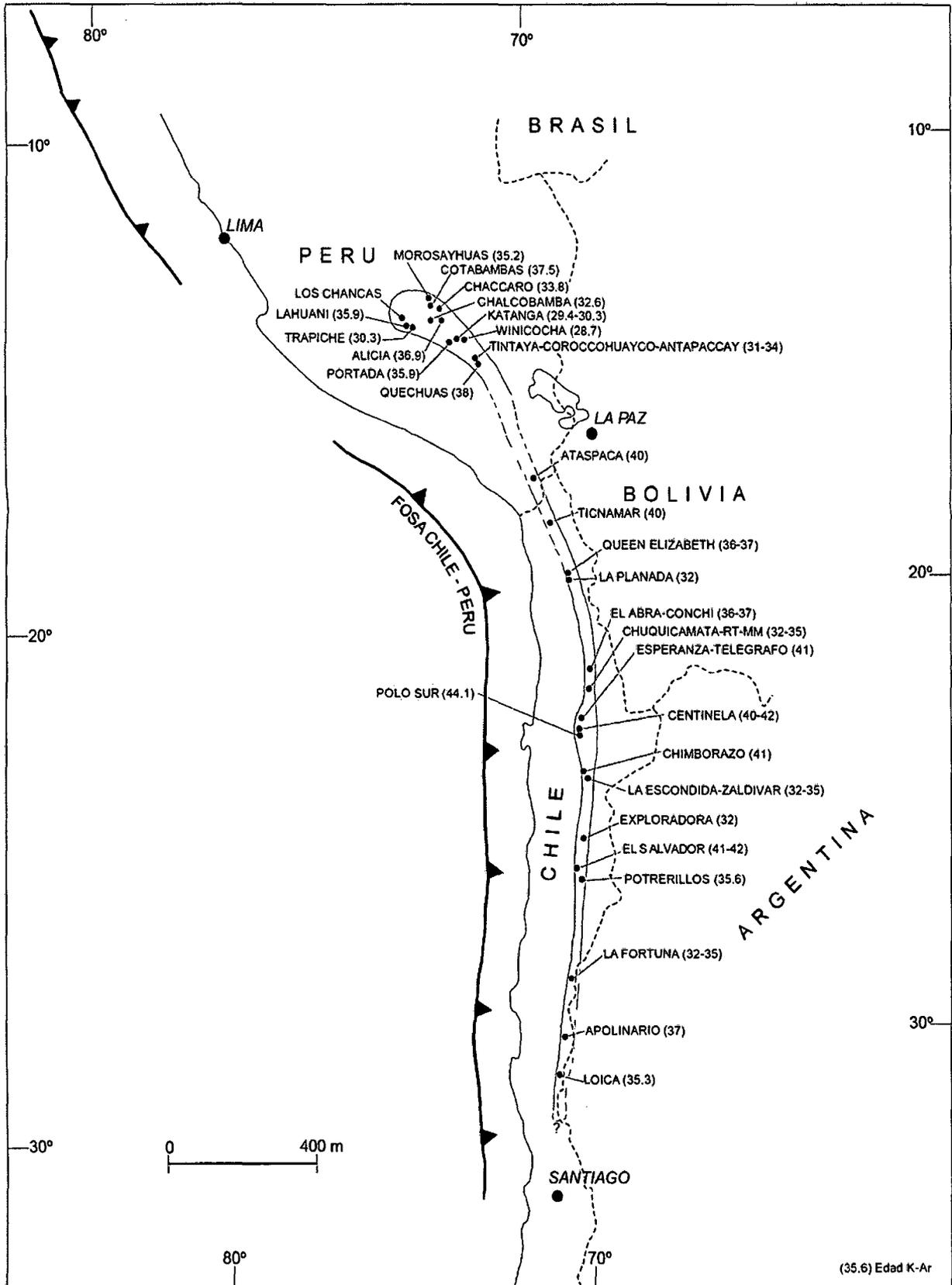


Figura 3.14 Franja de pórfidos del Eoceno Superior – Oligoceno Inferior (43-30 Ma) de los Andes Centrales.



CAPITULO IV: GEOLOGIA LOCAL DE TRAPICHE

INTRODUCCIÓN

El Proyecto Trapiche es un depósito cuyas características principales son las de un sistema tipo pórfido Cu – Mo. La mineralización se emplaza principalmente en la Brecha Pipe y en los pórfidos; en menor grado la mineralización se extiende hacia la roca huésped (areniscas y limolitas). Así mismo se tiene otro sistema mineralizado poco conocido en el sector “Millucucho” donde la mineralización ocurre en cuerpos de brecha y lentes skarnizados.

4.1. ESTRATIGRAFIA

En el área de investigación se encuentran rocas sedimentarias del Grupo Yura cuyas edades van desde el Jurásico superior al Cretáceo inferior y rocas volcanoclásticas del Grupo Tacaza, ambas secuencias cubiertas por depósitos cuaternarios.

4.1.1. Formación Piste

Aflora al oeste del yacimiento, en ambos márgenes del río Seguiña, consiste de limolitas grises a oscuras con abundantes nódulos calcáreos en capas delgadas de 5-20 cm. de potencia; hacia el tope se intercalan niveles de caliza negruzca con lutitas negras bituminosas. Su espesor se desconoce, los estratos presentan rumbo de NNE, con buzamientos de 30°-40° al NW en promedio. El contacto superior de esta formación es concordante con la Fm. Chuquibambilla. En el contexto de mineralización no es de mucha importancia ya que su impermeabilidad no permite el paso de los fluidos mineralizantes, solo forma pequeños lentes skarnizados en aquellos horizontes calcáreos y zonas de fuerte fracturamiento.

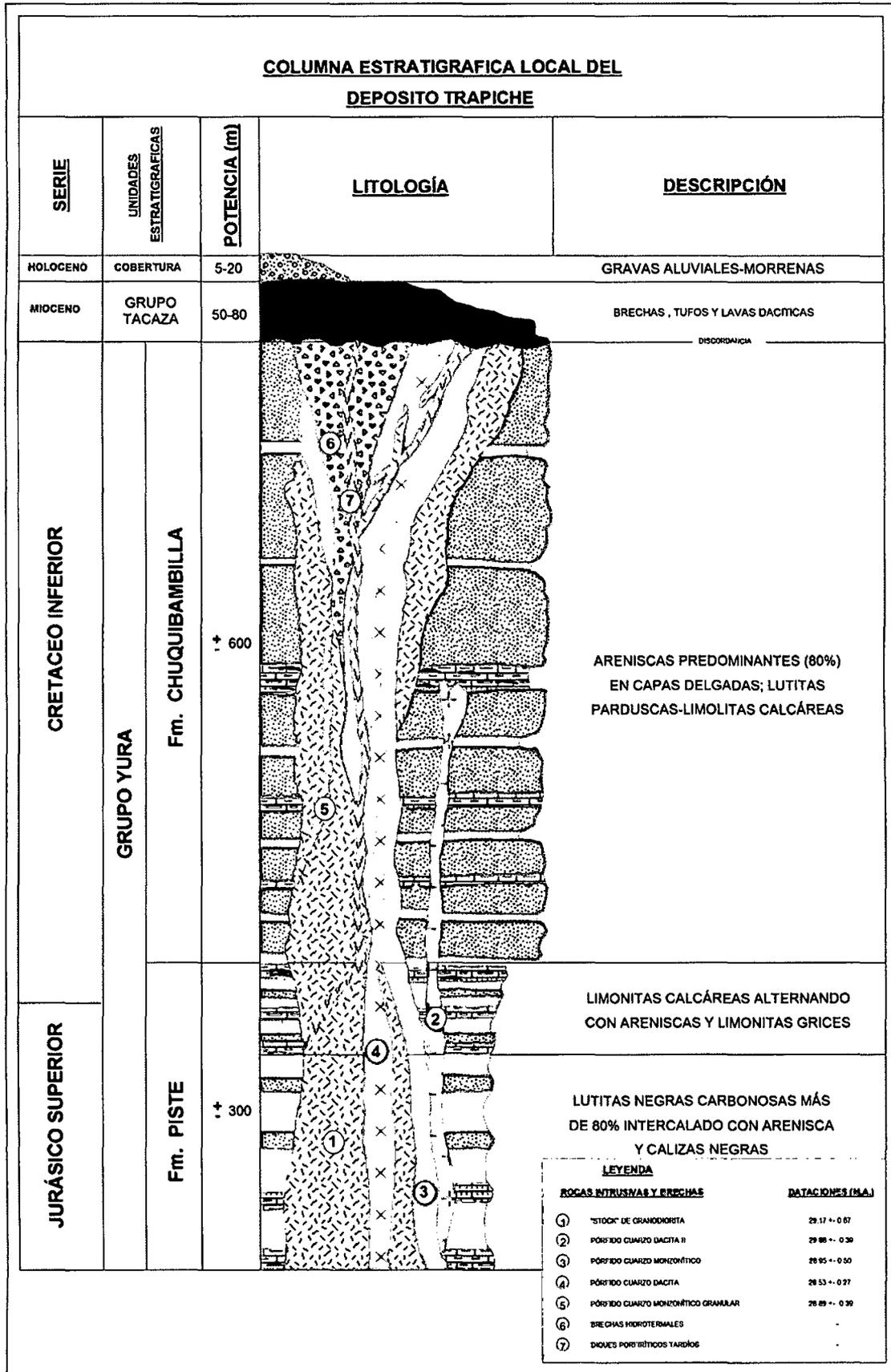


Figura 4.1. Columna estratigráfica local. Referencia: Dpto. Geología Proyecto Trapiche.



Descripción macroscópica

Roca limoarcillosa de color gris oscuro, se observan la presencia de óxidos de hierro y de cobre, además de malaquita que está presente en toda la muestra; presenta moldes rellenos de óxidos de hierro (Figura 4.2).

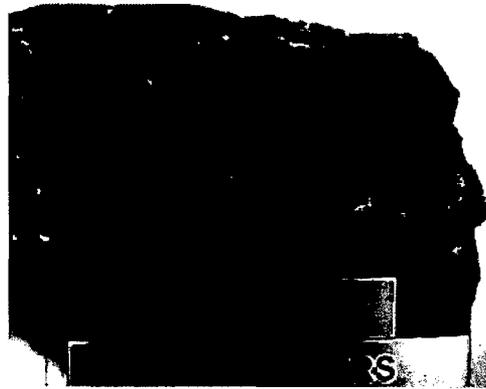


Figura 4.2. Limoarcillita gris oscura

Estudio microscópico

Minerales esenciales: Arcillas (60%), minerales micáceos (10%), Materia lutítica (10%)

Minerales accesorios: Óxidos de hierro (hematita, goethita), Malaquita, Rutilo, Piritita, Jarosita.

Descripción (Figura 4.3a y b)

La muestra corresponde a numerosos agregados limoarcillosos micro a criptocristalinos con abundantes diseminaciones de cristales anhedrales de hasta 50 micras de feldspatos, cuarzo, sericita, cloritas y Jarosita. Se encuentra cortada por varias fracturas paralelas rellenas de óxidos de hierro (hematita-goethita); en las paredes ocurren venillas y diseminaciones muy finas y terrosas de lo que al parecer es material lutáceo.

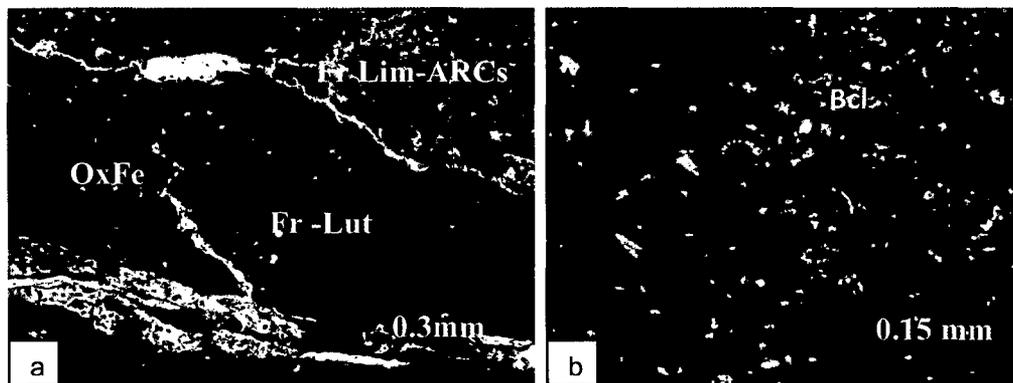


Figura 4.3. a) Fragmentos lutáceo (Fr - Lut) y limoarcillosos (Fr Lim-ARCs), b) Bioclastos (Bcl) de 100 micras de tamaño, Luz Transmitida.



4.1.2. Formación Chuquibambilla

Es la de mayor extensión, aflora alrededor del depósito, se encuentra suprayaciendo a la Fm. Piste, la base consiste de areniscas grises a oscuras de grano fino en capas de 5-25 cm. de potencia, intercaladas con niveles de areniscas gris oscuras de 10 – 20 cm de potencia, hacia el techo presenta delgados estratos de arenisca gris blanquecina, alternando con niveles de lutitas y limolitas < 10cm. Los espesores varían de 200 a 400 m.

Esta unidad sedimentaria ha sido favorable como roca huésped para la mineralización debido a que presenta buena permeabilidad primaria y secundaria constituida por fallas y fracturas; las cuales fueron trampas favorables para albergar mineralización de cobre en forma diseminada, venillas e impregnaciones (Trapiche Este y Zona de Óxidos).

Descripción macroscópica

La muestra presenta una textura sacaroidea de color gris oscuro, de aspecto brechoide (Bx craquel), la textura que presentan los clastos es afanítica, el cemento de la matriz está constituido por limonitas. También hay presencia de malaquita, jarosita, hematita, cuarzo y óxidos de manganeso (Figura 4.4).



Figura 4.4. Arenisca de grano fino

Estudio microscópico

Minerales esenciales: Cuarzo clástico y arcillas (96%)

Minerales secundarios: Óxidos de hierro-cobre (4%), Cuprita, Malaquita, Calcopirita, Pirita, Arcillas, Sericita, Rutilo.



Descripción (Figura 4.5a y b)

La muestra corresponde a una arenisca fina; constituida por granos de cuarzo subangulosos a angulosos bien seleccionada con tamaño de grano de 70 micras en promedio; la matriz es escasa constituida por material limoso y por pequeños agregados de arcillas intersticiales; hay buen empaquetamiento y ausencia de cavidades, se observan varias áreas donde hay saturación de los contactos entre los granos debido posiblemente a la silicificación.

Se observa intercalación de capas con mayor contenido de arcillas, material carbonoso, contenido de sericita, óxido de hierro y jarosita intersticial, el cual también esta relleno numerosas fracturas que cortan ese horizonte.

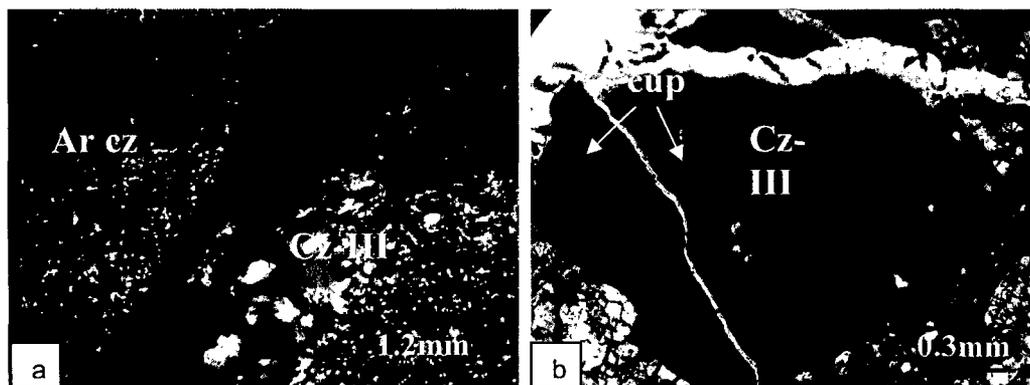


Figura 4.5. a) Arenisca cuarzosa (Ar cz) fracturada; con material bituminoso; se observa una fractura central rellena de cuarzo hidrotermal. (Cz-III). Luz Transmitida. b) Crecimientos coloformes de cuprita (cup) asociada a agregados de grano muy fino de malaquita (mal) relleno cavidades. Luz Transmitida.

4.1.3. Grupo Tacaza

Aflora de manera reducida, como remanentes en los sedimentos y se extiende al sur del proyecto; consiste de aglomerados volcánicos compuesto de fragmentos de areniscas y cuarcitas en una matriz tufacea, intercalada con derrames lávicos y tufos riolíticos. Se le asigna una edad del Mioceno.



4.1.4. Depósitos cuaternarios

Los depósitos cuaternarios están formados por sedimentos coluvio aluviales compuestos por depósitos mixtos de rocas ígneas y sedimentarias, destacándose fragmentos irregulares de hasta 3 m. englobados en una matriz arcillosa, tienen una pobre consolidación y clasificación de un espesor aproximado de 0.5 a 20 m. se encuentran en la zona Noroeste y oeste del yacimiento con espesores entre 5-20 m.

4.2. PETROLOGIA

El Complejo porfirítico Trapiche, está compuesto por diversas pulsaciones ígneas, desde rocas sub-volcánicas hipabisales hasta plutónicas de composición intermedia (granodioritas y monzonitas). Dichas pulsaciones se evidencian en un área aproximada de 3.0 x 1.5 km., intruyen a las secuencias sedimentarias del Grupo Yura y están íntimamente relacionados a los eventos de mineralización. Este complejo consta de los siguientes pulsos: Stock Granodiorítico precursor, Pórfido Cuarzo Dacita II (PQD II), Pórfido Cuarzo Monzonítico Principal (PQM P), Pórfido Cuarzo Monzonítico Intramineral (PQM I), Pórfido Granodiorítico Tardío (PGD), Pórfido Cuarzo Dacita (PQD) y Diques Tardíos de composición dacítico y andesítica.

4.2.1. Stock granodiorítico

Intrusivo precursor del sistema, posee una forma elongada N – S, cuyas longitudes son: 2.3 km. de largo por 1.3 km. de ancho. Se encuentra intruyendo a las rocas sedimentarias del Grupo Yura.

Descripción macroscópica

Color: gris rosáceo y cremoso, negro grisáceo, pardo anaranjado.

Tamaño de grano: fino a medio.



Textura reconocible: porfirítica.

Otras características: Intrusivo con abundantes Fenocristales de plagioclasas, feldespato potásico y cuarzo.

No se observa la matriz con facilidad. Ocurren además fenocristales, en parte orientados, de biotita. Escasa pirita en granos diseminados. Hay escasa magnetita, probablemente dentro de la biotita.

Cristales aislados idiomorfos de titanita. Presenta una débil alteración potásica (cuarzo-feldespato potásico-biotita), alrededor del pórfido temprano, pasando a alteración Propilítica (clorita-epidota-calcita) que se distribuye ampliamente hacia el sur. (Figura 4.6).

Descripción microscópica

Minerales esenciales: plagioclasa I (35-40%), feldespato potásico I (4-6%), cuarzo I (10-12%), biotita I (3-5%), hornblenda (restos), plagioclasa II (10-12%), feldespato potásico II (3-5%), cuarzo II (12-15%),

Minerales secundarios: biotita II (2-3%), sericita (2-3%), cloritas (1-2%), opacos (1%), epidota, óxidos de Ti

Minerales accesorios: titanita, apatito.

Textura: porfirítica seriada, glomerofírica, algo orientada por deformación.

Observaciones/descripción

Hay presencia de abundantes fenocristales de plagioclasa I zonados, corroídos y deformados. Están débilmente alterados por sericita, muy poca biotita II, tiene inclusiones de biotita I y titanita (Figura 4.7a). Hay fenocristales escasos de feldespato potásico I,



Figura 4.6. TR-M27 Prof. 105.60 m. Granodiorita, fenos de Fspars y cz. Alt. Propilítica (cl-ep-CBs-py).



algunos gruesos, poiquilíticos con inclusiones de plagioclasa I, de hornblenda epidotizada y cloritizada (Figura 4.7b). También contiene cristales de titanita y de biotita I.

Los fenocristales de cuarzo I se encuentran fuertemente deformados (muestran agregado en mosaico por cambio de orientación), alargados y algunos curvados; parecen haber sufrido una deformación plástica (Figura 4.7c). Lo mismo ocurre con la biotita I que se encuentra alargada y dislocada, en un caso se observa cómo ha fluido entre dos fenocristales de plagioclasa I, junto con la matriz (Figura 4.7d). La matriz está compuesta principalmente por cuarzo II, plagioclasa II, escaso feldespato potásico II y en los bordes de algunos fenocristales se le observa triturada y arreglada según los bordes del fenocristal.

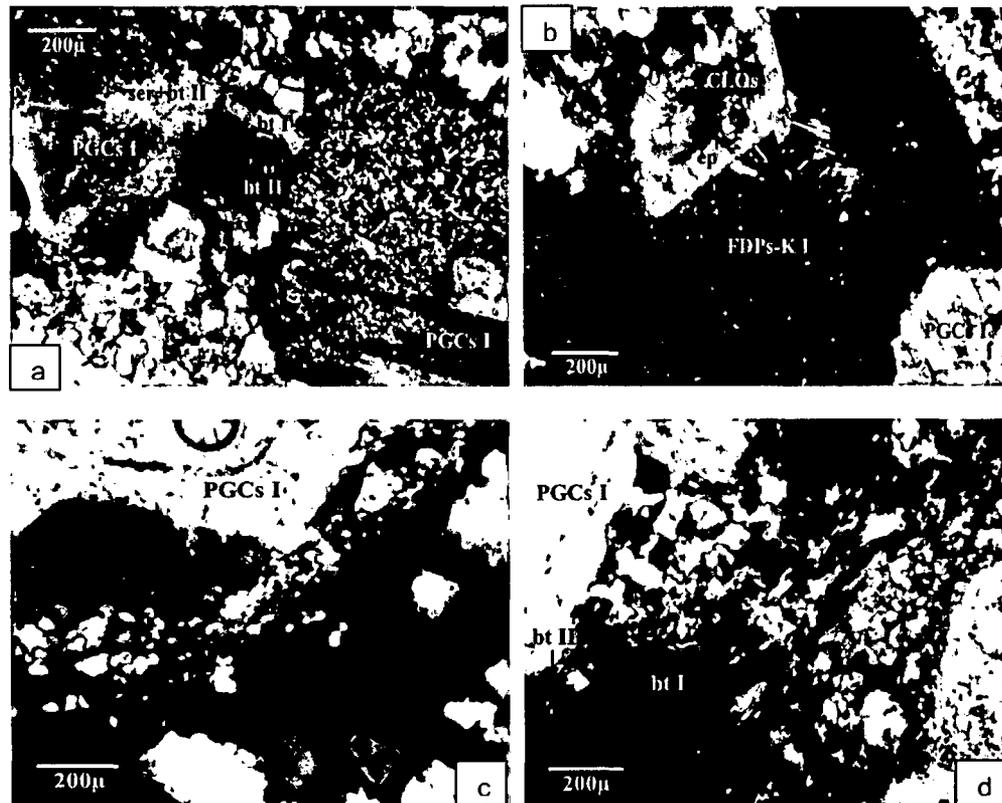


Figura 4.7. Fotomicrografías del Stock Granodiorítico



4.2.2. Pórfido Cuarzo Dacita II (PQD II)

Este cuerpo intrusivo aflora al norte del stock granodiorítico y al sur del cerro Millucucho, cuyas dimensiones son: 0.3 km. de longitud por 0.25 Km. de ancho. Corta la secuencia sedimentaria, originando silicificación y halos con débil skarnización al contacto con las areniscas y limolitas calcáreas. Según dataciones radiométricas corresponde a una de las primeras fases intrusivas.

Descripción macroscópica

Color: gris a gris cremosos, blanco cremoso, pardo rojizo y anaranjado

Tamaño de grano: fino a medio.

Textura reconocible: porfirítica seriada.

Otras características: Intrusivo con marcada variación en el tamaño de los fenocristales de feldespatos. Se observan fenocristales de cuarzo redondeados por la corrosión de la matriz fina.

Hay fenocristales de hornblenda y moldes cloritizados. Venillas con presencia de goethita y probables arcillas que han impregnado parte de los fenocristales de feldespatos (Figura 4.8).

Descripción microscópica

Minerales esenciales: plagioclasa I (25-30%), feldespato potásico I, cuarzo I (4-6%), hornblenda (3-4%), clinopiroxeno (moldes), plagioclasa II (40-45%), feldespato potásico II (2-3%).

Minerales secundarios: sericita (4-6%), tremolita-actinolita (2-3%), cuarzo II (1-2%), cloritas, titanita II, allanita, epidota, goethita, albita?

Minerales accesorios: titanita I, zircón, apatito, biotita.

Textura: porfirítica seriada, algo glomerofírica. Matriz granular fina.

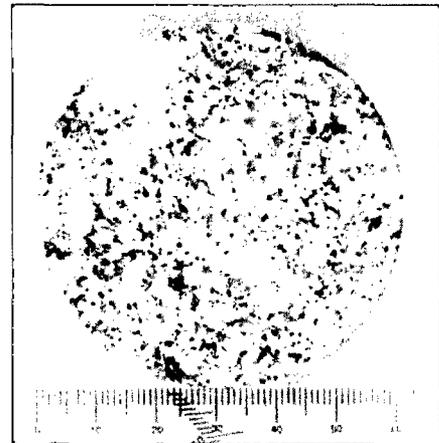


Figura 4.8. Sondaje MM-32, Prof. 243.50 m. PQD II, textura porfirítica seriada. Abundantes Fenos de plgs y Hb.



Observaciones/descripción

Se observa una marcada variación en el tamaño de los fenocristales. Predominan los de plagioclasa I, en su mayoría idiomorfos, zonados y corroídos por la matriz. Presentan un aspecto turbio por sericitización inicial, que es más densa en los bordes de algunos fenocristales. Los fenocristales más pequeños de la plagioclasa I se encuentran más corroídos. Algunos fenocristales de plagioclasa I tienen inclusiones de hornblenda y en otro se observó el único cristal de biotita de la muestra.

Los fenocristales de cuarzo I están fuertemente corroídos y englobados (Figura 4.9a). Los fenocristales de feldespato potásico I son escasos. Hay presencia importante de fenocristales de hornblenda algo cloritizada. Se observan moldes gruesos de un clinopiroxeno que ha sido reemplazado por un ensamble de tremolita-actinolita, cuarzo II y titanita II (Figura 4.9b). La tremolita-actinolita está débilmente cloritizada en algunos moldes. La matriz es muy fina y parece estar compuesta por abundante plagioclasa II, presenta turbiedad por sericitización de grano muy fino. Tiene diseminación de cristales finos de probables titanita II y epidota. También la matriz contiene cristales finos de apatito. Esta roca parece pertenecer a un dique o a un cuerpo sub-volcánico de emplazamiento próximo a la superficie.

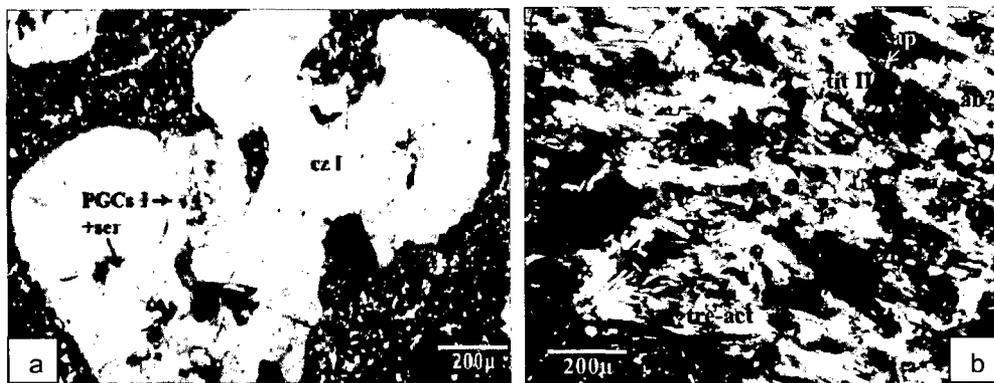


Figura 4.9. Fotomicrografías del PQD II



4.2.3. Pórfido Cuarzo Monzonítico Principal (PQM P)

El PQM Principal es el pórfido portador de la mayor parte de la mineralización, se habría localiza en el borde norte del Stock Granodiorítico, tiene forma elongada con una tendencia NWW - SEE, cuyas longitudes habrían sido 1.0 km. por 0.5 km de ancho, se trata de un cuerpo de forma tabular.

Fue cortado por el PQM Intramineral y por la Brecha Pipe. Sus mejores afloramientos se presentan como remanentes en el borde NE del Sector Trapiche Este y en forma de grandes bloques (mega bloques) dentro de la Brecha Pipe.

Descripción macroscópica

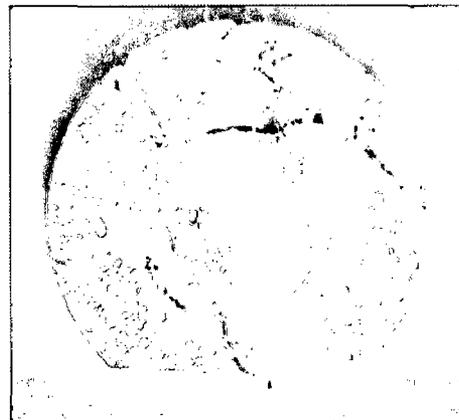
Color: gris a gris verdoso.

Tamaño de grano: fino.

Textura reconocible: porfirítica

Otras características: El Pórfido Cuarzo Monzonítico Principal presenta textura porfídica de grano medio a grueso (fenocristales de hasta 2 cm), abundantes fenocristales de plagioclasas (30°-35%), ortosa (25°-30%), ferromagnesianos (10%) (hornblenda-biotita), ojos de cuarzo (3-5%), en una masa fundamental felsítica compuesta por un agregado fino de feldespato potásico y cuarzo con cantidades menores de ferromagnesianos.

Figura 4.10 TR-M23 Prof. 8.50 m. PQM P, alt. Filica (Cz-ser-ill), stwk de vlls de cz, boxwork de py-cp relleno de hm-goe.





La plagioclasa posee formas subhedrales, tabulares a subcuadradas, con maclas polisintéticas, mientras que la anfíbola presenta hábito prismático de sección romboidal característico y la biotita lo hace en hojas anhedrales.

Presenta venillas de cuarzo, cuarzo-sulfuros multidireccionales tipo stockwork y sheeting (Figura 4.10). Hacia el lado norte y, sobre la base de las observaciones de los testigos de sondajes, aparece intruyendo lutitas y limolitas las que ocurren fuertemente metamorfozados a rocas córneas.

Descripción microscópica

Minerales esenciales: plagioclasa I (restos, 3-5%), feldespato potásico I (2-3%), cuarzo I (2-3%), biotita I (moldes y restos, 1-2%), plagioclasa II (18-20%), cuarzo II (6-8%), feldespato potásico II (3-5%).

Minerales secundarios: sericita (20-25%), cuarzo III (15-20%), arcillas (3-5%), biotita II (3-4%), feldespato potásico III (2-3%), opacos (2-3%), cloritas (1.-2%), óxidos de Ti, albita.

Minerales accesorios: apatito, zircón.

Textura: porfirítica.

Observaciones/descripción

Roca alterada con abundantes moldes de fenocristales sericitizados de plagioclasa I y menor cantidad de fenocristales de feldespato potásico I. Gran parte de los cristales se encuentran corroídos, en parte rotos y reabsorbidos por efectos de la alteración hidrotermal (Figura 4.11a). Los fenocristales de cuarzo I están corroídos y sobrecrecidos por cuarzo III (Figura 4.11b). A partir de las venillas finas una parte de la matriz ha sido silicificadas. Se observan granos de cuarzo III agrupados y de tamaño algo mayor que los granos de cuarzo II. Los feldespatos de la matriz parecen ser en gran parte plagioclasa II (Figura 4.11c).



Los fenocristales de biotita I muestran restos de este mineral decolorados, asociados a restos de biotita II cloritizados a opacos, y a probables óxidos de Ti (Figura 4.11d). Hay en algunas venillas, o cerca de estas, algo de feldespato potásico III asociado al cuarzo III.

En las venillas se observan también opacos, cloritas y en una de ella cristales de albita. Los opacos ocurren también diseminados. La roca presenta en general un aspecto turbio por argilización supérgena.

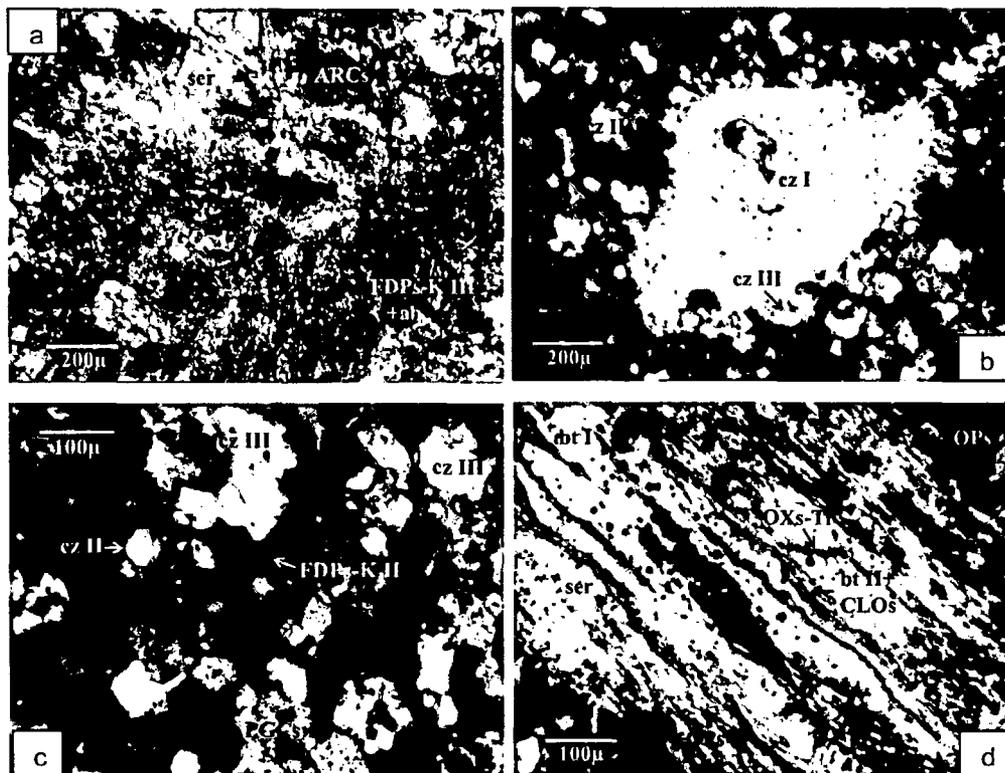


Figura 4.11. Fotomicrografías del PQM Principal

4.2.4. Pórfido Cuarzo Monzonítico Intramineral (PQM I)

El PQM Intramineral intruye al pórfido principal, se ubica en la parte sureste del sistema y tiene una extensión de 1.2 km x 0.2 km con un trend ENE. Está afectado por una débil a moderada alteración potásica. Presenta algunas venillas de cuarzo-Fspar,



aisladas venillas de cuarzo-calcopirita-molibdenita, cuarzo-pirita y algunas sólo de cuarzo. Cabe señalar que en algunas vetillas con calcopirita se encontró tenorita y trazas de molibdenita.

Descripción macroscópica

Color: pardo anaranjado, gris violáceo, negro pardusco.

Tamaño de grano: fino a medio.

Textura reconocible: porfirítica

Otras características: Roca intrusiva con abundantes fenocristales de feldespatos sericitizados, deformados y corroídos por la matriz.

Hay fenocristales de biotita y la matriz es equigranular parece contener abundante cuarzo.

Las microvenillas presentan halos de clorita y óxidos de Fe. Se aprecia diseminación de cristales idiomorfos de titanita.

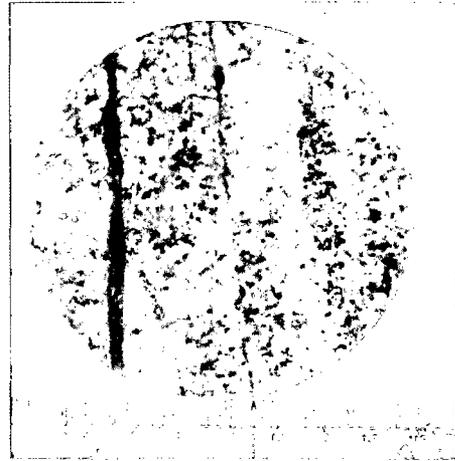


Figura 4.12. TR-M27, Prof. 48.40 m. PQM I, alt. Potásica (Fspar-bt-mgt), vlls de qz-Fspar, cortada por venilla de qz-py-mb.

Descripción microscópica

Minerales esenciales: plagioclasa I (45-50%), cuarzo I (8-10%), feldespato potásico I, biotita I (3-4%), plagioclasa II (10-15%), cuarzo II (6-8%), feldespato potásico II (1-2%), anfíboles (moldes).

Minerales secundarios: cuarzo III (4-6%), sericita (3-5%), cloritas (2-3%), opacos (1%), óxidos de Fe (1%), biotita II, óxidos de Ti, allanita.

Minerales accesorios: titanita.

Textura: porfirítica seriada, glomerofírica.

Observaciones/descripción

Los fenocristales son abundantes, de tamaños variados y se encuentran fuertemente corroídos y reabsorbidos por la matriz (Figura 4.13a). Hay fenocristales de plagioclasa I con rasgos de



recristalización. Se observan pocos fenocristales de feldespato potásico I, presentan sericitización incipiente. Los fenocristales de cuarzo I presentan extinción ondulante, fuerte corrosión de la matriz, están fracturados y sobrecrecidos por cuarzo III (Figura 4.13b). Fenocristales deformados y cloritizados de biotita I. Ocurren moldes de anfíboles remplazados por biotita II (restos), cloritas y óxidos de Ti (Figura 4.13c).

La matriz es escasa, de grano relativamente grueso, está compuesta por plagioclasa II, cuarzo II y escaso feldespato potásico II. En contacto con los fenocristales se observa alteración de cuarzo III (Figura 4.13d). En la matriz también se encuentran moldes pequeños de anfíboles, titanita idiomorfa, remplazada por agregado muy fino de probable rutilo y leucóxeno.

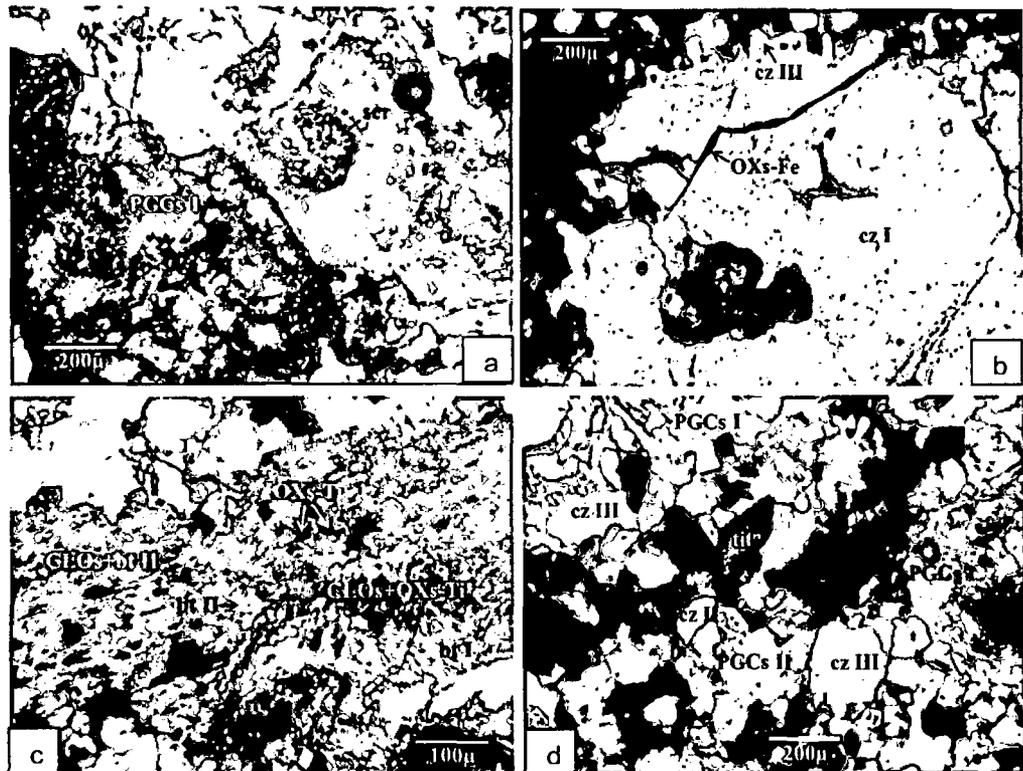


Figura 4.13. Fotomicrografías del PQM Intramineral.



4.2.5. Pórfido Granodiorítico Tardío (PGD)

El PGD es un conjunto de diques y sills débilmente mineralizado, corta al PQM principal e Intramineral y a los sedimentos clásticos. Macroscópicamente tiene un color gris claro verdoso de textura granular, presenta fenocristales de cuarzo de hasta 0,5 cm de tamaño. La plagioclasa presenta tamaños menores a 0,5 cm, algunos cristales de plagioclasa se están alterando, la hornblenda se presenta en menor porcentaje aproximadamente 2-3 % con tamaños menores a 0,5 cm, hay la presencia de pirrotita y pirita (Figura 4.14a y b).

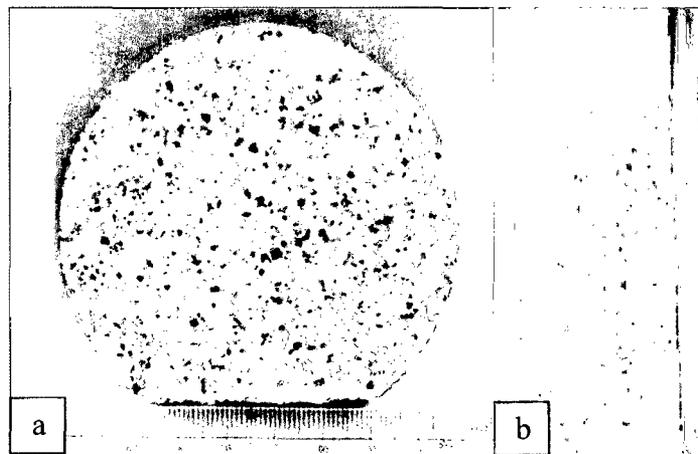


Figura 4.14.

a) TR-86, Prof. 172.50 m. PGD, débil alteración Propilítica (Cl-ep)

b) TR-43, Profundidad 556.00 m. PGD, nótese los fenos de albita.

Estudio microscópico:

Minerales esenciales: Plagioclasas (52 %), Feldespato potásico (35%), Cuarzo (10%)

Minerales accesorios: Anfíboles, Biotita, Calcopirita

Minerales Secundarios: Actinolita, Cloritas, Pirita, Marcasita, Carbonatos, Rutilo, Esfena, Sericita, Óxidos de Hierro, Jarosita.

Descripción

La muestra presenta textura granular porfírica; con presencia de fenocristales subordinados a una matriz cuarzo feldespática granular alotriomorfa de grano fino (150 micras de



tamaño promedio). El cuarzo ocurre como fenocristales anhedrales redondeados a subredondeados cuyo tamaño llega a los 4 mm, es frecuente que presente textura engolfada e inclusiones de hasta 800 micras de la matriz o de anfíboles. También ocurre dentro de la matriz pero en forma escasa.

La plagioclasa se presenta como fenocristales euhedrales y tabulares de hasta 2.8 mm de tamaño, puede formar glomerocristales, se encuentra maclada y algunos granos zonados; la mayoría de cristales muestran una muy leve alteración sericítica, y localmente los cristales muestran fracturamiento relleno de óxidos de hierro y jarosita. También está presente en la matriz. El feldespato potásico ocurre como fenocristales subhedrales y anhedrales de hasta 2.8 mm de tamaño; generalmente esta ligeramente argilizado en sus superficies; puede formar glomerocristales junto con la plagioclasa. También está presente dentro de la matriz.

Los anfíboles se presentan como fenocristales tabulares y prismáticos de hasta 2 mm de largo, algunos son relictos, otros presentan una alteración parcial a actinolita o a pirlita (Figura 4.15b). Pueden tener inclusiones finas de rutilo. La biotita se presenta en forma escasa como fenocristales relictos y tabulares de hasta 1.1 mm de tamaño; se encuentra alterada a actinolita, carbonatos.

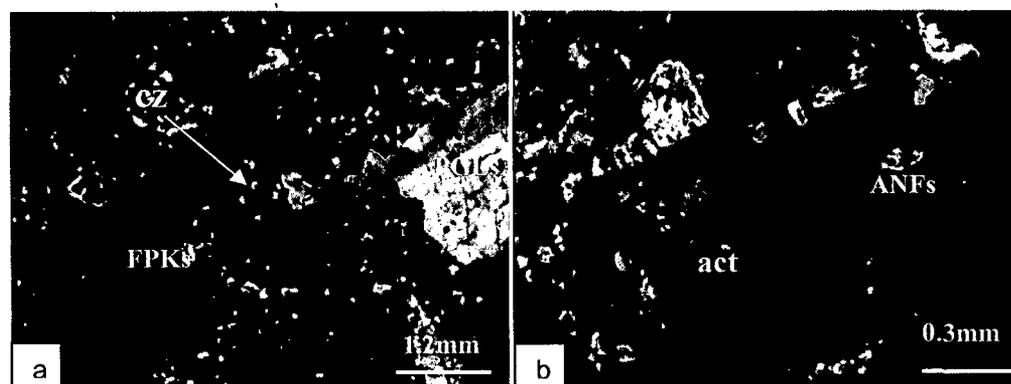


Figura 4.15. Fotomicrografías del PQM Tardío (PGD).



4.2.6. Pórfido Cuarzo Dacita (PQD)

Se ubica al sur de la Brecha Pipe, con dirección N – S; se presenta cortando al Stock Granodiorítico y al PQM Intramineral; probablemente sea contemporáneo con la formación de la Brecha Pipe ya que en sectores se encuentra formando parte de la matriz.

Descripción macroscópica

Color: gris verdoso y gris claro.

Tamaño de grano: fino a medio.

Textura reconocible: porfirítica

Otras características: Roca intrusiva de grano fino con abundantes fenocristales (plagioclasas?), la mayor parte idiomorfos, probablemente sericitizados, con inclusiones de biotita cloritizada. La matriz es afanítica. Hay fenocristales escasos de cuarzo.

Se observan fenocristales de biotita y de probables anfíboles cloritizados. Hay recubrimiento de goethita en un lado de la muestra (Figura 4.16).

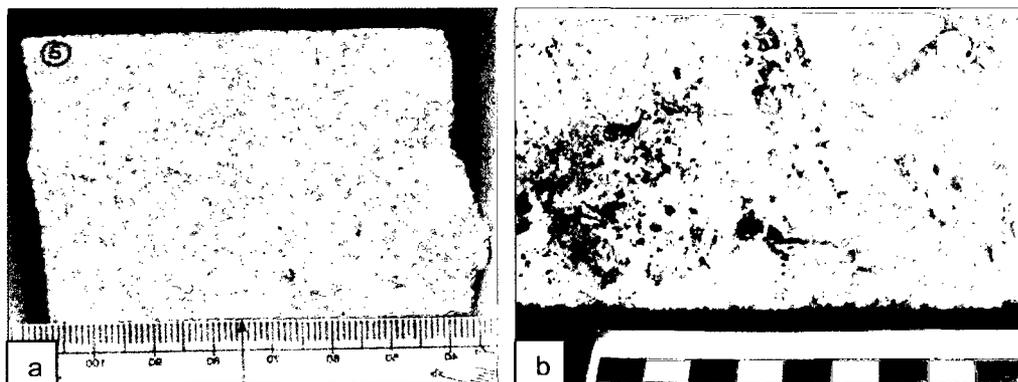


Figura 4.16 a) PQD con abundantes fenocristales de plagioclasa sericitizada y fenocristales finos de biotita en matriz fina. b) Sondaje TR-67, Prof. 209.75 m. Contacto cortante del PQD a la izquierda cortando al PQM principal con fuerte alteración potásica y buen desarrollo de venillas de cuarzo.



Descripción microscópica

Minerales esenciales: plagioclasa I (restos, 25-30%), feldespato potásico I (3-5%), cuarzo I (4-6%), biotita (restos y moldes, 1-2%), plagioclasa II (10-12%), feldespato potásico II (?).

Minerales secundarios: sericita (25-30%), cloritas (8-10%), cuarzo II (6-8%), óxidos de Ti (2-3%), óxidos de Fe, opacos.

Minerales accesorios: apatito, titanita (moldes), zircón.

Textura: porfirítica seriada, poiquilítica.

Observaciones/descripción

Roca con abundantes fenocristales, de tamaños muy variados y muy corroídos por la matriz. Los más abundantes son los fenocristales de plagioclasa I, de aspecto turbio por la sericitización. Además la gran parte de estos fenocristales tienen inclusiones de moldes de biotita decolorada y cloritizada (Figura 4.17a).

Los fenocristales de feldespato potásico I son más escasos y se encuentran menos alterados por cloritas y sericita. Tiene inclusiones de moldes de fenocristales pequeños de plagioclasa I sericitizados. Además tiene inclusiones de moldes de biotita cloritizada.

Los fenocristales de cuarzo I se encuentran bastante corroídos y sobrecrecidos por cuarzo II hidrotermal (Figura 4.17b). Hay relativa abundancia de fenocristales de biotita, decolorada y cloritizada, con inclusiones de playas casi opacas de óxidos de Ti (Figura 4.17c). La matriz está compuesta por abundante plagioclasa II que se encuentra finamente sericitizada y con presencia de moldes finos con cloritas. Hay dentro de la matriz playas con cuarzo II hidrotermal, de tamaño variado (Figura 4.17d). Ocurren también dentro de la matriz granos muy finos de probables óxidos de Ti.

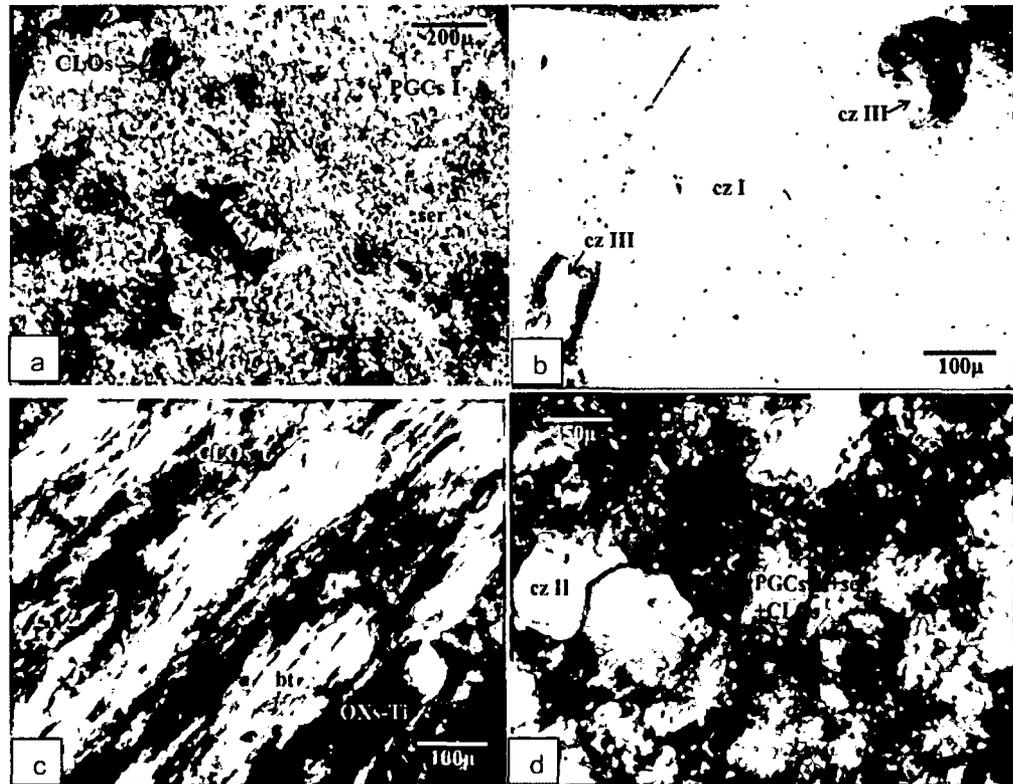


Figura 4.17. Fotomicrografías del PQD

4.2.7. Diques de Dacita – Andesita porfírica

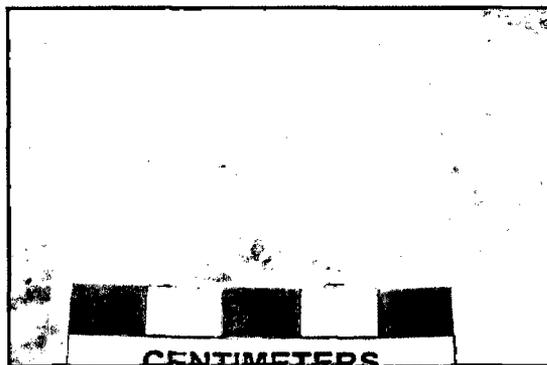
Corresponden al último evento intrusivo dentro del sistema, y afloran a manera de diques con una orientación predominante NNW y ENE. Estos intrusivos cortan a todas las unidades ígneas descritas anteriormente, ubicándose mayormente en el borde NNW del depósito y en menor intensidad en la Brecha Pipe y demás unidades intrusivas.

Descripción macroscópica:

Presentan textura granular con presencia de cuarzo con fenocristales de hasta 0.5 cm, se observan fenocristales de plagioclasa menores a 0.5 cm, la hornblenda se presenta como pequeños cristales, también se puede observar que hay epidotización. Se observa pirita y pirrotita que constituye un 3%.



Figura 4.18. Muestra de mano de un dique dacítico con moldes de plagioclasa sericitizada y algunos además con cloritas. En los moldes más finos, amarillo-anaranjados, hay arcillas impregnadas por óxidos de Fe.



Estudio microscópico

Minerales esenciales:

Plagioclasas (40%), feldespato potásico (15%), cuarzo (42%)

Minerales accesorios: Apatito, Anfíboles (3 %)

Minerales secundarios: Carbonatos, Sericita, Cloritas, Arcillas, Rutilo, Pirita, Calcopirita, Pirrotita, Marcasita, Óxidos de hierro; jarosita, Albita secundaria.

Textura: Granular porfirítica.

Descripción

La muestra presenta predominio de matriz granular alotriomorfa con tamaño de grano de 30 micras en promedio. Los fenocristales tienen tamaños variados (hasta milimétricos); la matriz de la roca es granular alotriomorfa con tamaño de grano de 400 micras en promedio. El cuarzo ocurre como fenocristales cuyos tamaños pueden llegar a 3.2 mm, redondeados con textura engolfada, algunos cristales tienen bordes corroídos por la matriz, otros están fracturados o tienen inclusiones de la matriz. También está presente en la matriz (Figura 4.19a).

Las plagioclasas se presentan como fenocristales tabulares de hasta 2.8 mm de largo, con la macla de la albita y de la periclina, otros presentan zonación; pueden formar glomerocristales; la mayoría de los fenocristales se encuentran alterados sobre todo en los núcleos a carbonatos, sericita, albita. También se encuentra como parte de la matriz (Figura 4.19b). Los feldespatos potásicos ocurren como fenocristales de diverso tamaño, llegando a medir



hasta 15 mm de tamaño; generalmente contienen inclusiones de cuarzo, anfíboles o plagioclasas; muestra una débil argilización. También está presente en la matriz.

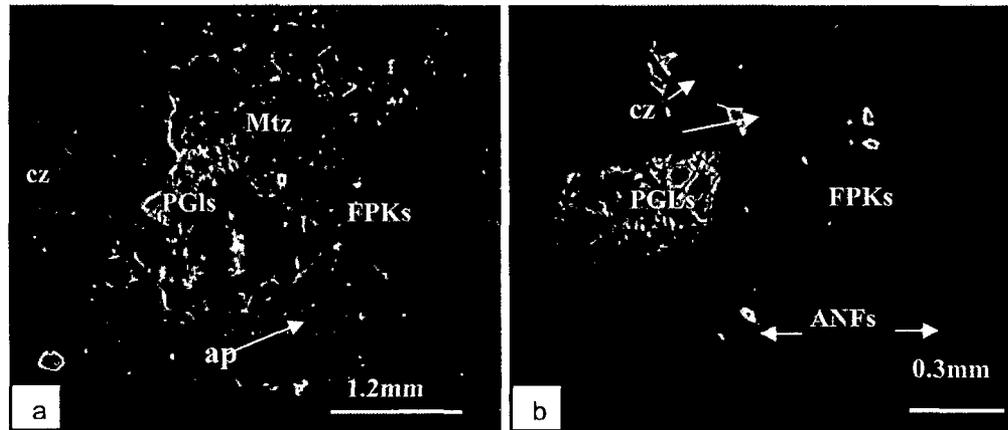


Figura 4.19. Fotomicrografías de una dacita porfírica.

4.3. BRECHA PIPE

Uno de los aspectos más notables del yacimiento Trapiche es la presencia de cuerpos de brecha hidrotermales que configuran la chimenea de brecha (Brecha Pipe). Esta chimenea de brecha se localiza en el extremo NW del yacimiento Trapiche, tiene forma aproximadamente elipsoidal con un trend NE, en planta se extiende en ~ 0.9 km. de largo y ~ 0.6 km. de ancho; en profundidad se conoce por lo menos 0.5 km. Los contactos son subverticales con una ligera tendencia hacia el sureste; se habría emplazado en el contacto del pórfido principal con la roca huésped de areniscas y lutitas del Grupo Yura.

El cuerpo de Brecha Pipe, está compuesto por cuatro distintos tipos de brecha perfectamente reconocibles que son: brecha cuarzo-magnetita, brecha cuarzo-mineral, brecha cuarzo-turmalina y brecha freatomagmática.



4.3.1. Brecha cuarzo-magnetita (BxCMgt)

Este cuerpo de brecha se localiza en la parte más profunda del cuerpo de brecha, de naturaleza clastosoportada con predominio de fragmentos de pórfido, matriz de cuarzo, magnetita, actinolita, clorita, epidota, pirita y calcopirita. Este cuerpo está abierto en profundidad, sus valores en Cu son bajos < 0.2 % Cu.



Figura 4.20. Sondaje TR-10, Profundidad 488.70 m. Bx qz-mgt heterolítica clastosoportada conteniendo fragmentos subredondeados de pórfidos (75%), areniscas y limolitas (25%). Matriz de cuarzo, magnetita, clorita, actinolita +- sulfuros.

4.3.2. Brecha cuarzo mineral (BxCM)

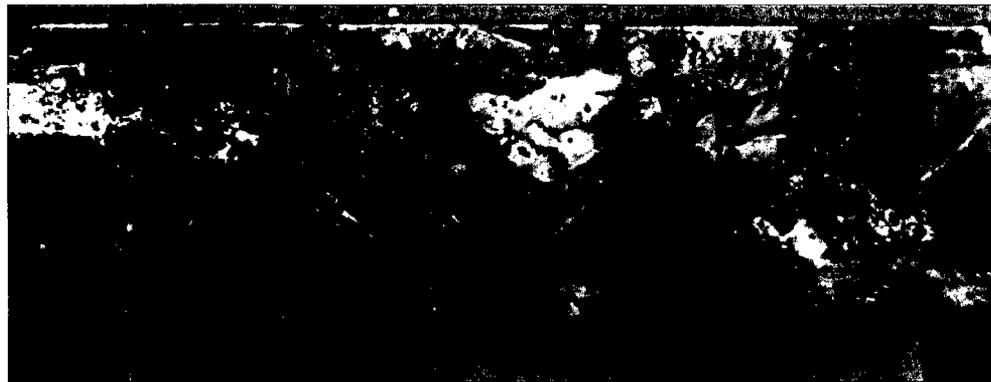
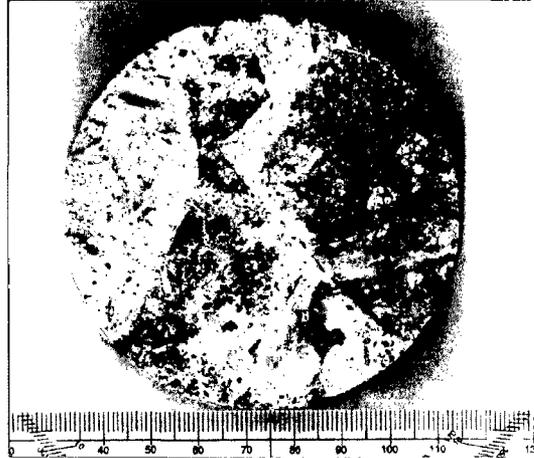
Es la más abundante e importante por albergar la mineralización, aflora en toda su extensión en la franja NW de la Brecha Pipe y a lo largo de casi toda su extensión vertical; consiste en fragmentos heterolíticos subangulosos a angulosos de centimétricos a métricos corresponden a pórfidos, areniscas, limolitas, matriz de cuarzo, feldespatos calcopirita, pirita, molibdenita, especularita en el fondo y cuarzo-arcillas- pirita, covelina, calcosina, digenita, óxidos de hierro en los niveles superiores.

Hacia la parte sur y sureste de la brecha predominan los clastos de PQM principal e intramineral; mientras que hacia el norte y oeste dominan las areniscas y limolitas, en la parte central se observan clastos de ambas composiciones. Localmente hay



sectores con presencia de espacios abiertos en la matriz producto posiblemente de disolución de sulfatos (?), así como incremento de molibdenita en la matriz en el borde sureste. El contenido metálico presenta valores entre 0.3 – 0.7 % Cu en promedio.

Figura 4.21. a) Sondaje TR-M02, Profundidad 107.00 m. BxCM heterolítica clastosoportada con fragmentos subangulosos de pórfidos (80%), areniscas y limolitas (20%). Matriz de cuarzo, sulfuros, clorita, especularita



b) Sondaje TR-61; Prof. 100.50 m. BxCM, polimíctica conteniendo fragmentos de Areniscas > PQM, en matriz de cuarzo-calcopirita-pirita-molibdenita; alt. Clorítica (cz-cl-ill).

4.3.3. Brecha cuarzo turmalina (Bx-CT)

Aflora a lo largo del borde sureste del cuerpo de brecha y está restringida a la parte superior del sistema de la Brecha Pipe hasta una profundidad de 100 m, acompañan especularita y pirita, presenta leyes bajas de cobre.



Figura 4.22. Sondaje TR-74; Prof. 36.00 m. Bx-CT heterolítica, clastos de PQM P, PGD, dacita+-areniscas. Matriz de cuarzo-turmalina-pirita-arcs; alt. Argílica (mont-ill-cao).

4.3.4. Brecha Freatomagmática

Corresponde a un evento tardío freatomagmático, asociado al término de la fase hidrotermal principal y al comienzo de la etapa argílica avanzada. Este cuerpo de brecha es matriz soportado y está alojado al interior del cuerpo principal de brecha y se ha reconocido en base a los sondajes entre las cotas 4250 m y 4050 m. probablemente de forma elongada de 250 m. de largo por ~ 50-60 m. de ancho, compuesto por fragmentos redondeados a subredondeados de pórfidos, areniscas y limolitas silicificadas de tamaños centimétricos los que se ubican dentro de una matriz de material molido fino y en sectores matriz porfirítica (Tufisita). Es claramente un evento tardío de alta energía desarrollado al interior de la brecha.



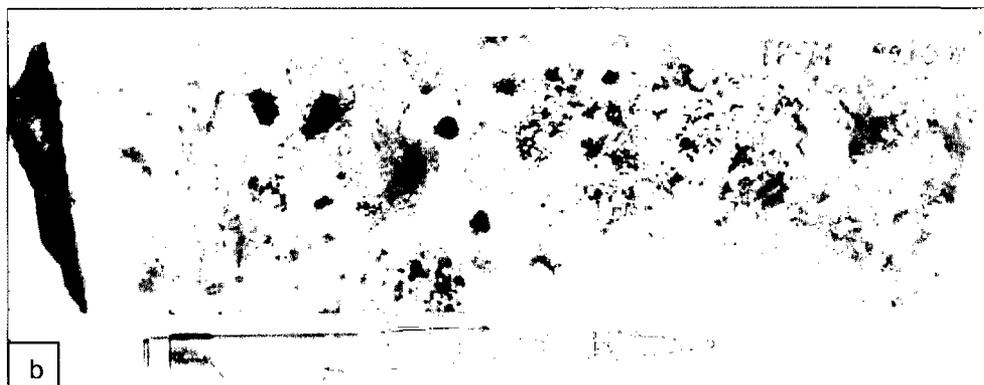


Figura 4.23. a) sondaje TR-10; profundidad 386.40 m. Brecha matriz soportada con clastos redondeados y subredondeados con matriz de sílice y sulfuros y material fino de roca. b) Sondaje TR-74; 99.65 m. Brecha heterolítica, conteniendo fragmentos de Dacita-PQM>Areniscas, matriz intrusiva porfirítica-cuarzo-clorita-sulfuros, alteración Clorítica (cuarzo-clorita), parches-puntos de neotocita.

4.4. DATACIONES RADIOMÉTRICAS

Un conjunto de nueve muestras fueron recolectadas para ser datadas según el método U-Pb en circones por SHRIMP IIe. Este análisis se realizó en el Instituto de Geociencias de la Universidad de Sao Paulo en Brasil bajo la supervisión del Dr. Colombo Tassinari.

Los nueve especímenes fueron recolectados de los afloramientos en superficie de las principales unidades intrusivas descritas anteriormente, como son 2 muestras de PQM Intramineral y del PQM Tardío (PGD) y de los demás tipo de litología solo una muestra; cabe indicar que la muestra TD 9, fue extraída en la zona de la brecha donde la roca está completamente obliterada, probablemente se trate de un bloque de intrusivo premineral y no de un dique dacítico Tardío (Lámina 5).



CAPITULO V: GEOLOGIA ECONOMICA

INTRODUCCIÓN

El sistema porfirítico de Cu-Mo Trapiche, está relacionado a eventos magmático-hidrotermales, resultado de la interacción de fluidos magmáticos y aguas meteóricas. La evolución espacial y temporal de estos procesos está en función de los controles estructurales, litológicos, evolución magmática, permeabilidad, disponibilidad y distribución espacial de fluidos ricos en metales y volátiles sean estos oxidados o reducidos (Camus, 2003). La evolución en el tiempo de los diferentes procesos y factores involucrados en la génesis del pórfido Trapiche, han modelado la morfología y el estilo de alteración del sistema.

5.1. ALTERACIONES HIDROTERMALES

La alteración hidrotermal abarca un área de 4.0 km. de largo x 2.0 km. de ancho en un trend N-S. Producto del mapeo de detalle superficial y el registro geológico de los testigos de sondajes se ha podido reconocer tres eventos principales de alteración que son los siguientes:

Evento Prógrado (Alteraciones Calco-sódica, Potásica y Propilítica)

Este evento se asocia a la generación de magmas, a su emplazamiento y a su cristalización. Los magmas relacionados con mineralización son moderadamente hidratados y ricos en metales, producto de la fusión parcial, en zonas de subducción del manto astenosférico o de la corteza continental inferior que tienden a producir fundidos ricos en metales básicos y preciosos (Camus et., al 2003).



Evento Retrógrado (Alteraciones Argílica Intermedia y Fílica)

Los efectos retrógrados se producen una vez que los complejos intrusivos han cristalizado y consecuentemente las condiciones de presión y temperatura han disminuido, se van incorporando los fluidos meteóricos al sistema. Como resultado, el sistema cambia desde condiciones cercanas a temperaturas magmáticas y presión litostática a condiciones hidrostáticas de menor temperatura. Bajo estas condiciones la textura original de la roca va alterándose hasta ser destruida casi por completo (F. Camus, 2003).

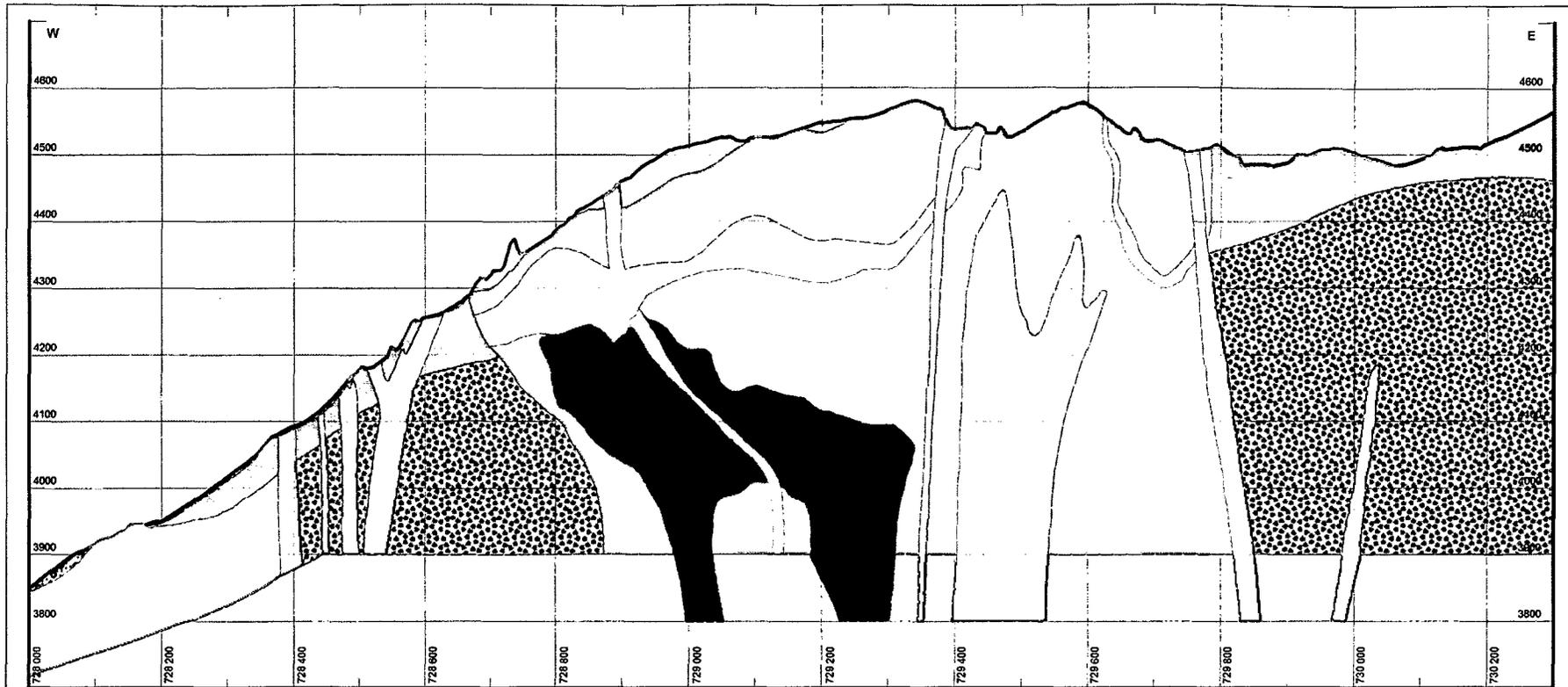
Evento Supérgeno (Alteración Argílica supérgena)

Corresponde a la alteración Argílica supérgena, definida por la presencia de arcillas (caolinita, montmorillonita, illita). Se presenta principalmente cerca a superficie asociado a la zona de lixiviación y óxidos.

Cabe indicar que existen dos episodios secuenciales que participaron en el origen del sistema porfídico de Trapiche. Episodio de formación del pórfido de Cu-Mo y episodio de la Brecha hidrotermal (Brecha Pipe), ambos eventos ocurren centrados en el PQM principal e Intramineral.

5.1.1. Episodio de formación del pórfido de Cu-Mo

Este evento responsable de la formación del sistema está representado por el emplazamiento de los intrusivos cuarzomonzoníticos portadores de la mineralización, producto de la diferenciación magmática a partir del complejo intrusivo granodiorítico.



A

B

LEYENDA

ALTERACIONES

- Potásica (Bi - Kf, act, qz cp-py)
- Propilítica (Cl-ep-py-ca)
- Clorítica (Cl, esp-ep-scp)
- Argílica (Qz-Kao-arc)
- Argílica Int (Qz-cl-ill)
- Filica (Qz-ser-ill)
- Sílice

- Skam (GRNs-ep-act-prx-cs)
- Skam (Qz-mgt)
- Skam (clorita-piroxenos)
- Hornfels
- Carbonatación
- Calco Sodica (Cl-mgt-act, py, trz ep.)

0 m 100 m 200 m

ESCALA GRAFICA

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		ESCALA GRAFICA	DIVISION DE EXPLORACIONES PROYECTO TRAPICHE	
		FECHA	<p>SECCIÓN A - B ALTERACIÓN</p> <p>LAMINA 7</p>	
<p>TESIS</p> <p>CONTOLES ESTRUCTURALES DEL PORFIDO TRAPICHE APURIMAC - PERÚ</p>	<p>SETIEMBRE 2013</p>			
<p>TESISTA</p> <p>Bach. JHIMER E. GONZALES SANCHEZ</p>	<p>ZONA 18S Psad 56</p>			
<p>SOPORTE GIS</p> <p>Dpto. GEOLOGÍA</p>				
<p>ASESOR UNC</p> <p>Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE</p>				
<p>ASESOR BVN</p> <p>Ing. JAVIER VELIZ MAMANI</p>				



A. Alteración Potásica

Es la alteración principal y de mayor extensión responsable de fijar el cobre en el sistema. El ensamble de alteración está constituido por: cuarzo, feldespato potásico, biotita y magnetita, ocurre en forma pervasiva y selectiva (Figura 5.1). La geometría de la alteración se ajusta a la forma elongada de los intrusivos cuarzomonzoníticos principal e intramineral, lateralmente y en profundidad grada hacia facies propilíticas. Se presenta muy desarrollada como alteración de fondo al interior del PQM Principal e Intramineral se caracteriza por la presencia de vetillas de cuarzo tipo "A", multidireccionales.

Estas vetillas de cuarzo tipo son vetillas tempranas de cuarzo-feldespato potásico con puntos de calcopirita, discontinuas sinuosas de forma agusanada y no tienen halos de alteración con anchos de 0.2-2.0 cm. Ocurren en el PQM Principal e Intramineral donde se pueden apreciar hasta tres generaciones de vetillas, cuya densidad promedio es 5-10 vetillas por metro y en zonas aisladas se tienen núcleos de 40-100 vetillas por metro (Figura 5.2 a y b).

La proporción de calcopirita/pirita es aproximadamente 1/1 y las leyes medias de este ámbito se estiman tentativamente en 0,1 – 0,3 % Cu. Localmente se tienen zonas con fuerte alteración de biotita secundaria con calcopirita >>pirita (ratio cp/py=3/1); probablemente se trate de una subfase potásica más tardía en un ambiente reductor.



Figura 5.1. Sondaje TR-79, Prof. 181.10 m. PQM P, fuerte alteración potásica (Feldespato potásico, biotita, magnetita) pervasiva, grandes parches de calcopirita.

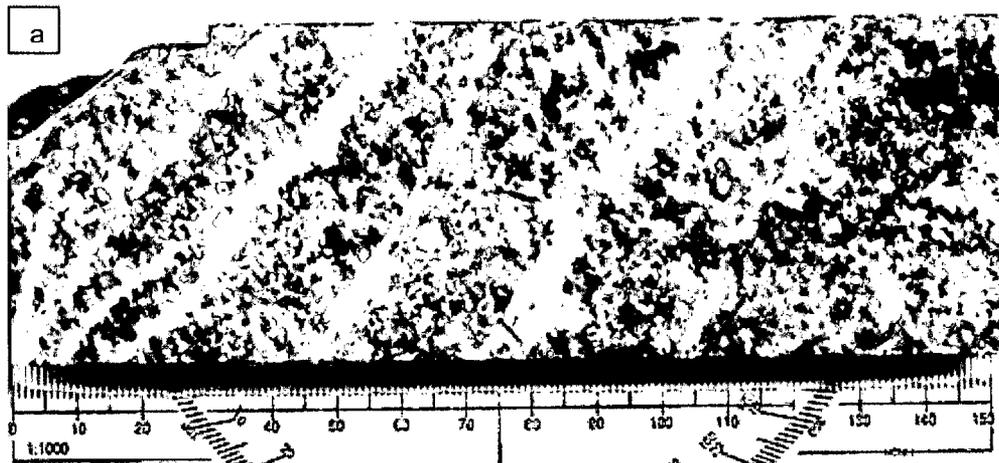


Figura 5.2. a) Sondaje TR - 46; Prof. 342.50 m. Nótese las venillas de cuarzo – feldespato potásico con trazas de calcopirita. b) Sondaje TR - 84; Prof. 202.00 m. Venillas de cuarzo gris sinuoso e irregular de 0.2 0.5 cm., cortado por venillas de cuarzo – feldespato potásico con trazas de calcopirita de 0.7 cm.



B. Alteración Propilítica

Su ensamble de alteración está constituido por: clorita, sílice, epidota, carbonatos y pirita; se encuentra irregularmente distribuido en el PQM Intramineral, con mayor extensión en el stock granodiorítico, diques tardíos y rocas hospedantes.

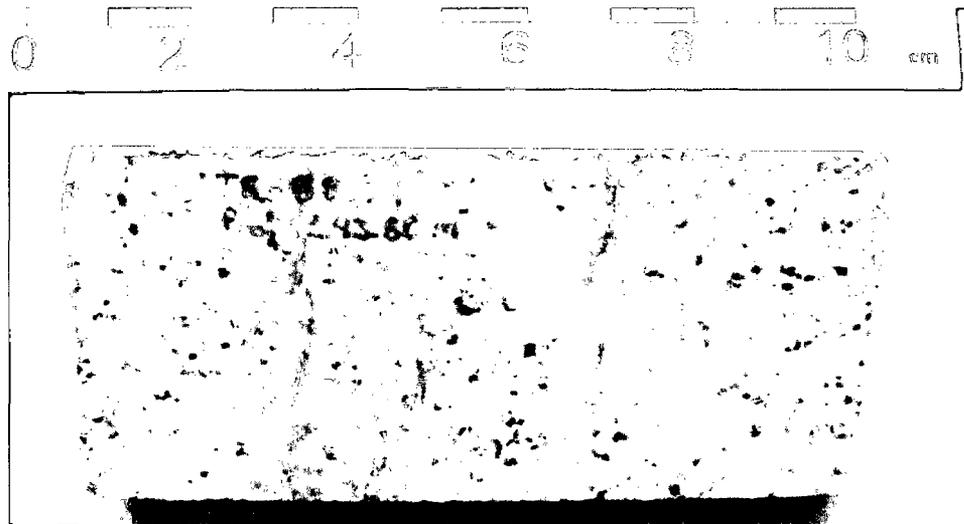


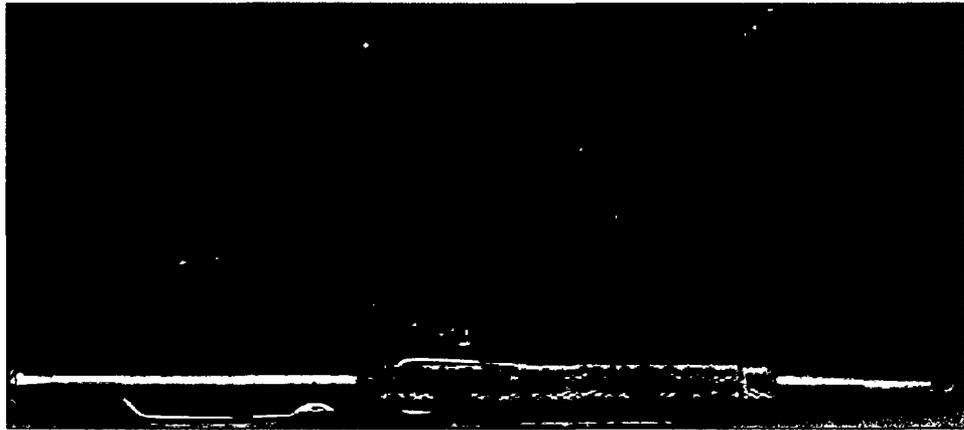
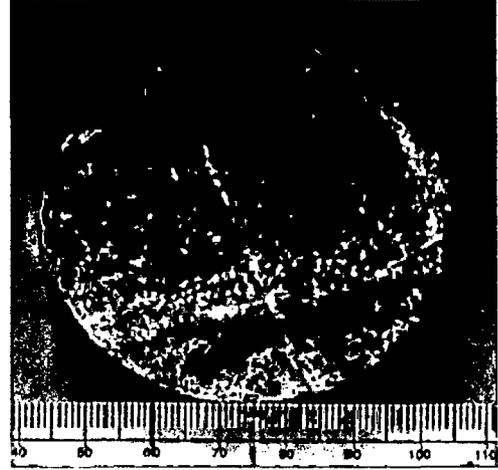
Figura 5.3. Sondaje TR-68 profundidad 143.50 m. PQM Intramineral, alteración propilítica (clorita-calcita-pirita) selectiva. Aisladas venillas de pirita-calcita.

Mientras este evento Prógrado se desarrollaba en los pórfidos monzoníticos; simultáneamente en las areniscas y limolitas calcáreas se desarrollaban pequeños lentes de skarn cuarzo-magnetita-granates y skarn granates-piroxenos en las zonas proximales a los intrusivos, en las zonas distales y de mayor extensión en las limolitas se desarrollaron los hornfels ver figuras 5.4a y b.

Así mismo se formaron venillas tipo “EB” probablemente contemporáneas con las vetillas tipo A, con mayor desarrollo en la roca caja (areniscas y limolitas), consisten en microvenillas milimétricas de biotita con calcopirita, pirita con halos de clorita (Figura 5.5)



Figura 5.4. a) Muestra de mano, bandas de skarn de granates marrones de grano fino alternando con piroxenos (diópsido); escasos puntos de cp. Sector Millucucho



b) Sondaje MI-05; Prof. 57.65 m. Hf con diseminación y venillas de cp.

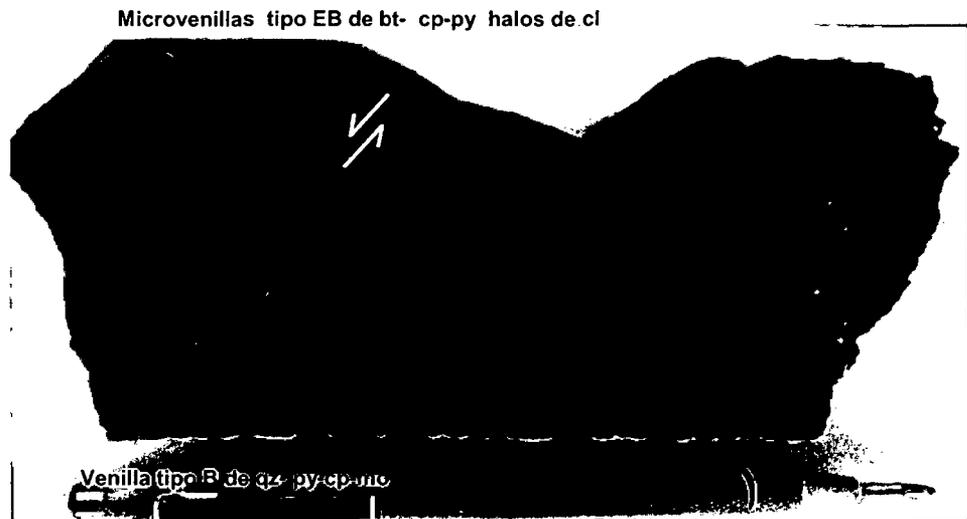


Figura 5.5. Microvenillas de biotita -cp-py cortadas por venillas de cuarzo gris con sutura central relleno de py-cp-mo.



C. Alteración Argílica Intermedia

Son las primeras evidencias de los procesos retrógrados desarrollados en el PQM Principal e Intramineral, se superpone a la alteración potásica en franjas, asociado a un fuerte control estructural NWW.

Esta alteración incluye sericita, clorita, arcillas (illita y esmectita) y calcita. A este ensamble suele acompañar magnetita martitizada y los contenidos de pirita aumentan con relación a las asociaciones tempranas anteriores, mientras que la calcopirita se mantiene (Figura 5.6).

Durante esta etapa se formaron las venillas tipo “B” caracterizadas por ser continuas de paredes rectas con sutura central de calcopirita, pirita y molibdenita (Figura 5.7). A través de estas venillas el sistema incorporó una primera etapa de mineralización de molibdeno. Estas venillas se desarrollaron en el PQM Principal e Intramineral y se encuentran cortando a las venillas tipo A y EB.



Figura 5.6. Sondaje TR -44; Prof. 217.70 m. PQM Intramineral, alteración argílica Intermedia (illita-esmectita-sericita-clorita), escasas venillas de clorita-sulfuros.



Figura 5.7. Venilla de 0.7 cm continua de cuarzo gris con suturas central relleno de calcopirita-pirita- molibdenita.

D. Alteración Fílica

En el depósito Trapiche esta alteración estaría relacionada a una etapa Fílica temprana con aporte de sílice. El ensamble es cuarzo-sericita-illita-pirita-clorita, acompañan anhidrita. Se asume un ambiente frágil, con temperaturas 400°C a 300°C. La presencia de sericita hidrotermal obliterando la textura estaría marcando procesos de alteración retrógrados con hidrolisis.

Esta restringida a delgadas franjas controladas estructuralmente por los sistemas WNW y ENE; donde se forman zonas con fuerte alteración fílica con características de verdaderas zonas silíceas con alta ley de cobre (Figura 5.8).

Durante esta etapa se formaron las venillas tipo “C” milimétricas a centimétricas de pirita, pirita+calcopirita con ó sin halos de cuarzo, clorita, sericita verde e illita. Se han desarrollado tanto en los pórfidos monzoníticos como en la roca huésped; cortan a las venillas de cuarzo tipo A, EB y B (Figura 5.9).

Las venillas tipo “D” son escasas, sin embargo se han reportado venillas de pirita con puntos de galena y esfalerita con halos sericiticos cortando a las venillas anteriores.



Figura 5.8. Sondaje TR - 30; Prof. 23.60 m. PQM P, alteración Fílica (cz –ser-ill-py) moderado stockwork de venillas de cz – sulfuros secundarios.

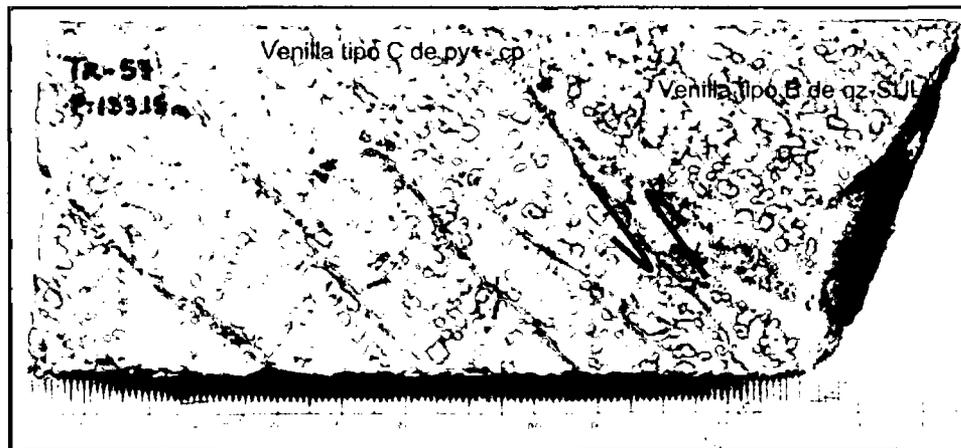


Figura 5.9. Sheeting de venillas de py+cp (tipo C); cortando a venilla de cuarzo (tipo B) con sutura rellena de pirita-calcopirita-molibdenita.

Las últimas evidencias del sistema hidrotermal están evidenciadas por venillas tardías de carbonatos-clorita-pirita en los pórfidos monzoníticos; en los diques tardíos se presentan venillas de calcita-clorita-pirita y en la roca caja existen vetas de cuarzo gris, pirita, arsenopirita.



Figura 5.10. Venillas de calcita, rodocrosita, piritita, cortando a venillas anteriores.

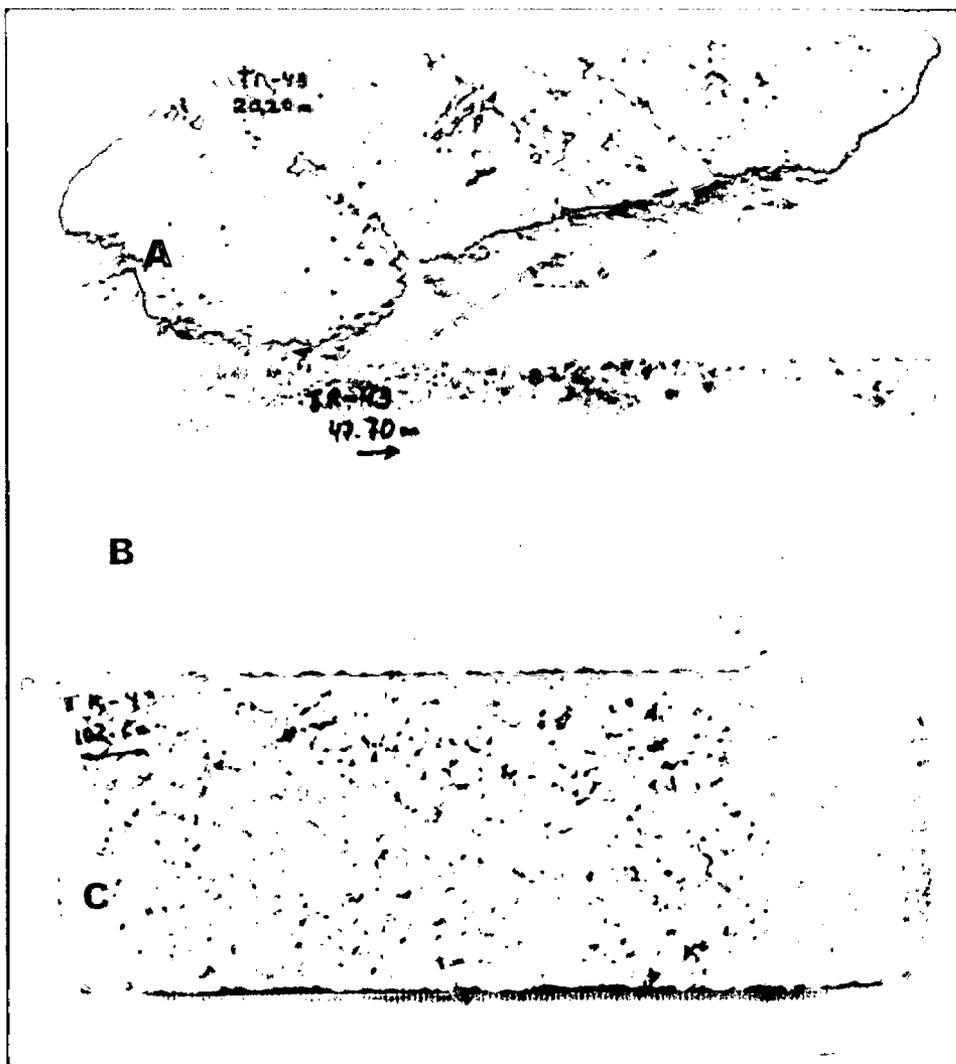


Figura 5.11. Distribución espacial de las alteraciones hidrotermales predominantes desarrolladas en los pórfidos cuarzomonzoníticos. A) Alteración argílica supérgena (mont-caol-ill), B) alteración argílica Intermedia (esmectita-ill-ser+cl) y C) alteración potásica (FpK-bt-mgt).



5.1.2. Episodio de formación de la Brecha Hidrotermal

Durante este evento se habría formado el cuerpo de brecha hidrotermal al contacto entre el pórfido principal y la secuencia sedimentaria. Su formación estaría asociada a la evolución de los cuerpos de PQM Principal e Intramineral en el momento de la transición dúctil/frágil de esta unidad intrusiva punto que habría sido logrado luego de que la cubierta litostática fuera suficientemente erosionada para producir el cambio de presión a hidrostática formando la correspondiente brecha y las etapas de alteración siguientes.

A. Alteración Calco-sódica

Localizada en la parte central y profunda de la chimenea de brecha, se caracteriza por un ensamble de cuarzo, magnetita, clorita, epidota, pirita y posiblemente actinolita como relleno de espacios vacíos. Al interior de estas zonas los contenidos de Cu y Mo son reducidos y los volúmenes de pirita mucho mayores que los de calcopirita.

B. Alteración Potásica

Se estima que ésta habría evolucionado del núcleo o zona Ca-Na. Se caracteriza por un ensamble de cuarzo, feldespato potásico y clorita, acompañan pirita, anhidrita, calcita, magnetita y biotita secundaria, desarrollada en la matriz de brecha. Se presenta como una franja subhorizontal entre la alteración Argílica Intermedia al techo y calco-sódica al fondo. Los contenidos de cobre varían desde 0.2 – 0.5 %.

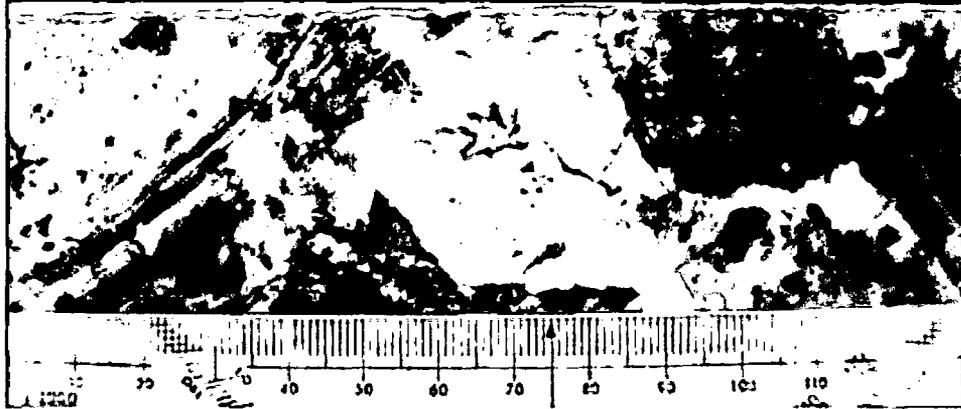


Figura 5.12. TR-28, Prof. 314 m. BxCM, heterolítica, clastos de PQD (60%) PQM (15%) – Arn (15%). Mtx: qz-sulf-cl-FpK. Mineralización de cp-py en la matriz y fragmentos.

C. Alteración Argílica Intermedia

Rodeando a la zona potásica se cuenta con una zona donde la magnetita ha sido remplazada por especularita, acompañan clorita, esmectita, illita y cantidades menores de sericita verde; los contenidos de pirita son mayores que la calcopirita.

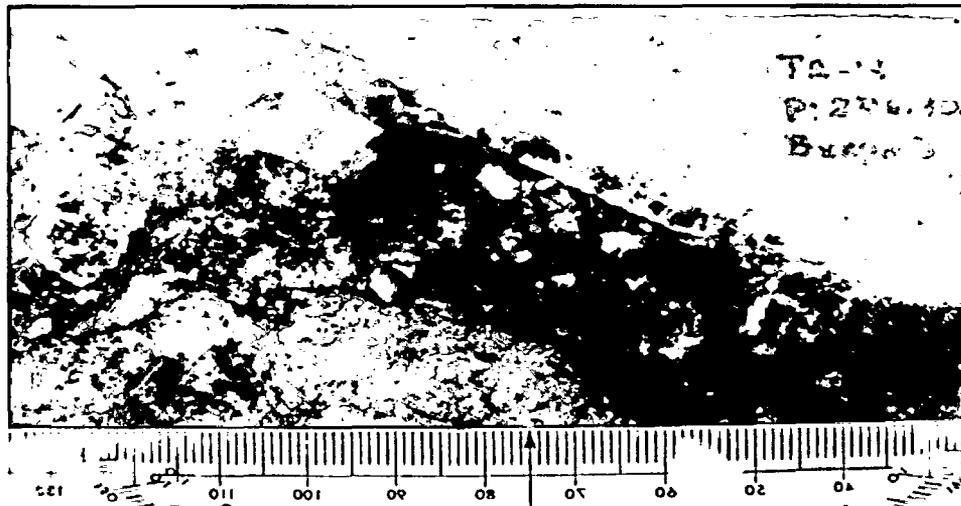


Figura 5.13. TR-17 Prof. 246.40m. BxCM, clastos de PQM – dacita-areniscas, englobados por una mtx: qz-SULs-cl-arcs-CBs. Nótese la esmectita, illita, clorita en los fragmentos y matriz.



D. Alteración Fílica

Se encuentra mejor desarrollada en el nivel superior de la Brecha Pipe, llegando a profundizar verticalmente en sectores hasta 200 m; se caracteriza por el ensamble mineralógico de cuarzo-sericita-illita, pirita; acompañan turmalina y especularita; se superpone a la alteración potásica inicial.

En la Brecha Pipe se aprecia que los mejores valores de Cu-Mo están ligados a este ensamble.



Figura 5.14. TR-24 Prof. 44.40m. BxCM, clastos de PQM – areniscas; mtz: qz-SULs-ser.

E. Alteración Argílica supérgena

Se produce a partir del remplazamiento de ciertos minerales que componen las rocas debido a la acción de los agentes de erosión e intemperismo. Su ensamble consiste en caolinita, montmorillonita, illita y óxidos de hierro. En el yacimiento Trapiche esta agilización supérgena se extiende tanto en el pórfido como en la Brecha Pipe; en los pórfidos está restringido a los primeros 10 a 15 m. de profundidad, mientras que en la Brecha Pipe este encape podría llegar a los 80 m.

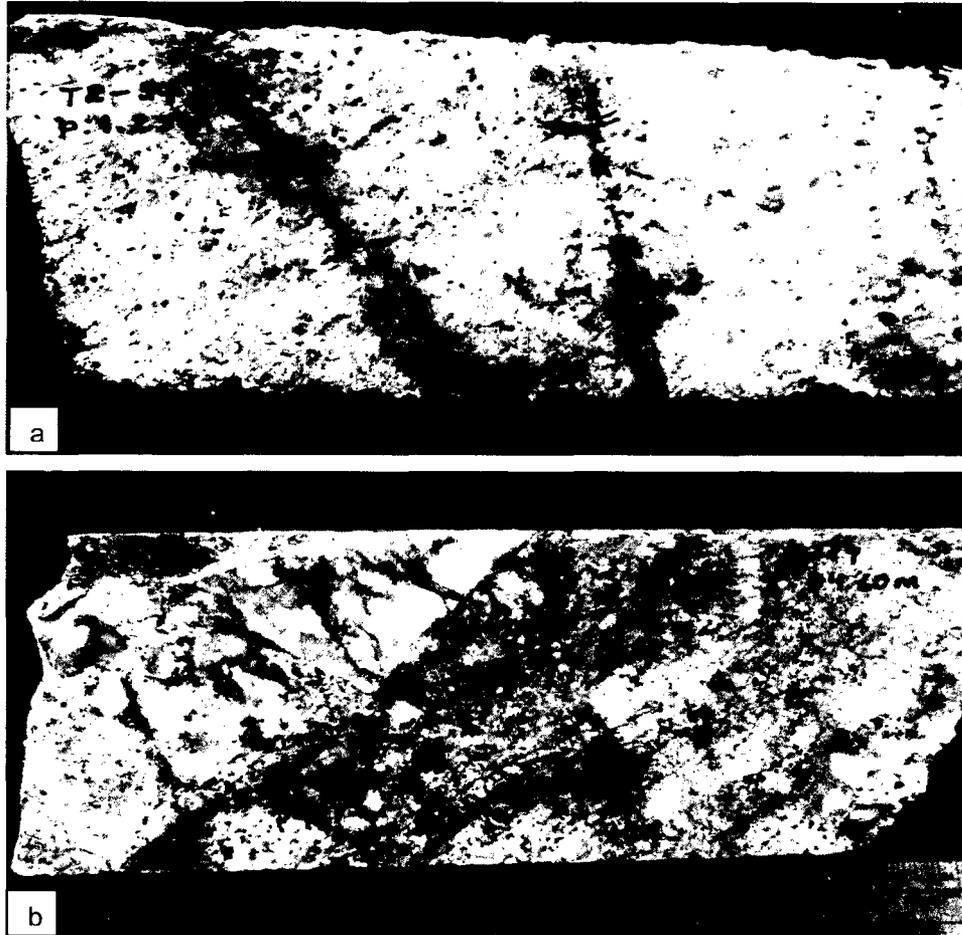


Figura 5.15. A) Sondaje TR-57 Prof. 1.25 m. PQM principal, alteración argílica (montmorillonita-caolinita-illita), pervasiva, impregnaciones de goethita. B) Sondaje TR-74 Prof. 44.60 m. Fragmentos y matriz presentan alteración argílica (montmorillonita-caolinita-illita), impregnaciones de jarosita-goethita.

5.2. MINERALIZACIÓN

La mineralización del yacimiento Trapiche es Cu-Mo, está constituida por sulfuros primarios (calcopirita, bornita), secundarios (calcosina, covelina, digenita) y óxidos de cobre (malaquita, tenorita, neotocita, cuprita, cu pitch, etc.), subordinada molibdenita distribuidos en la Brecha Pipe, pórfidos, skarn Millucucho y en la roca encajonante.

La Brecha Pipe alberga el mayor volumen de mineralización desarrollada en la matriz formando parte del relleno de la brecha (parches, ojos, puntos), así como en los fragmentos heterolíticos en forma diseminada-venillas-stockwork.



En el pórfido cuarzo monzonítico la mineralización se desarrolla principalmente en venillas tipo sheeting de sulfuros, disseminación y escasas zonas con stockwork de qz-sulfuros. Mientras que en la roca hospedante se tiene el mayor volumen de óxidos de cobre en el borde NWW y un manto enriquecido en el sector Trapiche Este.

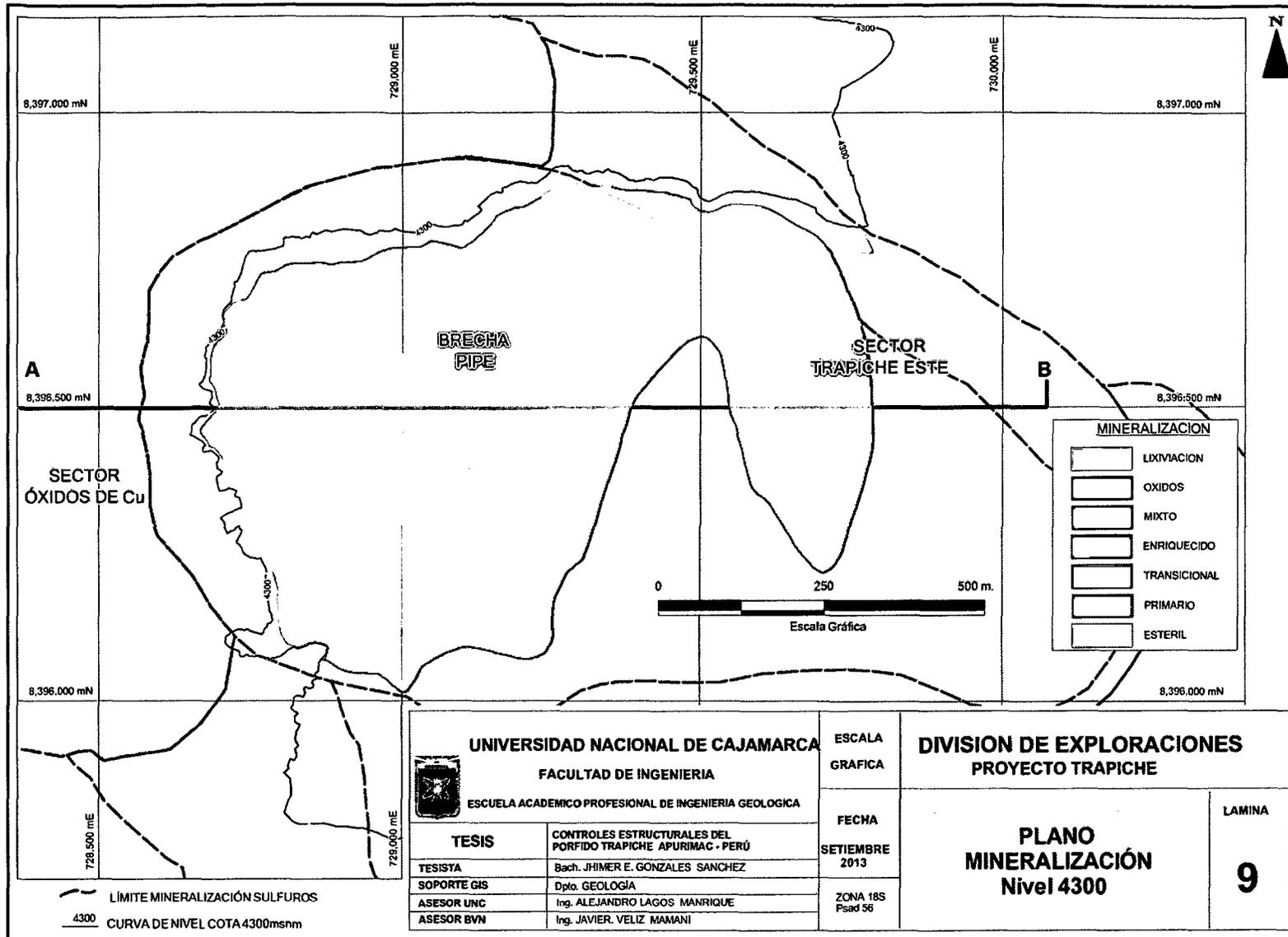
Por lo tanto la mineralización presente en el yacimiento Trapiche se ha dividido en seis zonas, teniendo en cuenta la asociación mineralógica y la solubilidad en ácido sulfúrico (CuSA) y cianhídrico (CuCN) (Tabla 5.1), las cuales son descritas a continuación.

Tabla 5.1: Dominios de zonas mineralizadas (Tomado del proyecto Trapiche).

Código	Símbolo	Descripción	Características
1	LIX	Lixiviación	Menos que 0.15% CuT, leach capping
2	OX	Óxido de Cu	Cu SA/ CuT : ratio \geq 60%, OxCu, ley $>$ 0.15%CuT
3	MIX	Mixto	CuSA/CuT: Ratio 20 % a 60% (OxCu y sulfuros enriquecidos)
4	ENR	Enriquecido	(CuSA + CuCN)/ CuT; ratio \geq 60% Sulfuros enriquecidos
5	TRA	Transicional	(CuSA + CuCN)/CuT; ratio 30 a 60% Sulfuros ENR +PR, leyes $>$ 0.15 % CuT
6	PRI	Primario	(CuSA + CuCN) / CuT; ratio $<$ 30%, Sulfuros

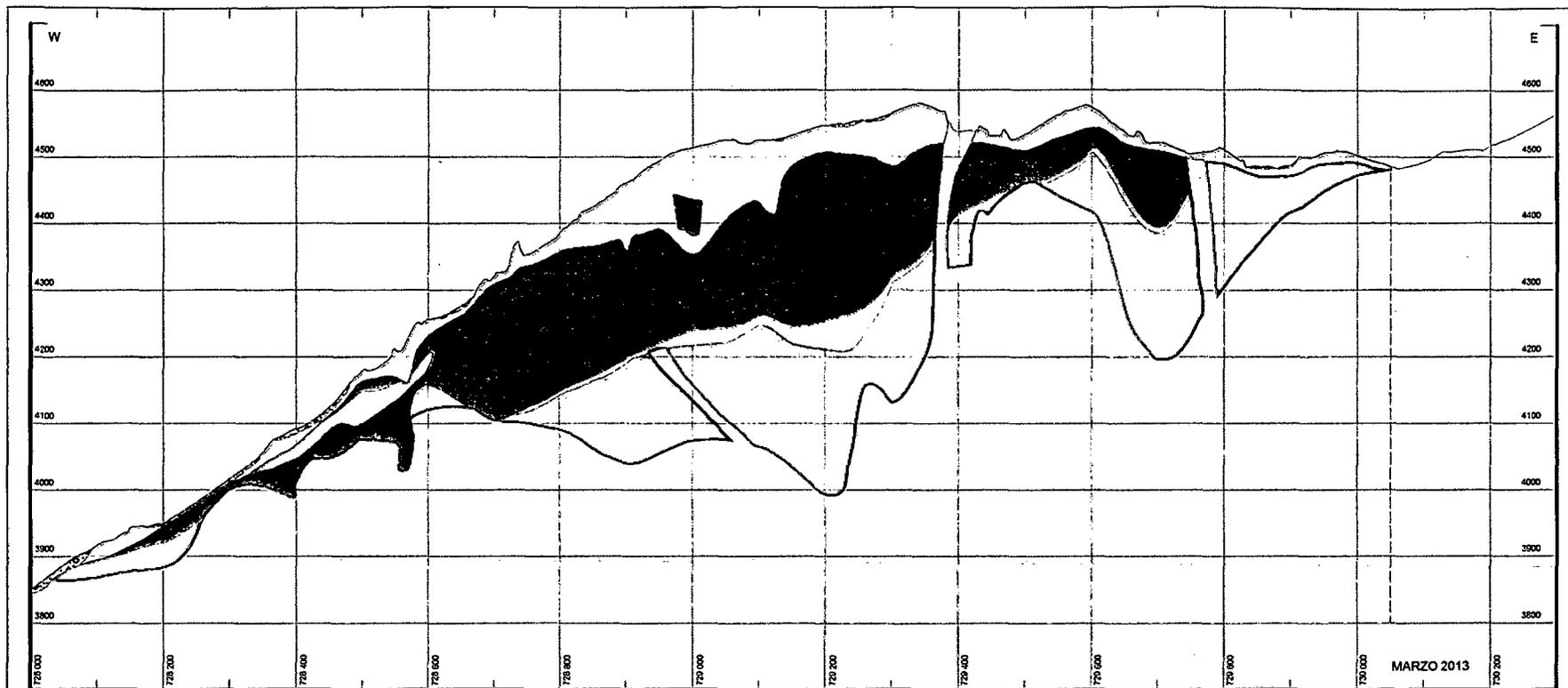


TESIS: Controles estructurales del pórfido Trapiche Apurímac – Perú



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		ESCALA GRAFICA	<p>DIVISION DE EXPLORACIONES PROYECTO TRAPICHE</p>	
		FECHA		
<p>TESIS CONTROLES ESTRUCTURALES DEL PORFIDO TRAPICHE APURIMAC - PERÚ</p>		<p>SETIEMBRE 2013</p>	<p>PLANO MINERALIZACIÓN Nivel 4300</p>	
<p>TESISTA</p>	<p>Bach. JHIMER E. GONZALES SANCHEZ</p>	<p>ZONA 18S Psad 56</p>		
<p>SOPORTE GIS</p>	<p>Dpto. GEOLOGIA</p>			
<p>ASESOR UNC</p>	<p>Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE</p>			
<p>ASESOR BVN</p>	<p>Ing. JAVIER VELIZ MAMANI</p>		<p>LAMINA 9</p>	

LIMITE MINERALIZACIÓN SULFUROS
 4300 CURVA DE NIVEL COTA 4300msnm



A

B

MINERALIZACION

-  LIXIVIACION
-  OXIDOS
-  MIXTO
-  ENRIQUECIDO
-  TRANSICIONAL
-  PRIMARIO
-  ESTERIL



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		ESCALA GRAFICA	DIVISION DE EXPLORACIONES PROYECTO TRAPICHE	
		FECHA SEPTIEMBRE 2013	SECCIÓN A - B MINERALIZACION LAMINA 10	
TESIS	CONTROLES ESTRUCTURALES DEL PORFIDO TRAPICHE APURIMAC - PERÚ			
TESISTA	Bach. JHIMER E. GONZALES SANCHEZ			
SOPORTE GIS	Dpto. GEOLOGIA		ZONA 18S Psad 56	
ASESOR UNC	Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE			
ASESOR BVN	Ing. JAVIER VELIZ MAMANI			



5.2.1. Zona Lixiviada

Esta caracterizada por goetita, hematita, jarosita, arcillas, turmalina, especularita y ocasionalmente minerales oxidados del tipo malaquita, tenorita, neotocita y Cu wad.

En la Brecha Pipe la lixiviación es mayor por su permeabilidad y alcanza de 20 a 120 m. de grosor; en el pórfido el encape lixiviado es menor con grosores menores a 30 m. con mayor desarrollo de goethita, jarosita. En la roca huésped esta zona es variable desde 1-20 m. En esta zona los contenidos metálicos son bajos en cobre en el orden de 70 a 846 ppm de Cu y persisten los de Mo de 10 a 254 ppm.

Figura 5.16. Muestra de mano, se observa impregnaciones, boxwork relleno de jarosita-goethita.

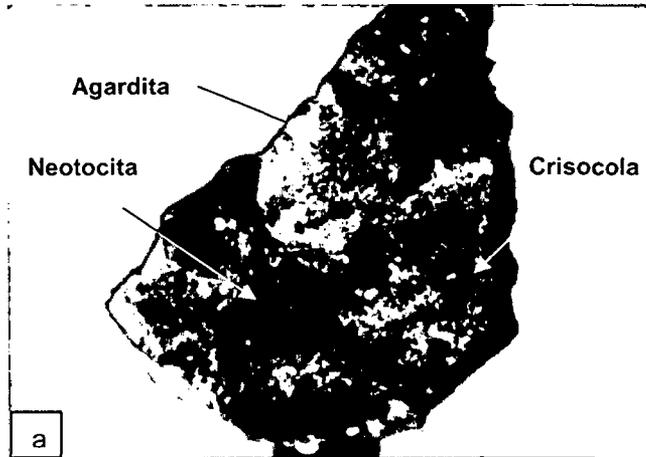


5.2.2. Zona de óxidos

Esta zona alcanzó su mayor desarrollo en el borde oeste de la Brecha Pipe donde se tiene un manto de óxidos de cobre con un espesor de 6 a 80 m. cuya mineralogía consiste de óxidos de cobre (neotocita, tenorita, cuprita, Cu pitch), carbonatos de cobre (malaquita, azurita) principalmente; acompañan cantidades menores de agardita, crisocola y calcantita; ocurren como impregnaciones y manchas en las fracturas, ocasionalmente como venillas. Los protolitos son areniscas y limolitas calcáreas.



Figura 5.17. a) Muestra con impregnaciones de malaquita, crisocola, azurita, neotocita, tenorita y agardita



En la Brecha Pipe y en el pórfido se tienen pequeños lentes de óxidos de cobre. En esta zona los contenidos metálicos están en el orden de 0.2 – 1.0 % Cu con ocasionales zonas que superan el 1.0%.

b) Sondaje O-17 Prof. 75.85 m. La más alta Ley: 13.48 % Cu. Cuprita, tenorita, CBsCu (malaquita) y Crisocola



5.2.3. Zona Mixta

En el yacimiento Trapiche esta zona se localiza en la transición de la zona de óxidos de cobre y el blanket enriquecido. La mineralogía se asocia a la coexistencia de óxidos de cobre (neotocita, cuprita, tenorita), CBs de cobre (malaquita, azurita) y sulfuros secundarios (calcosina, covelina, digenita).

Los mejores lentes mixtos corresponden a la zona de contacto de la Brecha Pipe y la roca caja en el borde NWW; así mismo se tienen pequeños horizontes dentro de la brecha y el pórfido.



Los contenidos metálicos están en el orden de 0.2 – 0.8 % Cu. En el skarn Millucucho se tienen lentes de skarn, zonas de brechas hidrotermales con mineralización mixta en un grosor de hasta 50 m.

Figura 5.18. Sondaje TR-127 Prof. 115 m. Mineralización Mixta (diss-vnlls cc-c v + cup-mal).



5.2.4. Zona Enriquecida

El ensamble mineral de la zona de enriquecimiento secundario está formado por calcosina, covelina y digenita, ocurren en forma diseminada y en venillas remplazando a la calcopirita y en ocasiones a la pirita.

En la Brecha Pipe el manto de enriquecido alcanza grosores de 50 a 200 m. entre las cotas de 4,150 y 4,500 m.s.n.m. La distribución de leyes está condicionada al volumen de calcopirita primaria del sistema. La ley es ≥ 0.5 % Cu. El ratio cc-cv-dig vs cp es de 3:1.

En el pórfido, este manto enriquecido está bastante restringido, con espesores de 20 a 50 m. entre las cotas 4,300 y 4,600 m.s.n.m. La distribución de leyes depende del contenido de calcopirita, ligado a la densidad de vetillas existentes. La ley oscila entre 0.3% Cu hasta 1.0% Cu. El ratio cc-cv-dig vs cp es de 3:2.



Los niveles de areniscas son los más importantes ya que albergan el mayor volumen de sulfuros enriquecidos desarrollados en la roca caja cuyo manto enriquecido puede llegar 80 m de potencia.



Figura 5.19. a) Sondaje TR-15 Prof. 360 m. Mineralización secundaria (cc-cv) en forma de parches en la matriz de la brecha. Ley: 1.2 % Cu. b) Sondaje TR-70A Prof. 49.95 m. microvenillas, diseminación de calcosina-covelina y bn secundaria. Ley: 2.65 % Cu.

Estudio por Minerales Opacos: Taladro: TR – 09 Prof.: 157.20 m.

Descripción macroscópica

Color: gris con matices gris oscuro y crema verdosa.

Tamaño de grano: fino.

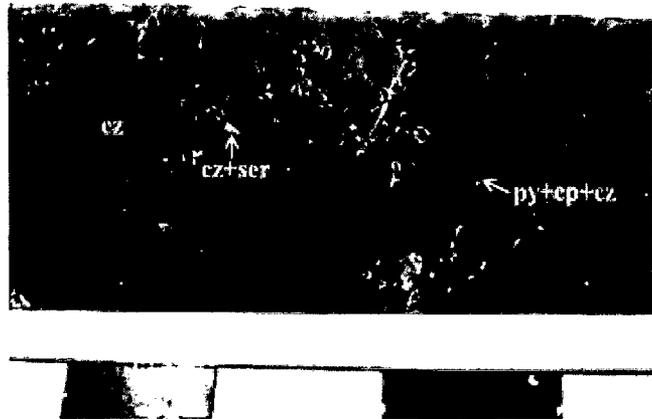
Textura reconocible: granular.

Otras características: Muestra compuesta por cuarzo granular compacto de probable venilla, atravesado por venillas finas de pirita, calcopirita y probables sulfuros de cobre. Estas venillas contienen algo de cuarzo. Hay diseminación de sulfuros.

Se observan moldes escasos de probables feldespatos reemplazados por cuarzo y sericita (Figura 5.20).



Figura 5.20. Muestra con abundante cz que contiene moldes de Fspar reemplazados por cz y sericita. Las venillas contienen py, cp y algo de cz.



Descripción microscópica

Minerales presentes en orden decreciente de abundancia: Pirita, digenita, calcopirita, calcosina, bornita, rutilo.

Observaciones/descripción

Los sulfuros ocurren en venillas y en playas alargadas que se orientan en la dirección de las venillas, contienen principalmente calcopirita y los sulfuros secundarios de cobre. En las dos venillas donde predomina la pirita, esta se encuentra asociada a los granos de calcopirita con coronas de digenita, restos muy finos de bornita y algo de calcosina (Figura 5.21a).

Dentro de la pirita se observan venillas con digenita y algo de calcosina, en parte en contacto con calcopirita. En las venillas y playas con calcopirita, se observa el mismo tipo de intercrecimiento (Figura 5.21b).

Hay granos diseminados de rutilo en pequeñas playas y en la calcopirita rodeados por las coronas de digenita y algo de calcosina. También se observan escasos y pequeños granos diseminados de digenita y en parte calcosina sin núcleos de calcopirita.

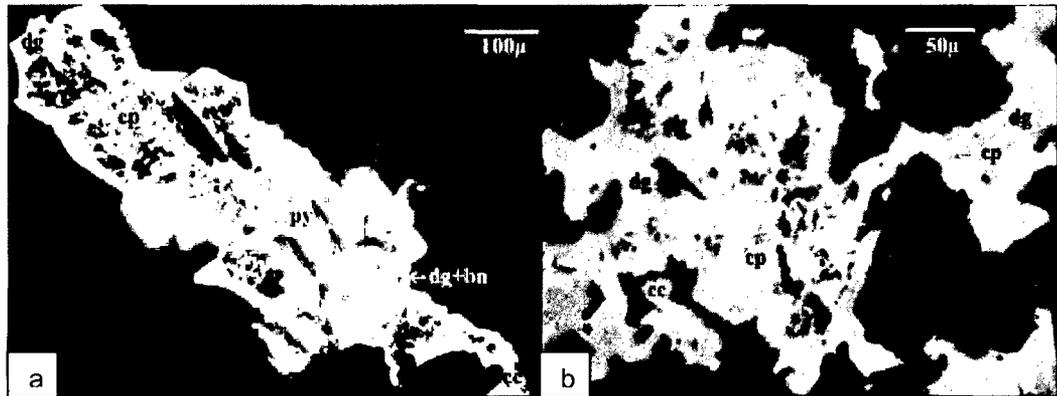


Figura 5.21. Fotomicrografías mineralográficas de la zona enriquecida.

5.2.5. Zona Transicional

Se caracteriza por la mezcla de sulfuros primarios y secundarios de cobre; donde la calcopirita, bornita están siendo remplazados débilmente por covelina +/- calcosina. Se presenta de manera irregular entre las zonas primaria y enriquecimiento. En la Brecha Pipe la zona transicional tiene grosores de 50 a 200 m entre las cotas de 4,210 a 4,450 m.s.n.m. El ratio cv-cc vs cp es de 1:2.



Figura 5.22. Sondaje TR-154 Prof. 285.40 m. Cristales de py cubica, cp anhedrales, con cc en sus bordes, acompaña calcita.

5.2.6. Zona Primaria

Constituida por la mineralización hipógena que corresponde a los minerales como calcopirita, bornita, piritita y molibdenita. La zona primaria ocupa la parte profunda del yacimiento, tiene grosores que varían de 80 a 270 m. y se ubican por debajo de las cotas 3,970 msnm.



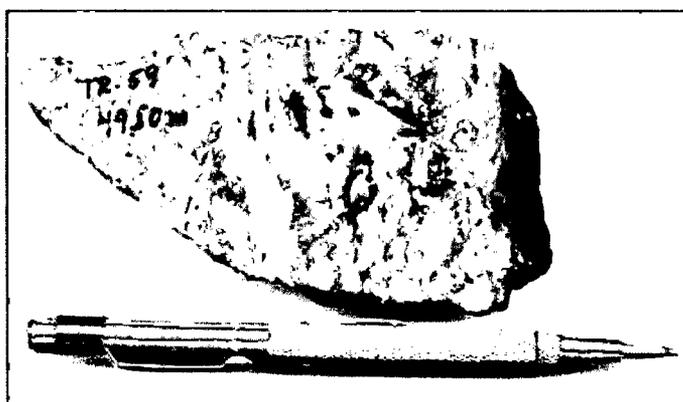
En el PQM es característico el venilleo de cuarzo, calcopirita, pirita, bornita tipo sheeting y stockwork con anchos de 0.2-1.0 cm. y las venillas de cuarzo-sulfuros tipo B que contienen cantidades importantes de molibdenita. El ratio Py vs Cp es variable.

En la Brecha Pipe la mineralización primaria consiste de calcopirita, bornita, pirita y molibdenita en forma de parches, puntos, ojos en la matriz y en los fragmentos como diseminación y venillas.

El ratio Py vs. Cp es de 1:1 hasta 1:3. En el skarn Millucucho se tiene sulfuros primarios de baja ley con zonas de brechas hidrotermales de altas leyes controladas estructuralmente por el trend NWW.

Figura 5.23.

a) Sondaje TR-59 Prof. 49.80 m. Microvenillas, parches de cp, py y bn.



b) Sondaje TR-M07 Profundidad. 206.90 m. Parches, diseminación de calcopirita, pirita, acompaña clorita.



Estudio de minerales opacos. Taladro: TR-60 Prof.: 247.20 m.

Descripción macroscópica

Color: gris claro, gris rosáceo, amarillo latón verdoso, blanco cremoso.

Tamaño de grano: fino a medio.

Textura reconocible: vestigios de textura porfirítica.

Otras características: Se observan restos de roca porfirítica con algunos fenocristales de cuarzo y feldespatos sericitizados. La matriz está alterada por abundante cuarzo y sericita. La roca está cortada por varias venillas sub-paralelas. Una de ellas, la más gruesa contiene abundante calcopirita dentro del cuarzo. Las venillas más finas son de cuarzo con sutura de pirita y algo de calcopirita.

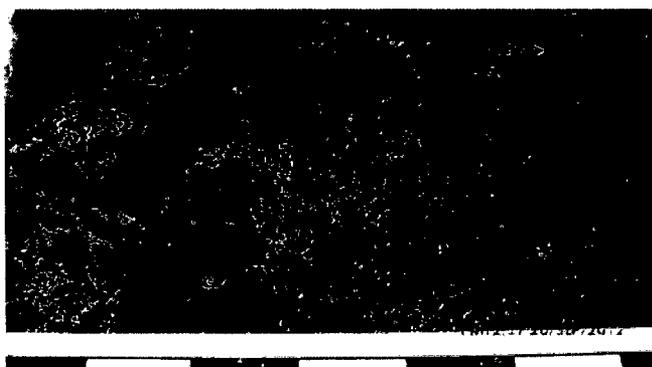


Figura 5.24. Se observan muy pocos restos de la roca alterada, predominan las playas y venillas de calcopirita con algo de pirita.

Descripción Microscópica

Minerales presentes en orden decreciente de abundancia:

Calcopirita, pirita, molibdenita, rutilo, arsenopirita, pirrotita.

Observaciones/descripción

Los minerales opacos se encuentran contenidos dentro de una venilla de cuarzo. Predomina la calcopirita en playas intersticiales de tamaño variado. Una de estas playas se presenta en contacto con un agregado grueso de cristales de pirita (Figura 5.25a). También hay cristales de pirita incluidos, agrupados en los bordes de la calcopirita. (Figura 5.25b). Dentro de la pirita hay inclusiones pequeñas y escasas de calcopirita.



La molibdenita ocurre principalmente en cristales lamelares dentro de espacios intersticiales en el cuarzo, incluidos o en contacto en la calcopirita. El rutilo está como inclusiones en el cuarzo, pirita y en contacto simple con la calcopirita. Se identificaron cristales pequeños y escasos de arsenopirita dentro del cuarzo. Hay inclusiones muy escasas de pirrotita dentro de la pirita.

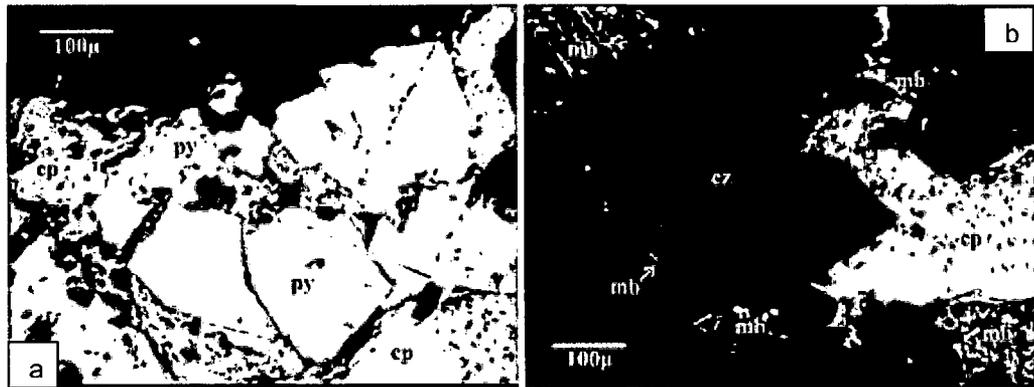


Figura 5.25. Fotomicrografías minerográficas de la zona de mineralización primaria.



CAPITULO VI: TECTONICA Y ESTRUCTURAS DEL CINTURON ANDAHUAYLAS – YAURI

Las estructuras en la región han sido formadas por varios eventos tectónicos. Esta sección presenta un resumen de la historia tectónica del sur del Perú con un foco en la región Andahuaylas – Yauri. Este resumen abarcará una correlación con otros eventos tectónicos acontecidos en el sur del Perú.

6.1. CRONOLOGIA DE LOS EVENTOS TECTÓNICOS

En el presente estudio las estructuras generadas durante eventos tectónicos antes del Cretáceo tardío están denominadas como estructuras Pre- Ciclo andino, las cuales pudieron ser reactivados durante los sucesivos eventos tectónicos del ciclo andino (fases Peruana, Incaica y Quechua).

ASPECTOS TECTÓNICOS DEL MESOZOICO

Los eventos tectónicos del Triásico al Cretácico Tardío se caracterizaron por una intensa extensión. La corteza sufrió debilitamiento y fue el lugar de mayor deposición marina, incluyendo los productos de arcos de isla volcánicos provenientes del arco magmático al oeste (Jaillard et al., 2000). En el Jurásico Medio se dio inicio a la formación de la cuenca de Arequipa controlada por fallas sinistralas transtensionales de orientación NW-SE (Aspen et al., 1987; Jaillard et al., 1990, 1995, 2000; Petersen y Vidal, 1999). La sedimentación de esta cuenca continuó hasta el Cretáceo donde se depositaron los bancos de caliza de la Formación Ferrobamba (Aptiano a Santoniano). En el borde continental el arco magmático continuó su actividad volcánica produciendo los volcánicos Matalaque (Jaillard, 1994).



CICLO ANDINO (Figura 6.2)

El ciclo andino esta caracterizado por tres fases tectónicas principales: Peruana, Inca y Quechua. Estas fases tectónicas fueron de tipo compresivo y produjeron estructuras de engrosamiento de la corteza continental y acortamiento. Todas las fases estaban caracterizadas por velocidades altas de convergencia entre la placa continental y oceánica, las cuales fueron separadas por fases de baja velocidad (Figura 6.1).

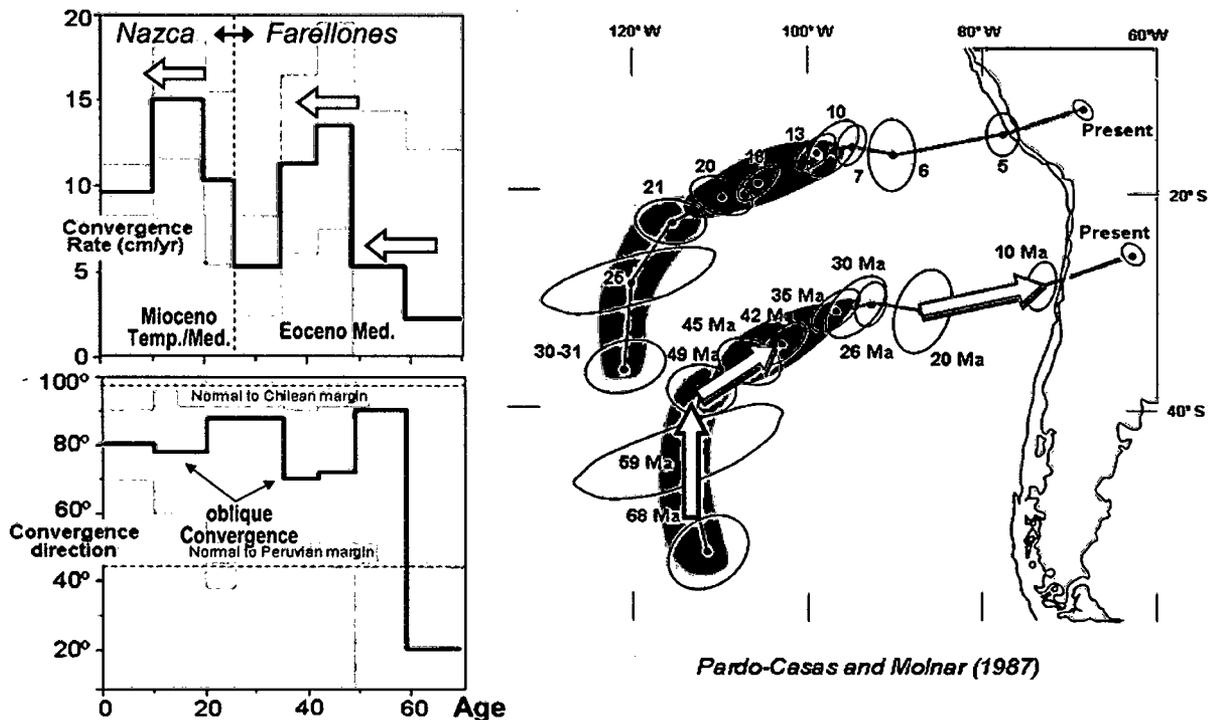


Figura 6.1. Dirección de convergencia en el Sur del Perú y Chile. A partir de los 50 Ma hasta los 20 Ma el régimen de subducción fue de NEE, (Jaillard et al 2000). En este lapso de tiempo el Batolito Andahuaylas – Yauri fue emplazado en periodos de relajación tectónica, tomando un rumbo NWW.

6.1.1. Fase Tectónica Peruana

El evento tectónico de mayor intensidad esta nombrado como Fase Peruana (84 – 79 Ma, Santoniano, Cretáceo Tardío), cuyo ratio de convergencia fue de aproximadamente 15-18 cm/año, una velocidad alta determinado por reconstrucciones paleotectónicas (Jaillard et al 1990; Casas y Molnar, 1987; Jaillard et al, 2000).



Estos estudios han determinado que la dirección de convergencia de placas fue NE-SW. Esta fase es la causante de la deformación de los sedimentos mesozoicos representados por secuencias clásticas; teniendo sus evidencias en la Fm. Soraya. Durante la primera Fase Orogénica Andina (Fase Peruana de Steinmann), se forman amplios pliegues y fallas en el sector Occidental, delineándose entonces la Cordillera Occidental.

6.1.2. Fase Tectónica Inca

Fuertemente compresiva, genera pliegues, fallas inversas, sobrescurrimientos. Posterior a ella se genera vulcanismo generalizado en la Cordillera Occidental. Consiste en cuatro diferentes periodos de compresión en el tiempo de 59-55 Ma (Inca I), 43-42 Ma (Inca II), 30-27 Ma (Inca III) y 22 Ma (Inca IV).

A. Tectónica Inca I

Los primeros pulsos orogénicos de la fase Inca ocurrieron durante el Paleoceno Superior – Eoceno Inferior (52 - 43 Ma), sobre un margen reactivado del escudo Brasileiro (Macfarlane, 1999), generando movimientos de rumbo dextral los cuales crean varias cuencas continentales sinorogénicas con espesores de sedimentos (capas Rojas) que localmente pueden sobrepasar los 10,000 m. (Figura 6.3), y favorecen el emplazamiento de las primeras fases intrusivas del Batolito Andahuaylas-Yauri. Los ratios de convergencia fueron bajos.

B. Tectónica Inca II

En el Eoceno Medio (43-42 Ma), la dirección de convergencia fue ENE (Figura 6.1), con un ratio de convergencia de 16 cm/año (Jaillard et al, 2000), produciendo la Fase Tectónica Inca II.



Después del Eoceno Inferior el ratio de convergencia aumenta la intensidad de la actividad tectónica, la cual fue enfocada a pliegues y fallas inversas entre el bloque de la costa y el arco del Marañón.

La emergencia y erosión desarrollaron una mayor inconformidad (Benavides, 1999). Esta fase compresiva NE-SW produce cabalgamientos, el Batolito Andahuaylas-Yauri se levanta rápidamente y cuerpos subvolcánicos con pórfidos de Cu se emplazan.

Los productos de la erosión son depositados más al norte, en las cuencas Anta (piggy back) y Soncco (antepaís) ver Figura 6.4.

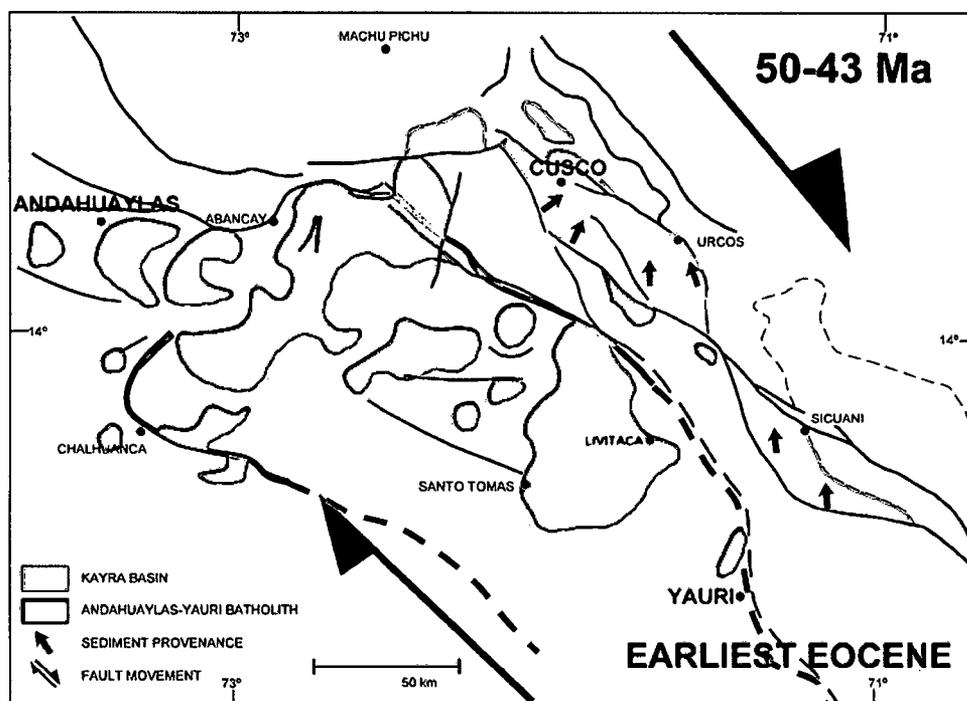


Figura 6.3. Movimientos de rumbo dextral crean varias cuencas continentales sinorogénicas y favorecen el emplazamiento del Batolito Andahuaylas-Yauri, tomado y modificado de Carlotto et al. (2005).

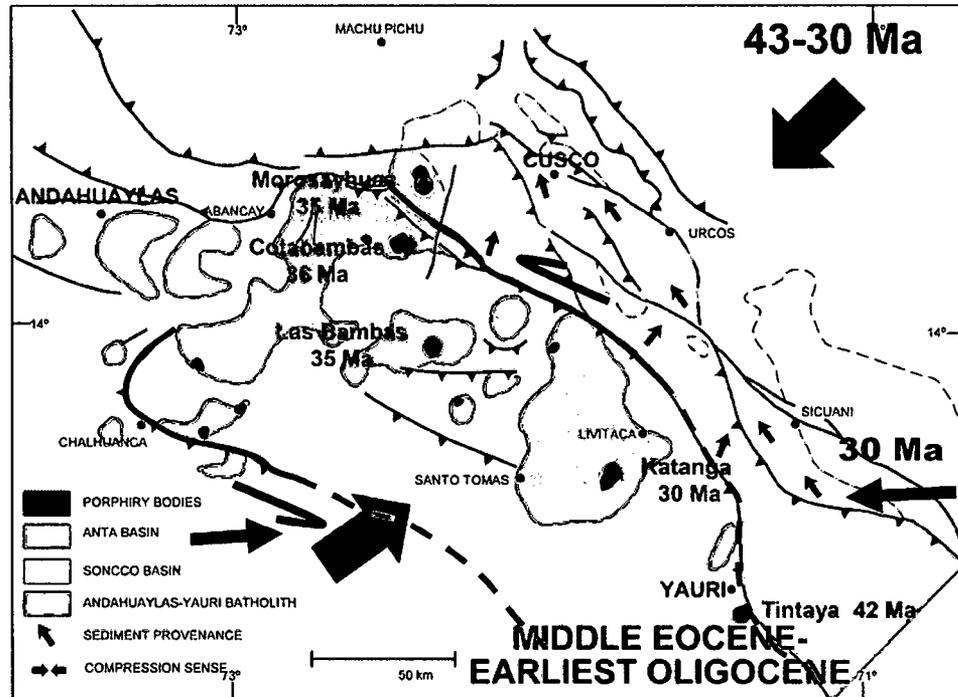


Figura 6.4. Compresión NE-SW produce cabalgamientos, el Batolito Andahuaylas-Yauri se levanta rápidamente y cuerpos subvolcánicos con pórfidos de Cu se emplazan. Hacia el final de la Tectónica Inca el esfuerzo compresivo rota hacia el E – W. tomado y modificado de Carlotto et al. (2006).

C. Tectónica Inca III

La Fase Tectónica Inca III ocurrió durante el Oligoceno Tardío (30-25 Ma). Esta fase tectónica estuvo caracterizada por el movimiento de la placa oceánica de E-W a ENE (Figuras 6.2 y 6.4). El ratio de convergencia fue relativamente alto 5-7 cm/año (Jaillard et al., 2000). Durante esta fase tectónica se emplazó las fases intrusivas del pórfido Trapiche.

D. Tectónica Inca IV

La Fase Inca IV se dio durante el Mioceno Inferior (22 Ma). Esta fase está caracterizada por suave plegamiento, erosión e inicio de la actividad volcánica (Grupo Tacaza). La secuencia del Tacaza Superior (Formación Ichocollo) del Mioceno, cubrió la Cordillera Oeste y adyacente al Altiplano. El arco magmático produce productos volcánicos de naturaleza intermedio a calco alcalino, compuesta de andesita y andesita basáltica.



Actividad magmática durante la Fase Inca

En el Oligoceno el arco magmático estuvo en el este, representado por una secuencia volcánica tanto como por series de stocks y estructuras subvolcánicas que representan los conductos (Vents) para las rocas del Tacaza inferior, situado a lo largo del margen oeste del altiplano, de edad Eoceno – Oligoceno. El Batolito de Andahuaylas – Yauri corresponde a este periodo.

En la región del Altiplano el Tacaza (no dividido) está representado por traquiandesitas, traquibasaltos, andesitas y basaltos. En general esta secuencia del Tacaza Inferior, son rocas calcoalcalinas ricas en K (Benavides, 1999). Son rocas andesíticas calcoalcalinas, las que son interpretadas como productos derivados del manto. La forma de emplazamiento de estos plutones y stocks es diapirica, la misma que le da una forma de domo a las rocas volcánicas y sedimentos del Mesozoico (roca techo), y pueden estar asociados con fallas mayores (Benavides, 1999).

6.1.3. Fase Tectónica Quechua

Está caracterizada por el cambio de dirección de la convergencia de ENE a E-W. El ratio de convergencia incremento de 6 a 13 cm/año durante este periodo compresivo.

Esta fase originó pliegues y fallas inversas; luego fue seguido de un periodo distensivo asociado a la actividad volcánica y a un periodo erosivo llamado superficie puna.

El cinturón subandino fue el más afectado, formando el cinturón de pliegues y fallas inversas al este del área afectado por la deformación Inca. Este periodo produjo débil deformación no penetrativa en el cinturón incaico.



Durante estos pulsos compresivos se desarrollaron cuencas intramontanas graben entre el flanco este del arco y arco del Marañón. Este periodo tectónico fue acompañado por una gran subsidencia al este de la cuenca de antearco en el este del Perú.

A. Quechua I

La fase Quechua I, ocurrió en el Mioceno Medio (17 Ma). La dirección de acortamiento en el sur del Perú fue E-W. Benavides, 1999, reconoció que la erosión de la superficie Puna como la pasada peneplanización general de los Andes, corresponde a la inconformidad de Quechua I.

El yacimiento Trapiche durante este tiempo probablemente estuvo sometido a una fuerte erosión. En el Mioceno Medio a Tardío (16-8 Ma), la erosión aproximada en la cordillera sería cerca de 3 -4 km, con un ratio de 0.3 mm por año (Benavides, 1999).

B. Quechua II

Los eventos compresivos afectó el cinturón subandino con gran intensidad durante el Mioceno Superior (8 – 7 Ma), formando el cinturón de pliegues y fallas inversas. Débil deformación no penetrativa en el cinturón Incaico estuvo también asociada a esta fase.

C. Quechua III y IV

La fase tectónica Quechua III se produjo durante el Mioceno Superior (5 – 4 Ma). En la región del Cusco durante el Mioceno Medio a Superior (Formación Chincheros) fue sujeto a deformación compresiva produciendo acortamiento E – W y fallamiento inverso (Cabrera, 1998) antes de que estos estén



cubiertos por sedimentos fluvio lacustrinos del Plioceno - Pleistoceno. El pulso Quechua III, fue seguida por actividad volcánica del Barroso Superior (Formación Vilcarani) y reactivación extensional de las cuencas (Graben) intramontanas. El efecto de Quechua IV fue mínimo en esta parte del Perú.

Actividad Magmática durante la Fase Tectónica Quechua

Después del pulso orogénico Quechua II, continuó una actividad volcánica (secuencia del Barroso) bajo condiciones extensionales, interrumpido por 2 pulsos compresivos menores Quechua III (5 – 4 Ma) y Quechua IV (2 – 1.6 Ma).

Desde el pulso compresivo Quechua III (5 – 4 Ma) la actividad volcánica avanzó hacia el sur, alcanzando su presente posición después de Quechua IV (2 – 1.6 Ma). La actividad volcánica en el norte (3° - 14° S) cesó, reflejando una progresiva horizontalidad del plano de subducción a lo largo de esta zona. Hace 6 Ma, se produjo más levantamiento de las cordilleras en el orden de 500-600 m. luego se condujo a la intensa incisión de la presente cordillera. En el sur del Perú durante este periodo se dio inicio a la actividad volcánica del Barroso; en muchos de los centros, la fase temprana explosiva piroclástica fue seguida de una fase efusiva lávica. En Trapiche la secuencia volcánica del Barroso está representada por la Formación Vilcarani (lávica) que consiste de andesita y andesitas basálticas localizado al este del distrito (Cerro Ajoloma).

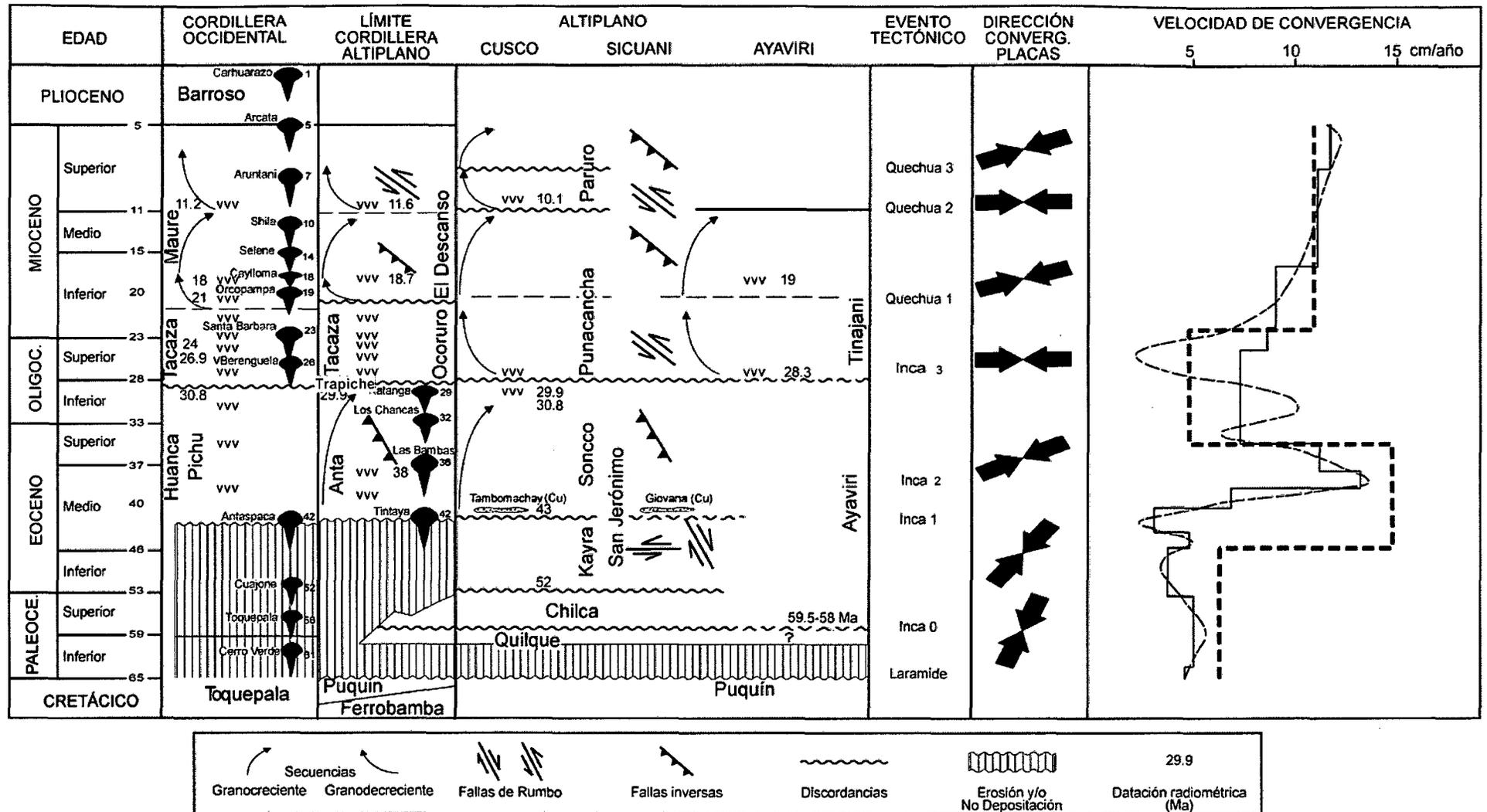


Figura 6.5 Cuadro cronoestratigráfico Cretácico superior-Plioceno con los eventos tectónicos, vulcano – sedimentarios y la cinemática de placas, en relación con la edad de algunos yacimientos en el Sur del Perú, tomado y modificado de Carlotto et al. (2005).



6.1.4. PLEISTOCENO MEDIO AL PRESENTE

La actividad tectónica durante el Pleistoceno Medio hasta el presente está caracterizada por una extensión N-S a lo largo de la cordillera y una condición compresional a ambos lados a lo largo del cinturón subandino y a lo largo del margen oeste de la región, límite entre las placas de Nazca y Sudamérica.

La actividad sísmica a lo largo de las fallas es alta y el estudio de mecanismo focal indica una compresión E – W (Suárez et al., 1983). El área del Cusco es caracterizada por sistemas de fallas N-S extensionales, algunas de las cuales son sísmicamente activas en el presente (Benavides, 1999).

En el sur del Perú hay un sistema de fallas buzando al oeste, incluyendo las fallas Lluclla, Incapuquio y pampacolca, cuyos desplazamientos pasados fueron normales y resultaron desde una extensión N-S.

Evidencias estructurales del Ciclo Tectónico Andino en la Franja del Batolito Andahuaylas - Yauri (Figura 6.6)

El cinturón del Batolito Andahuaylas – Yauri está caracterizado por sistemas de fallas paralelas al sistema andino NWW – SEE como: el sistema de Fallas Cusco, Lagunillas, Mañazo (C-L-M), las fallas Cotabambas, Cuzco, Sicuani y otras de expresión regional en el borde noreste y el sistema de fallas Condorama- Mollebamba en el borde sureste, con movimientos laterales y verticales (Vidal y noble, 1994), Así mismo se aprecia sistemas de fallas transversales al sistema andino de rumbos NE – SW y E – W en el área de Abancay y en zonas locales.

El plegamiento está caracterizado por pliegues apretados, disarmonicos y pueden ser caóticos, como en el caso de Andahuaylas y Cotabambas el trend predominante es NWW. En el área de Vilcabamba los



pliegues toman un trend anómalo E – W relacionado a la deflexión de Abancay. Este cinturón de pliegues continua su trend por 150 km hacia la vecindad del Cusco donde cambia a un trend NW – SE.

El borde NE del Alto Condorama - Mollebamba está caracterizado por pliegues de gran longitud de onda y trend NNW – SSE, como el anticlinal Mollebamba – Piste, que se extiende al NW del depósito Trapiche.

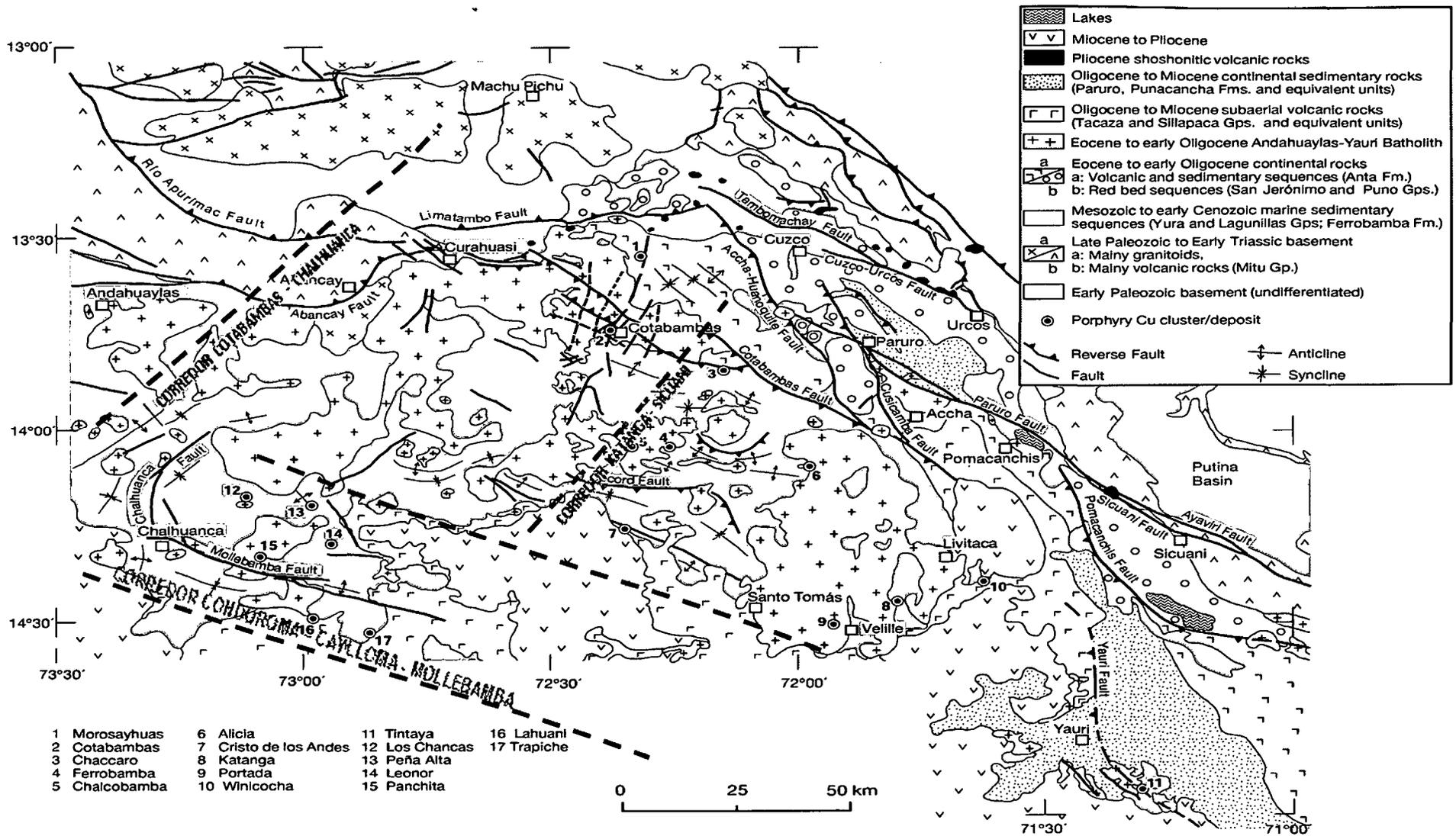


Figura 6.6. Evidencias estructurales de la Tectónica Andina en el Cinturón Andahuaylas – Yauri. Tomado y modificado de Perello, 2003



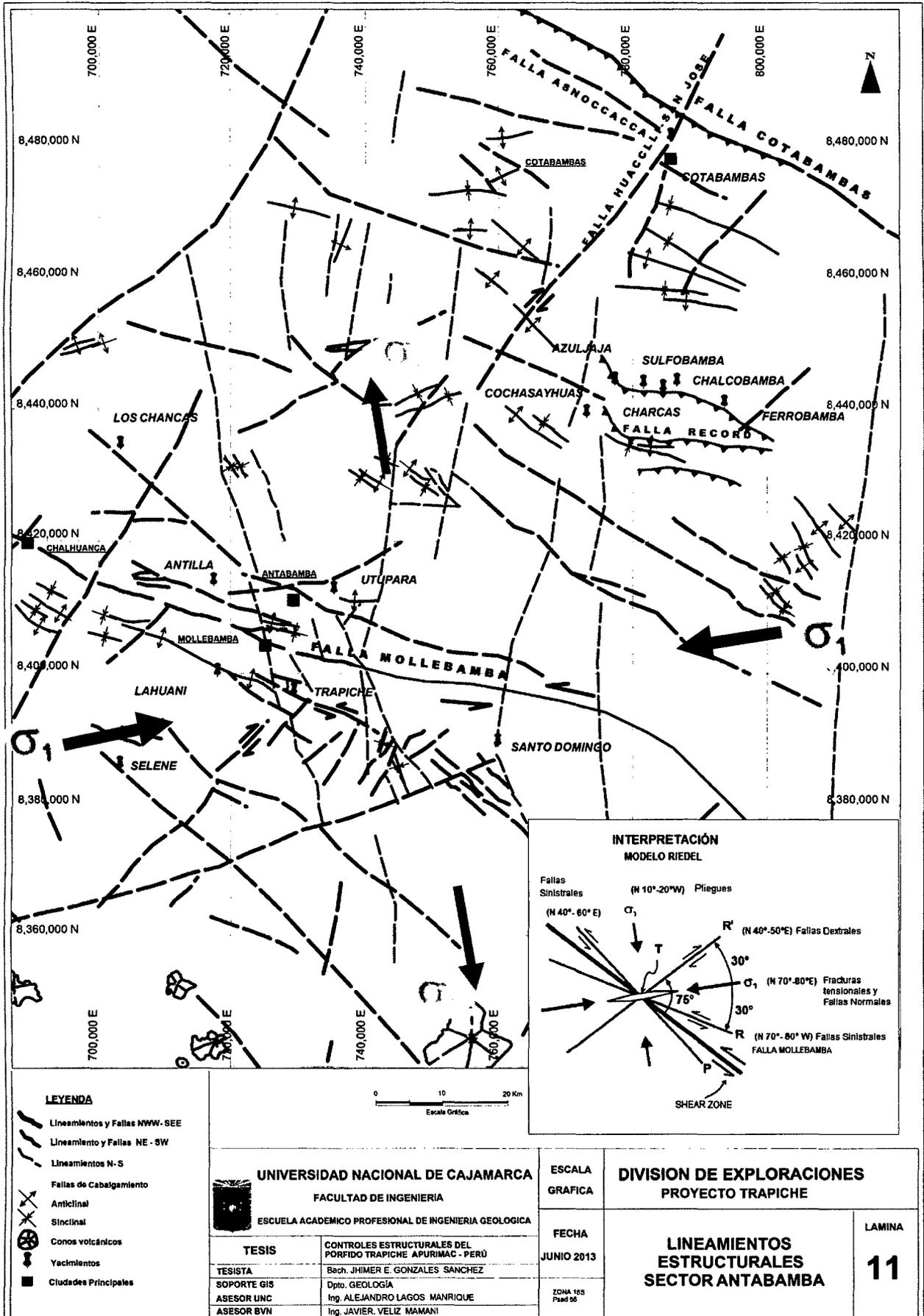
6.2. CONDICIONES ESTRUCTURALES DEL DISTRITO TRAPICHE EN EL CONTEXTO DEL SECTOR ANTABAMBA

La estructura principal que controla el sector Antabamba es la Falla Mollebamba, una estructura kilométrica con un rumbo promedio regional WNW, con buzamiento al Oeste (+60°-80°) Lámina 11. Es una falla sinistral inversa en la parte alta del pueblo de Mollebamba (C° Sulcacondori) pone en contacto las areniscas de la Fm. Soraya con las calizas de la Fm. Ferrobamba, mientras que hacia el este (C° Ajoloma) pone en contacto las mismas areniscas de la Fm. Soraya con los volcánicos del Grupo Tacaza (Figura 3.7); indicios del último movimiento registrado. Estudios anteriores mencionan que esta estructura regional activa tuvo varias reactivaciones a lo largo del tiempo, siendo los más destacados los movimientos: inverso, lateral sinistral y normal.

El comportamiento estructural del sector Antabamba en el contexto regional presenta tres sistemas de alineamientos estructurales principales. Los cuales fueron generados durante las fases tectónicas Peruana e Inca, así como reactivadas y probablemente rotadas durante los sucesivos periodos tectónicos.

Por la complejidad estructural presentada en la zona debido a la superposición de varios eventos tectónicos es difícil hacer una clasificación rígida; sin embargo la clasificación tentativa podría ser: fallas NWW y NEE son las fallas más antiguas, seguidas por las fallas EW y finalmente las fallas NS \pm 20°.

La disposición de estas estructuras parece estar relacionado a un esfuerzo compresivo regional, N70°-80°E (Lámina 11), dando lugar a un sistema de fallas sinistral de rumbo andino NWW; un sistema trasandino de fallas dextrales de rumbo NE; generados en el periodo compresivo; luego un tercer sistema de fallas normales de rumbo N-S \pm 20° estarían asociados al periodo de relajación.



LEYENDA

- Lineamientos y Fallas NWW-SEE
- Lineamiento y Fallas NE - SW
- Lineamientos N-S
- Fallas de Cabalgamiento
- Anticlinal
- Sinclinal
- Conos volcánicos
- Yacimientos
- Ciudades Principales



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS	CONTROLES ESTRUCTURALES DEL PORFIDO TRAPICHE APURIMAC - PERU
TESISTA	Bach. JHIMER E. GONZALES SANCHEZ
SOPORTE GIS	Dpto. GEOLOGIA
ASESOR UNC	Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE
ASESOR BVN	Ing. JAVIER. VELIZ MAMANI

ESCALA
GRAFICA

FECHA
JUNIO 2013

ZONA 18S
Fusd 56

DIVISION DE EXPLORACIONES
PROYECTO TRAPICHE

LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES SECTOR ANTABAMBA

LAMINA

11



6.2.1. PLEGAMIENTOS

El estilo dominante del plegamiento lo constituye una serie de grandes anticlinales y sinclinales asimétricos, en la mayoría de los casos recostados hacia el norte y noreste. El distrito Trapiche está localizado en el extremo sureste de un gran anticlinal abierto y asimétrico de aproximadamente 40 km de longitud y por 10-15 km. de ancho con rumbo NW (Lámina 11). El núcleo de este anticlinal está formado por las formaciones Piste y Chuquibambilla,

La envoltura externa está formada por las formaciones Soraya, Mara y Ferrobamba. La Formación Piste la cual aflora en algunos sectores profundos de ríos y quebradas. La formación Chuquibambilla es la más predominante y aflora a lo largo del eje del anticlinal; en el flanco NE afloran las formaciones Soraya, Mara y Ferrobamba, cortados por las fallas de tendencia NWW, NE y N-S, en el flanco SW aflora la formación Soraya parcialmente al estar cubierto por los volcánicos del Grupo Tacaza (Lámina 3)

Localmente en el interior de este gran anticlinal, existen una serie de pliegues menores entre anticlinales y sinclinales asimétricos, cóncavos, volcados, etc., con tendencias N-S $\pm 20^\circ$ en lutitas, a $N40^\circ - 60^\circ W$ en areniscas (Figura 6.7). Probablemente en los ejes de estos pliegues menores se localizaron fallas inversas durante los consecutivos periodos compresivos y más tarde estas fallas se comportaron como normales.

Los esfuerzos locales causados por intrusiones dentro de las lutitas y areniscas parecen estar causando más deformación a nivel local.

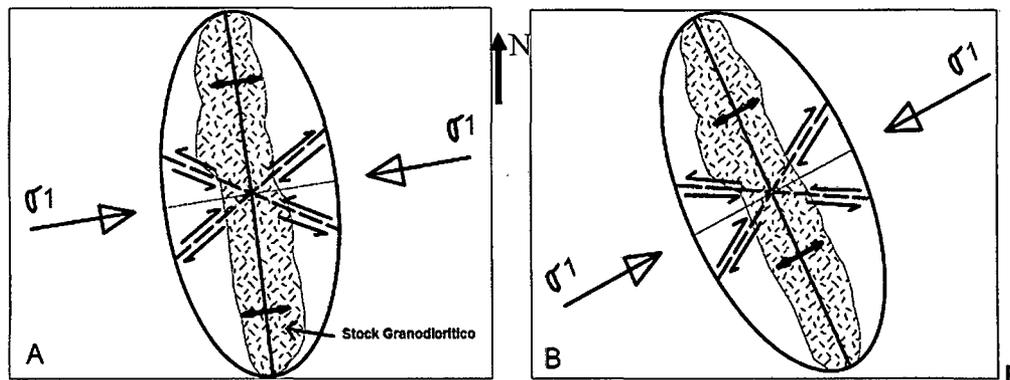


Figura. 6.7. Elipsoides de deformación mostrando las estructuras heredadas de las fases tectónicas Peruana e Inca. A) Eje de pliegue de rumbo NNW a N-S y fallas inversas en lutitas siguen la dirección perpendicular a σ_1 (la dirección de convergencia de placas). B) Eje de pliegue de rumbo NW y fallas inversas en areniscas y cuarcitas. Estos ejes y las fallas conjugadas sirvieron como zona de debilidad para el emplazamiento del stock granodiorítico y los demás intrusivos cuarzo monzoníticos.

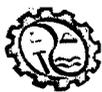
6.2.2. PRINCIPALES SISTEMAS DE FALLAS

La región está dominada por un conjunto de fallas de tendencia andina NWW. Las fallas son generalmente de grandes corridas, con trazas semirrectas e inclinaciones variables, originando anchas zonas de fracturamiento y cizallamiento; los principales sistemas de fallas son los siguientes:

A. SISTEMA DE FALLAS WNW Y NE

Teniendo en cuenta que los dos sistemas de fallas WNW y NE son los controles estructurales de mayor tendencia y persistencia. Estos sistemas de fallas así como los ejes de pliegues NNW – NW y fallas inversas son estructuras heredadas de las fases Tectónicas Peruana e Inca, donde los esfuerzos predominantes de la fase Inca fueron EW a ENE. Estos sistemas de fallas y pliegues se habrían comportado como fallas normales durante los periodos de relajación, luego de los periodos compresivos.

La razón para esta hipótesis es debido a que muchos de estos sistemas de fallas vistos en campo se encuentran como fallas



normales en la actualidad. Los magmas habrían iniciado su ascenso a través de estas fallas normales, ya que representaban áreas de mayor debilidad. La intensa relajación estaría producida gracias a la inestabilidad gravitacional causada después del periodo compresivo de la fase Peruana e Inca II que habrían formado un sobre engrosamiento de la corteza.

Las intersecciones de los sistemas de fallas WNW y NE, albergan los depósitos minerales más importantes de este cinturón, enmarcados en el corredor estructural WNW (Corredor Condorama-Caylloma-Mollebamba) que une Trapiche, Lahuani, Antilla y los Chancas y el corredor NE (Corredor Cotabambas-Chalhuanca) que une Selene, Trapiche, Utupara y las Bambas (Figura 6.6). Esto quiere decir que después del emplazamiento de los primeros intrusivos del Batolito Andahuaylas – Yauri, las estructuras previamente formadas se habrían reactivado bajo un esfuerzo extensivo por donde se emplazaron los stocks de monzonita, aprovechando aquellas zonas de mayor debilidad causadas por la intersección de las estructuras WNW y NE.

Del análisis estructural de fallas desarrolladas en el macizo encajonante se tiene un esfuerzo compresivo, cuyo eje de compresión es $N70^{\circ}-80^{\circ}E$, el cual habría generado el anticlinal cóncavo Trapiche de rumbo $N10^{\circ}-20^{\circ}W$ y reactivado los sistemas de fallas NWW sinistral (falla C° Colorado) y el Sistema NE dextral (Falla El Abra) ver figura 6.8. Que habrían jugado un rol importante en la formación del Yacimiento Trapiche como será demostrado más adelante.

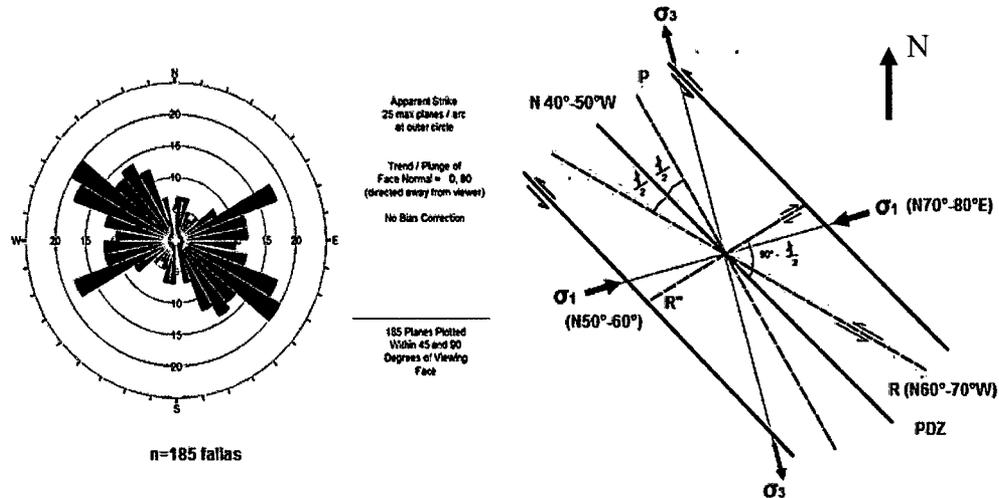


Figura. 6.8. Rosas estructurales y diagrama de esfuerzos del Distrito de Trapiche, representando los sistemas de fallas regionales con datos de mapeo de campo.

B. SISTEMA DE FALLAS NNE Y NNW

Este sistema de fallas NNE y NNW (fallas longitudinales), son producto de los periodos de relajación del esfuerzo compresivo ENE, localmente estas fallas se encuentran controlando el emplazamiento de los pórfidos cuarzomonzoníticos Tardíos y los diques de Dacita - andesita como se evidencian claramente en el distrito de Trapiche.

C. SISTEMA DE FALLAS E – W +20°

Este sistema de fallas E – W es más importante en áreas locales como en el caso de las vetas de Cu-Au en el Cerro Piste, la falla matara localizada en el extremo sur del área de Antilla, y las fallas Trapiche y campamento y sistemas de fracturas E-W, en el yacimiento Trapiche probablemente hayan jugado un rol importante en la formación de la Brecha Pipe, así como en el emplazamiento de los diques tardíos de dacita andesita. Este sistema corresponden a fallas tensionales //s al campo de esfuerzos σ_1 , formadas en la etapa de relajación.

Este sistema controló el emplazamiento del PQM P y sistema de vetillas y venillas de SULs. El elongamiento E-W del



cuerpo mineralizado es controlado por la ocurrencia de fracturas tensionales E-W que han guiado la alteración y mineralización porfirítica.

Relación de las estructuras con los intrusivos en el Distrito Trapiche

El emplazamiento de los intrusivos preminerales, tales como el stock Granodiorítico de 29.21 ± 0.31 Ma (Lámina 5), han sido controlados por las fallas longitudinales normales //s al eje del anticlinal NNW, los demás intrusivos cuarzo monzoníticos ocurren como cuerpos tabulares, diques, sills y stocks que han aprovechado las zonas de debilidad estructural representada por la intersección de fallas WNW, NE y E-W.

En la Lámina 11 se aprecia que la mayoría de depósitos se encuentran alineados en un trend WNW; localizados en la intersección de fallas NE y NWW; estos caracteres podrían constituir un control estructural importante para localizar el emplazamiento de stocks porfiríticos y la formación de depósitos de Cu-Mo-Au. Como encajonante regional favorable corresponde a las areniscas de la Fm. Chuquibambilla y las areniscas cuarzosas de la Fm. Soraya, las cuales por su fragilidad y competencia fueron favorables para el fracturamiento y zonas permeables (secundaria) apropiados para la formación de depósitos minerales en el área, caso Antilla, Los Chancas y Trapiche

Estos aspectos estructurales y litológicos son importantes en la búsqueda de nuevos yacimientos.



CAPITULO VII: CONDICIONES ESTRUCTURALES DEL YACIMIENTO TRAPICHE

Los diferentes periodos tectónicos de la Fase Peruana y principalmente de la Fase Inca formaron un conjunto de pliegues apretados y angostos de rumbo NNW y diversos sistemas de fallas strike slip (Lámina 12).

La Fase Tectónica Inca III desarrollada durante el Oligoceno Tardío (30-25 Ma), probablemente ha sido la responsable del rompimiento estructural apropiado para la formación del yacimiento Trapiche que se inicia con el emplazamiento del stock granodiorítico pre mineral, seguido de los pórfidos monzoníticos, Brecha Pipe y diques tardíos con sus respectivos sistemas de alteración magmático hidrotermal, bajo un régimen compresivo ENE-WSW (Figura 7.1).

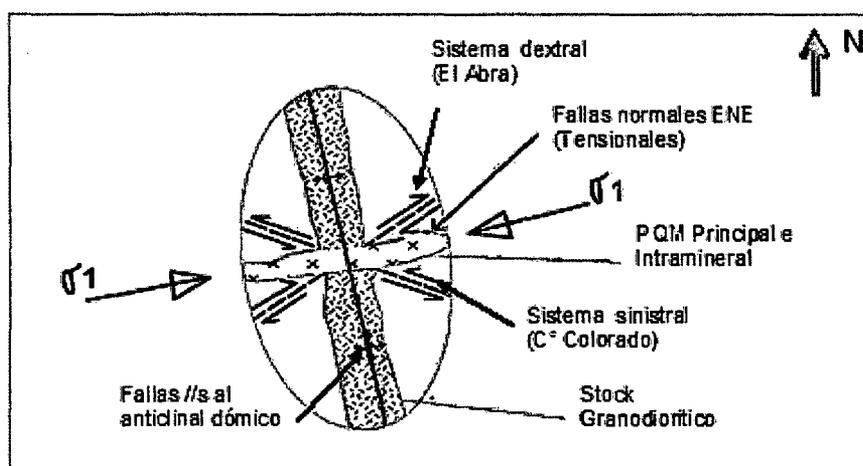


Figura. 7.1 Elipsoide de deformación mostrando el anticlinal Trapiche, el emplazamiento del stock granodiorítico en su núcleo, intersección de fallas NWW y NE importantes para el emplazamiento de los cuerpos de PQM Principal e Intramineral.

7.1. PLEGAMIENTOS

El yacimiento Trapiche se localiza en el extremo norte del stock granodiorítico de forma tabular, emplazado en el eje de un anticlinal domo de rumbo N10°-20°W con un plunge de 30°- 40° hacia el norte, hacia el sur está cubierto por los volcánicos del Tacaza; en el flanco oeste afloran



lutitas negras carbonosas de la Formación Piste y en el flanco este afloran areniscas grisáceas intercalado con niveles de lutitas de la Formación Chuquibambilla; en este flanco existen pequeños re-plegamientos apretados de hasta 200 m de longitud de rumbo $N20^{\circ}-30^{\circ}W$ en el Sector Cerro Colorado paralelos al anticlinal Trapiche, probablemente asociado a la compresión ENE y pliegues con rumbo $N80^{\circ}W$ en el sector Trapiche Este, que al parecer estarían asociados al eje de compresión local $N40^{\circ}-60^{\circ}E$ (Lámina 12).

7.2. SISTEMAS DE FALLAS

La estructura es compleja y está lejos de ser entendida en su totalidad. Incluye 4 sistemas principales de fallamiento. 1) sistema de fallas NWW, representado por la falla Cerro Colorado que cruza el yacimiento de SE a NW y la falla Arpa Orco localizada al sur del yacimiento ambas fallas son de tipo sinistral con longitudes entre 3 a 10 km, 2) sistemas de fallas $N40^{\circ}-60^{\circ}E$ representado por las fallas El Abra que limita el borde este y sur de la Brecha Pipe y la falla Tintirayoc al NW del yacimiento, 3) sistema de Fallas E-W $+10^{\circ}$ representado por las fallas Trapiche y Campamento localizadas en el borde sur y norte del yacimiento y 4) sistema de fallas N-S $+20^{\circ}$, importantes en los sectores Millucucho y Aycho (Figura 7.2 y Lámina 12).

En sección, las fallas aflorantes poseen espesores centimétricos a métricos, rellenos de polvo de roca - sílice - calcita – arcillas y sulfuros (py-Aspy). Así mismo presentan indicadores de strain compresivo con desplazamiento aparentemente poco significativo.

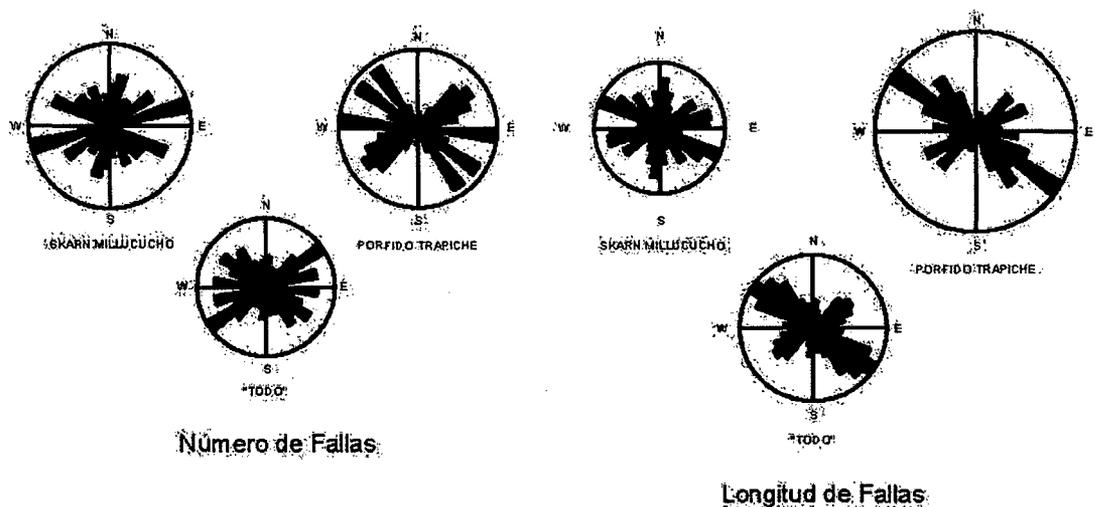


Figura. 7.2. Rosas estructurales mostrando los principales sistemas de fallas del yacimiento Trapiche. Data estructural obtenida de mapeo de campo.

7.2.1. Sistemas de Fallas Strike Slip conjugados WNW (Sinistral) y NE (Dextral)

Los sistemas de fallas strike slip conjugados WNW sinistral (Falla Cerro Colorado y Falla Arpa Orco) y NE dextral (Falla el Abra), son los más antiguos en la zona; cabe indicar que muchas de estas fallas en el presente muestran desplazamiento normal. Esto es efecto de que fueron reactivados durante periodos extensivos comportándose como fallas normales permitiendo el emplazamiento de los diversos cuerpos intrusivos.

Estos sistemas de fallas se habrían formado durante los eventos II y III de la fase Tectónica Inca, donde predominaron esfuerzos compresivos ENE, obviamente seguido de periodos distensivos y fueron reactivadas a lo largo del tiempo. En la actualidad dentro del yacimiento Trapiche se encuentran cortando a las rocas sedimentarias y cuerpos intrusivos, esto evidencia que la cinemática de fallas se mantuvo activa a lo largo de los periodos tectónicos posteriores y sucesivos al emplazamiento de las fases monzoníticas.

Usando el modelo clásico de Anderson (1942) y Riedel,



aplicado al análisis de la población de fallas mapeadas en el yacimiento Trapiche se deduce que estas estructuras se habrían formado bajo un eje compresivo $N70^{\circ}-80^{\circ}E$ (Figura 7.3), que originó un par de fallas de Cizalla a) el primero de rumbo $N 50^{\circ}-60^{\circ}E$ de tipo dextral y b) fallas de rumbo $N 60^{\circ}-70^{\circ}W$ de tipo sinistral.

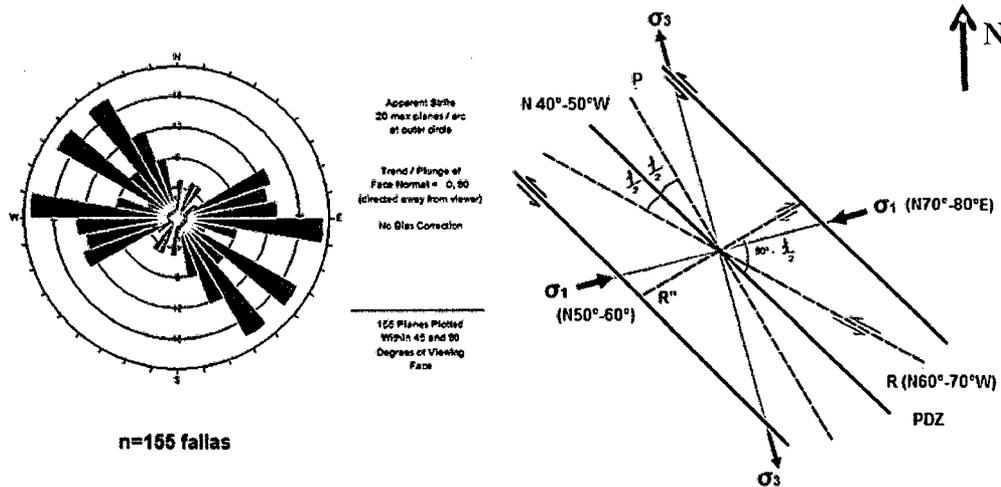


Figura. 7.3 Rosas estructurales y diagrama de esfuerzos de la Brecha Pipe y pórfidos.

Falla Cerro Colorado

La zona de falla ha sido reconocida en forma discontinua en una longitud de 10 km. se encuentra en gran parte cubierta con anchos de 15 – 50 m., de rumbo $N60^{\circ}-70^{\circ}W$ y buzamiento de $60-70^{\circ}NE$; es la falla más importante del Sistema NWW, de movimiento sinistral por los indicadores cinemáticos registrados en campo (Lámina 12).

En el sector Cerro Colorado, esta estructura presenta hacia la base una banda de 0.3-1 m. Brecha Freática de matriz cuarzo hialino, sílice gris, cuarzo geódico, pirita escasa sericita-caolinita-puntos de arsenopirita, continúa 3-7 m de brecha tecto-hidrotermal, constituida por matriz polvo de roca-arcillas (caolín-sericita)-limonitas+-sílice.

Hacia el techo franja de 3-5 m. de gouge roca molida-dacita-



sericita-illita-caolinita-OxFe, todas estas franjas de brecha engloban fragmentos subredondeados de areniscas y limolitas piritizadas - silicificadas. A ambos lados las cajas están argilizadas (Figura 7.4)

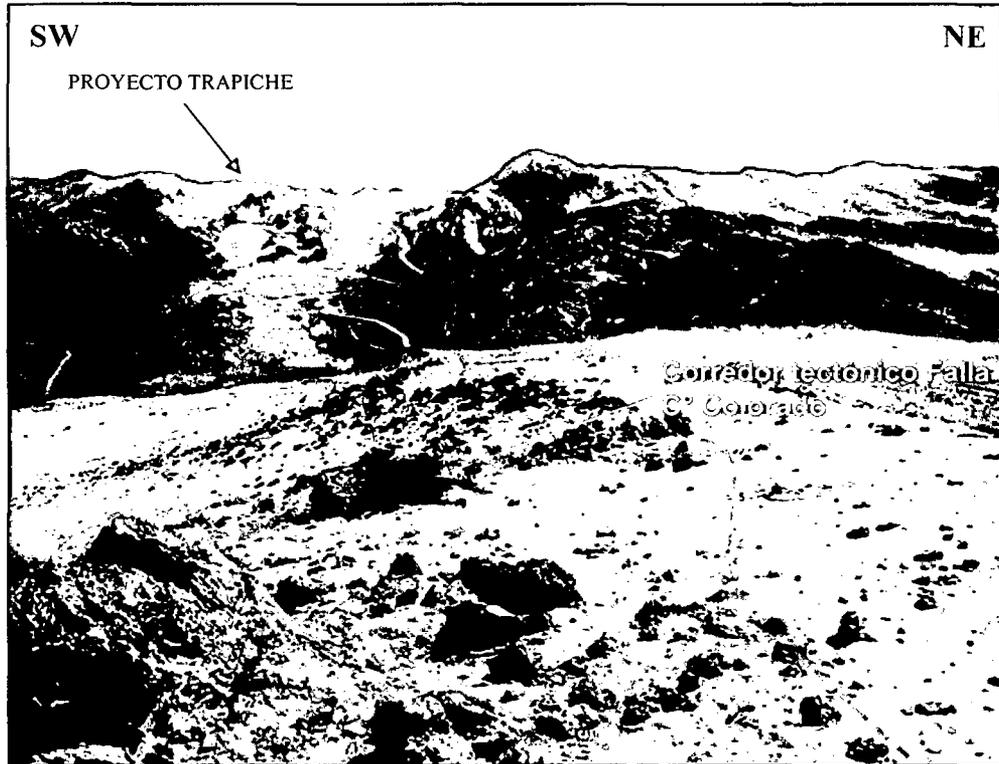


Figura 7.4. Vista panorámica de la falla Cerro Colorado, mirando hacia el NW

Tabla 7.1. Estación falla Cerro Colorado, principales fallas con pitch.

Strike	Dip	Rake	Sense of Slip	σ_1	σ_2	σ_3	P	T
				Trend, Plunge				
290	76	20	Sinistral	247°, 8.6°	62°, 81.3°	156.9°, 7.0°	246.2°, 11.2°	336.3°, 0.6°
107	76	12	Sinistral					
286	60	15	Sinistral					
286	80	20	Sinistral					
287	80	17	Sinistral					
120	82	15	Sinistral					

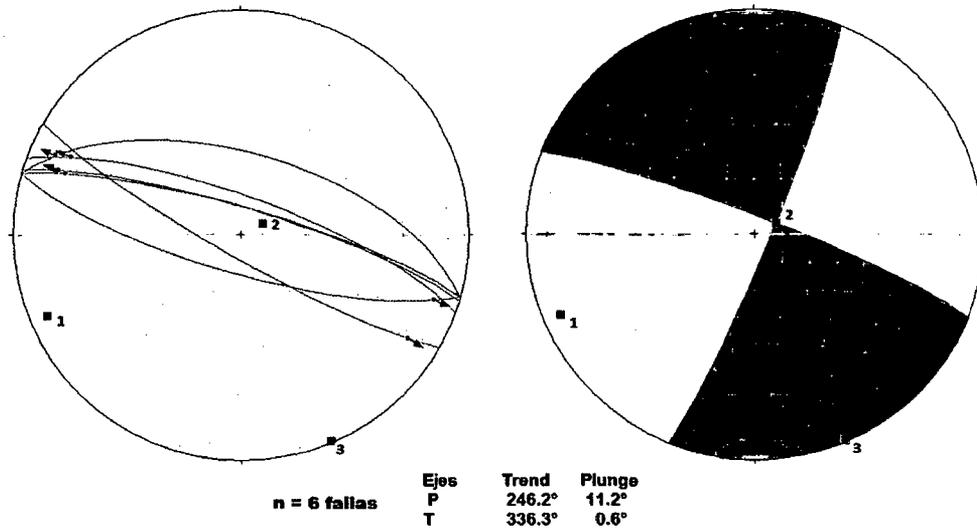


Figura 7.5. Paleoesfuerzos del sistema de fallas Cerro Colorado

Falla Arpa Orco

El sistema de fallas Arpa Orco corresponde a una zona de cizalle de más de 3.0 km de longitud, ubicada en la parte SW del área y afecta principalmente al complejo granodiorítico y en menor grado a la unidad sedimentaria de lutitas y limolitas. Sobre la base de evidencias superficiales consideradas favorables se tiene un corredor estructural de 20-50 m. de ancho de rumbo N50°-60°W y buzamiento de 70°-80°SW; es una de las fallas importante del sistema NWW, de movimiento sinistral por los indicadores cinemáticos registrados ver tabla 7.2.

Esta falla presenta hacia el techo 2.5 m. de gouge el cual grada hacia el piso hacia una zona de falla de 10-15 m. constituida por fallas y fracturas paralelas rellenas con polvo de roca, óxidos y carbonatos de cobre (neotocita, tenorita, malaquita, azurita).

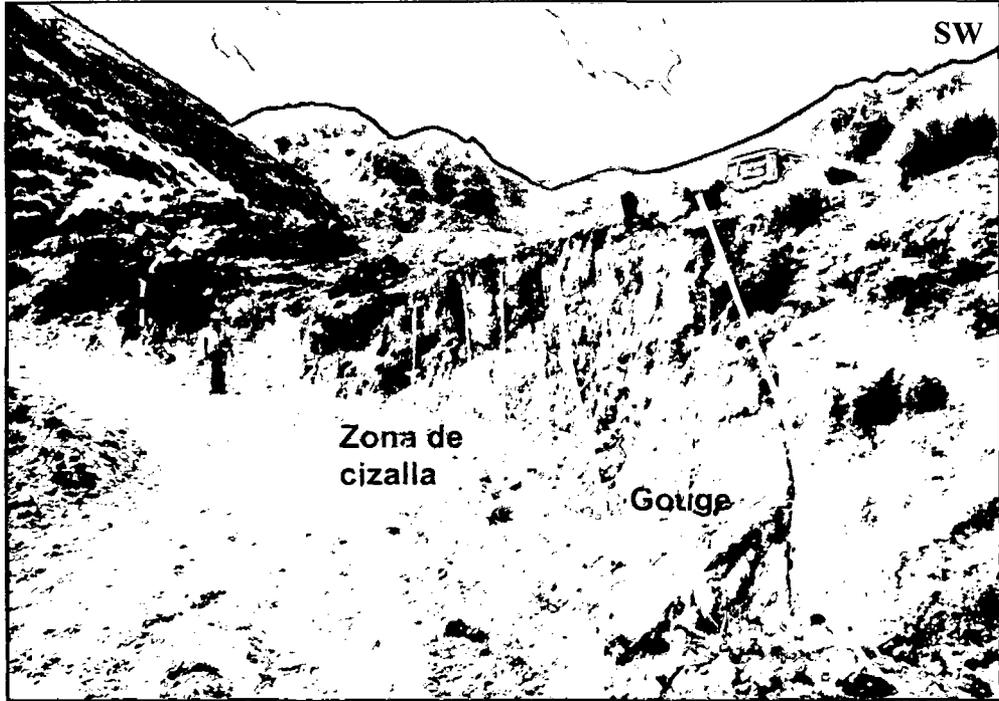


Figura 7.6. Vista panorámica de la zona de falla Arpa Orco, mirando al SE.

Tabla 7.2. Estación falla Arpa Orco, principales fallas con pitch.

Strike	Dip	Rake	Sense of Slip	σ_1	σ_2	σ_3	P	T
				Trend, Plunge				
130	82	30	Sinistral	79.4°, 29.5°	286.6°, 57.6°	176.5°, 12.4°	79.4°, 29.5°	176.5, 12.4°
120	82	32	Sinistral					
125	72	30	Sinistral					
120	72	35	Sinistral					

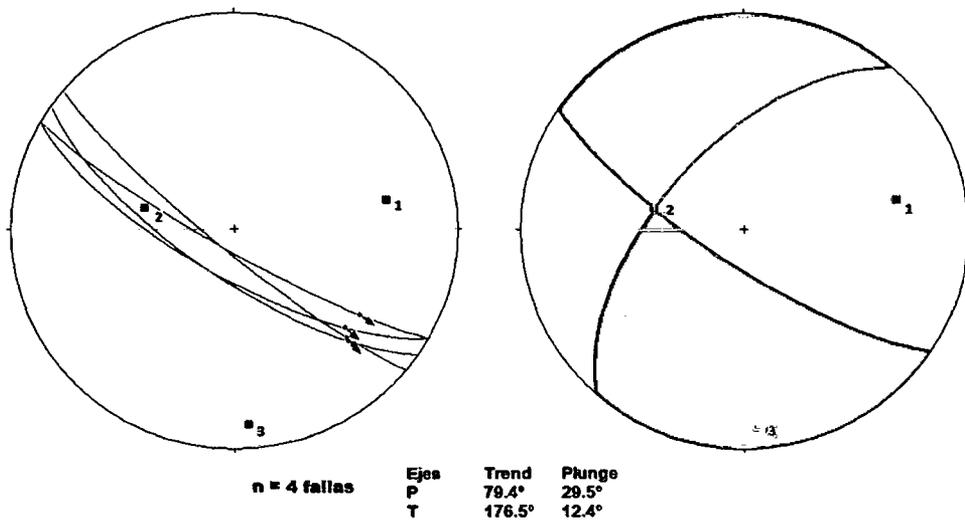


Figura 7.7. Paleoesfuerzos del Sistema de fallas Arpa Orco



7.2.2. Sistema de Fallas E – W+10°

Este sistema de fallas corta a los sistemas de fallas WNW y NE. Por lo tanto son más tardías y se habrían formado durante un periodo compresivo de carácter local cuyo trend es N40°-60°E. Esto indicaría que localmente el esfuerzo compresivo regional E-W a N70°-80°E, habría rotado hacia el NE.

En el yacimiento Trapiche las fallas más importantes son: El sistema E-W de la falla Trapiche localizada en el borde sur del yacimiento, corta al PQM Principal e Intramineral, areniscas y limolitas a lo largo de 3 km. Con un rumbo de E-W +10°, buzamiento 75°-85° hacia el norte. La falla presenta una banda de gouge de 3 m. de ancho formada por roca triturada-arcs-py-OxFe-cal, la cual grada hacia una zona de falla constituida por fallas paralelas y fuerte fracturamiento. Esta falla es de tipo tensional (normal) con movimiento sinistral a juzgar por los indicadores cinemáticos.



Figura 7.8. Vista panorámica de la zona de falla Trapiche, mirando al E



La falla Campamento de tipo tensional (normal) con movimiento sinistral ubicada en la margen norte. A manera interpretativa, la fábrica estructural desarrollada corresponde a una zona transtensiva de forma cóncava hacia abajo, relacionada al ambiente compresivo NE. Estructura que habrían aprovechado para interactuar los fluidos magmáticos con agua connata probablemente emanados del Pórfido principal y el agua meteórica que percoló a través de estas fallas normales y que al reaccionar mutuamente, se calienta con mucha rapidez y aumenta de volumen produciéndose una explosión violenta que fracturó y brechó al PQM principal/PQM Intramineral y la roca huésped (areniscas y limolitas), formando un conducto de brecha magmático-hidrotermal (Brecha Pipe).

Posteriormente estas fallas fueron reactivadas permitiendo el emplazamiento de los diques tardíos.

7.2.3. Sistema de Fallas conjugados N-S $\pm 20^\circ$

En las Zonas de Millucucho y Aycho, este sistema de fallas de comportamiento normal se encuentra controlando el emplazamiento de diques tardíos de dacita – andesita principalmente (Lámina 12).

7.2.4. Determinación de Paleoesfuerzos

Un método para calcular los paleoesfuerzos estuvo publicada por Angelier & Mechler (1977). En este método por cada plano de falla el diedro compresivo y distensivo son calculados. Cada punto del diedro compresivo recibe un valor de 1. Todos los puntos de las fallas son superimpuestos y contorneados. Los eigenvectores y eigenvalues son calculados para recibir los tres ejes principales de esfuerzos (Reiter y Acs.2002), utilizando las familias de fallas a través del método del diedro recto.



En Trapiche se midieron en total 20 planos de fallas, clasificándolos en dos grupos de acuerdo a la relación de corte.

Las tablas 7.3 y 7.4, nos muestran los datos de las familias de fallas formadas bajo esfuerzos compresivos ENE y bajo esfuerzos compresivos NE. Para cada falla se midió la orientación del plano de falla, el ángulo de barrido (pitch) de las estrías sobre esa superficie y se indico el movimiento asociado a ellas, usando criterios de indicadores cinemáticos frágiles (petit, 1987; Angelier, 1994). Las superficies que no tenían indicadores cinemáticos reconocibles, no pudieron ser integradas al análisis computacional.

Estos datos fueron analizados usando el software FaultKin 5.2 (Richard W. Allmendinger © 2011). Los resultados de los principales paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), nos indican que estos sistemas de fallas fueron generados por lo menos bajo dos esfuerzos compresivos ENE y NE. El primero coincide con la dirección de convergencia de placas ENE, ocurrido durante la fase Tectónica Inca III (30-25 Ma).

Tabla 7.3. Principales datos cinemáticos de fallas antiguas

Strike	Dip	Rake	Sense of Slip	σ_1	σ_2	σ_3	P	T
				Trend, Plunge				
290	76	20	Sinistral	250.1°, 9.6°	51.4°, 79.8°	159.6°, 3.2°	75.4°, 4.7°	165.9°, 6.0°
107	76	12	Sinistral					
286	60	15	Sinistral					
286	80	20	Sinistral					
287	80	17	Sinistral					
120	82	15	Sinistral					
130	82	30	Sinistral					
120	82	32	sinistral					
125	72	30	sinistral					
120	72	35	Sinistral					
300	82	12	dextral					
20	70	35	sinistral					
248	68	11	dextral					
290	72	12	Sinistral					
290	62	15	sinistral					

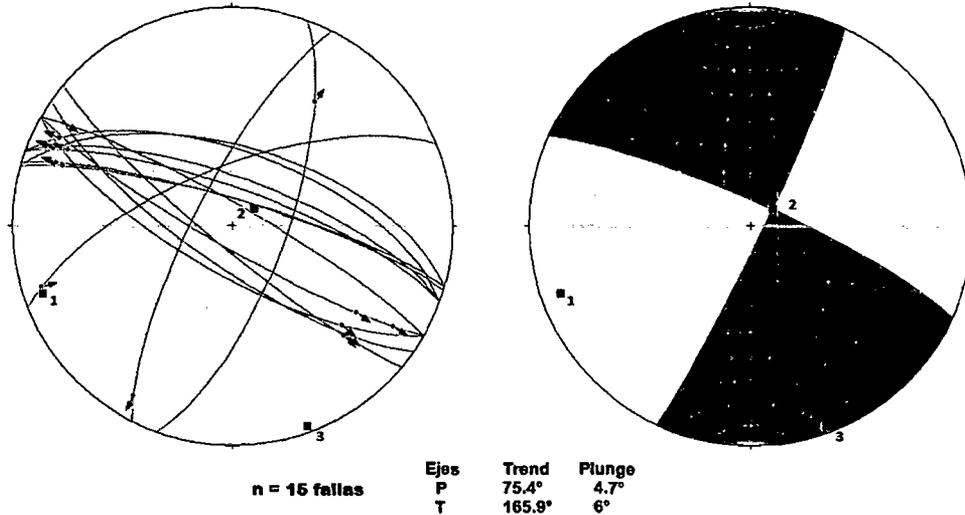


Figura 7.9. Principales paleoesfuerzos bajo un régimen compresivo ENE

Tabla 7.4. Principales datos cinemáticos de fallas recientes

Strike	Dip	Rake	Sense of Slip	σ_1	σ_2	σ_3	P	T
				Trend, Plunge				
260	75	11	Sinistral	39.9°, 61.2°	231.8°, 28.3°	139.1°, 5.0°	40°, 61.2°	139.1°, 5.0°
90	75	45	Normal dextral					
260	75	11	Normal sinistral					
280	62	52	Normal sinistral					
52	68	32	Sinistral					

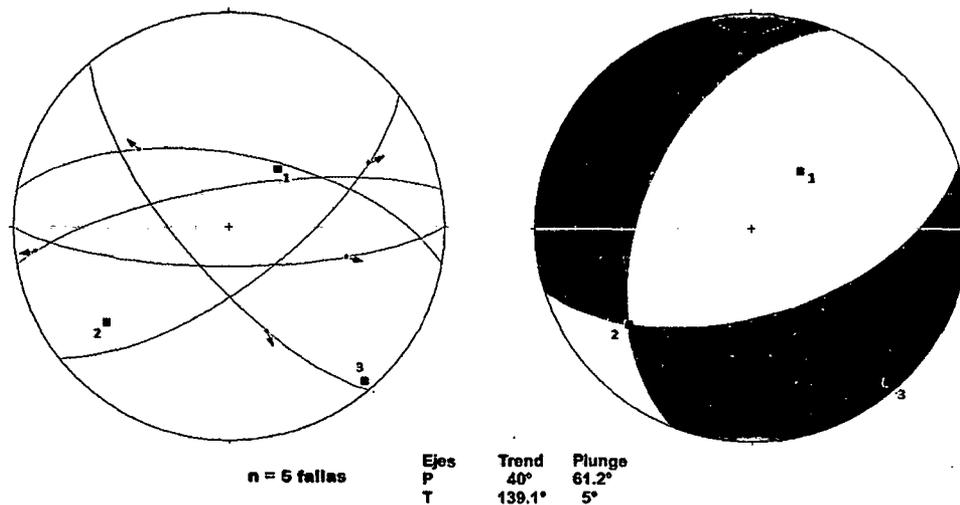


Figura 7.10. Principales paleoesfuerzos bajo un régimen compresivo NE

7.3. SISTEMAS DE DIQUES TARDIOS

Se tienen 02 familias de diques tardíos bien diferenciados; los diques de Pórfido cuarzo monzoníticos de grano grueso (PGD) y los diques de dacita – andesita.



Los diques de PGD, con tendencias predominante N20°-40°W en el borde NWW de la Brecha Pipe y ENE en el sector Trapiche Este, cortan a la roca huésped (limolitas y areniscas) así como al stock granodiorítico y pórfidos cuarzomonzoníticos. Probablemente represente al evento tardío de las monzonitas, anterior o contemporáneo con la formación de la Brecha Pipe, ya que forma parte de los fragmentos de la brecha y en sectores parte de la matriz intrusiva de ésta.

Los diques de dacita – andesita, son intrusivos postminerales con tendencias ENE y NW cortan a la roca encajonante, intrusivos y la Brecha Pipe; en los sectores Millucucho y Aycho estos diques tienen una tendencia principal N0°-10°W y N50°-60°E; cabe indicar que estos diques en sectores forman verdaderos enjambres de diques.

Estos diques tardíos representan el último evento de actividad intrusiva en el yacimiento Trapiche. En muchos casos ambos sistemas de diques han sido emplazados en las fallas mayores que afectan el área (Figura 7.11).

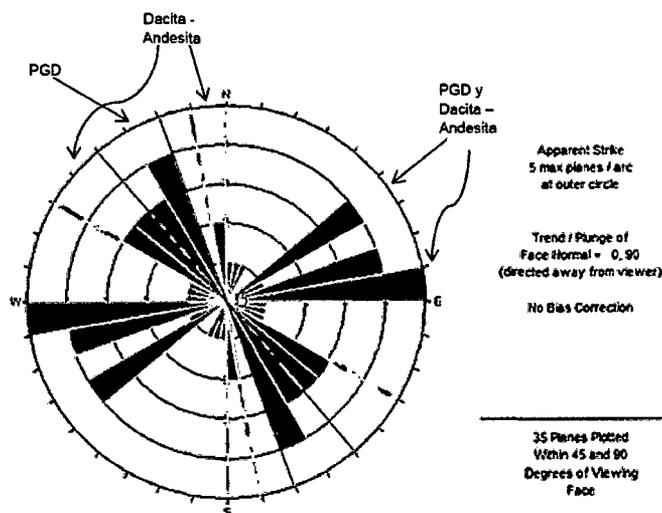


Figura 7.11. Principales orientaciones de los diques en el área de Trapiche. Diques PGD de orientación N20°-40°W y ENE con buzamiento ligeramente al norte, corresponde al último evento de las monzonitas. Los diques de dacita – andesita de orientación ENE, NW y N0°-10°W.



7.4. FRACTURAMIENTOS

Con el objetivo de determinar la secuencia de los diferentes sistemas de fracturamiento dominantes a lo largo de los diferentes periodos de deformación se ha dividido en tres diferentes tipos de fracturas: 1) fracturas de la roca caja, 2) fracturas de las unidades intrusivas y 3) fracturas en diques tardíos. Estas divisiones de fracturas representan la evolución del fracturamiento en el Yacimiento.

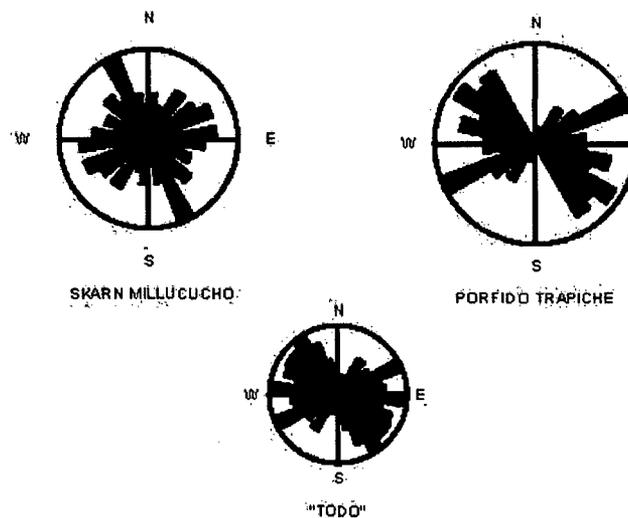


Figura 7.12. Principales sistemas de fracturas en el depósito Trapiche

7.4.1. Fracturas de la roca caja

Es importante conocer las fracturas que predominan en la roca caja puesto que es la sumatoria del fracturamiento heredado de los eventos tectónicos desarrollados antes, durante y después del emplazamiento de los intrusivos. Las fracturas muestran 3 sistemas predominantes 1) sistema ENE, 2) sistema WNW y 3) Sistema N20°-40°W.

Estas fracturas tendrían un origen en los esfuerzos tectónicos que han afectado el área a gran escala con predominio de aquellas fracturas generadas en los últimos eventos, puesto que estos habrían disturbado ó rotado aquellas fracturas iniciales.



De estos sistemas los de mayor importancia son ENE y WNW ya que en los bordes de los intrusivos se encuentran mineralizados. El Sistema $N20^{\circ}-40^{\circ}W$, es un sistema tardío.

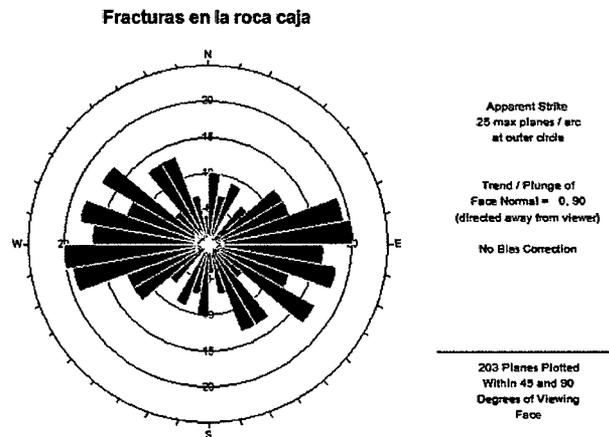


Figura 7.13. Principales sistemas de fracturas en la roca huésped 1) sistema ENE, 2) sistema WNW y 3) Sistema $N20^{\circ}-40^{\circ}W$

7.4.2. Fracturas de las unidades intrusivas

La importancia de estos fracturamientos es conocer aquellos sistemas de fracturas generados durante y después de la intrusión del stock Granodiorítico y demás pórfidos cuarzomonzoníticos, fracturas que permitirán el paso de los fluidos mineralizantes; del gráfico se puede ver 2 sistemas predominantes: 1) Sistema $N50^{\circ}-70^{\circ}W$ y 2) Sistema ENE (Figura 7.14); de los cuales el sistema ENE es el más importante por albergar la mineralización de Cu-Mo en el PQM Principal e Intramineral; el sistema $N50^{\circ}-70^{\circ}W$ está controlando el corredor estructural de la falla Arpa Orco con mineralización importante tipo sheeting de cp-py en una franja cuyo ancho es 40-80m. (Lámina 12).

7.4.3. Fracturas en los diques tardíos

Las fracturas en los diques tardíos indican las condiciones estructurales de fracturamiento tardío que prevalecieron después del emplazamiento de las monzonitas. La importancia de estos



fracturamientos es conocer que estructuras de afloramiento fueron predominantes durante y después de la intrusión de los diques tardíos. El fracturamiento de los diques predominante es NW y de menor grado E-W+ -20° (Figura 7.15); estos diques principalmente se habrían emplazado durante un régimen de esfuerzos extensivos NE; y que posteriormente este régimen habría cambiado a un régimen extensivo N-S, donde el sistema E-W+ -20° se hace mas predominante en los diques de dacita – andesita.

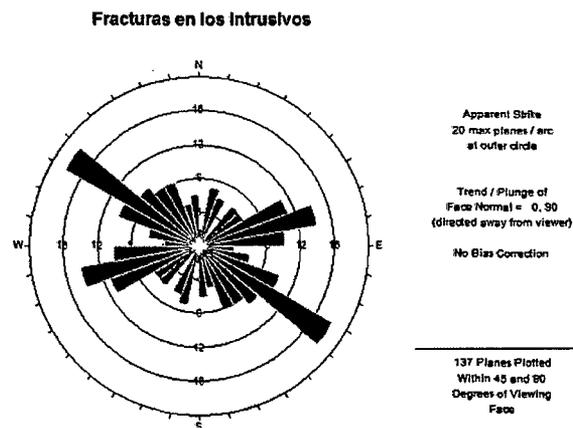


Figura 7.14. Principales sistema de fracturas en los intrusivos 1) sistema $50^\circ-70^\circ W$ y 2) sistema ENE

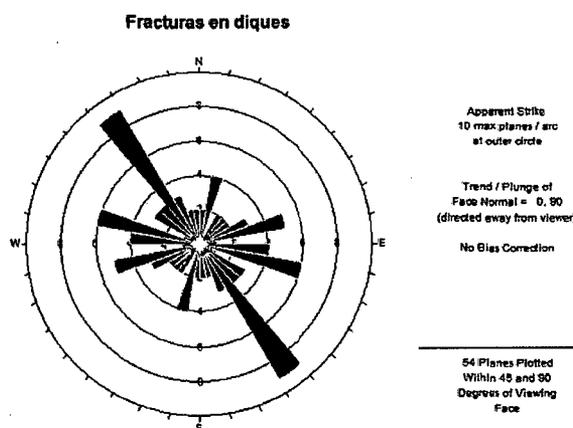


Figura 7.15. Principales sistemas de fracturas en los diques tardíos 1) sistema NW y 2) E-W+ -20°



7.5. SISTEMAS DE VENILLAS

Esta sección se ha dividido por análisis de venas prógradas y retrogradas en los pórfidos mineralizados y en la roca encajonante. Venas prógradas están clasificadas por: 1) venas tipo “A” de qz-Kspar y venas de qz, ambos sistemas con escasos ó sin sulfuros, 2) microvenillas tipo “EB”, cuyo ancho es <1 mm de cp-bn, cp-mo con halos de clorita, 3) venas tipo “B” de qz con sutura central de sulfuros py-cp-mo y 4) venillas tipo “C” de py+cp con halos de clorita, estas venillas cortan a las demás sistemas de venillas. Venas retrógradas son venillas y microvenillas de clorita-pirita-calcita+ puntos de calcopirita, sin importancia económica.

El análisis estadístico del total de venillas presentes en el yacimiento Trapiche muestran 3 sistemas principales de venillas 1) sistema N-S +25°, 2) sistema N70° - 80°E y 3) sistema N40° - 60°E (Figura 7.16). Todos estos sistemas tienen un grado de variación debido al hidrofracturamiento causado por la sobrepresión de los fluidos.

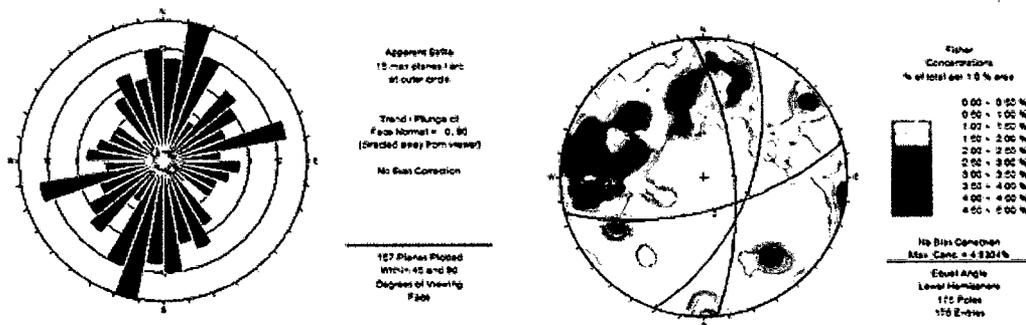


Figura 7.16. Principales sistemas de venas y venillas en el depósito Trapiche

7.5.1. Venillas en la roca encajonante (Limolitas y Areniscas)

Dentro del paquete de limolitas y areniscas se desarrollaron tres eventos de venillas. La secuencia paragenética en base a la relación de corte se tiene. a) Microvenillas “EB” <2 mm de cp-py con halos de clorita-biotita, cortados por, b) venillas tipo “B” de qz-cp-py-



mo; de 2-15 mm y c) venillas tipo “C” de py-cp de 1-10 mm, las cuales cortan a las anteriores (Figuras 7.18). Los fluidos mineralizantes habrían aprovechado aquellos sistemas de fracturas generados antes y durante el emplazamiento de los cuerpos intrusivos. Los sistemas de venillas son: 1) sistema N20°-40° E, 2) sistema N70°-80°W y 3) Sistema N50°-60°E ver figura 7.17.

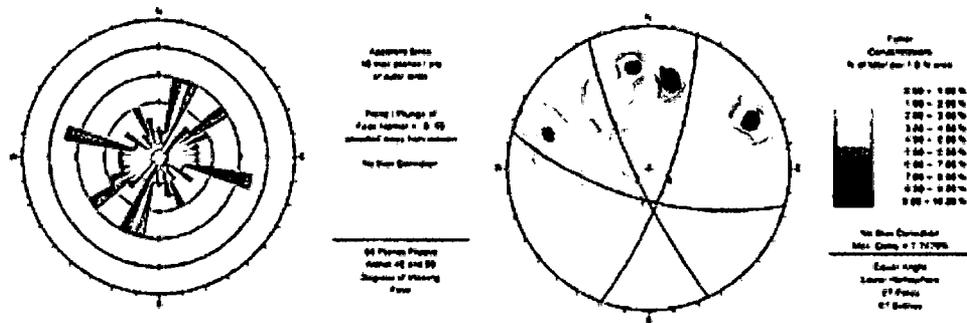


Figura. 7.17. Principales sistemas de venillas de cuarzo-sulfuros y sulfuros en la roca huésped con datos de mapeo de campo.

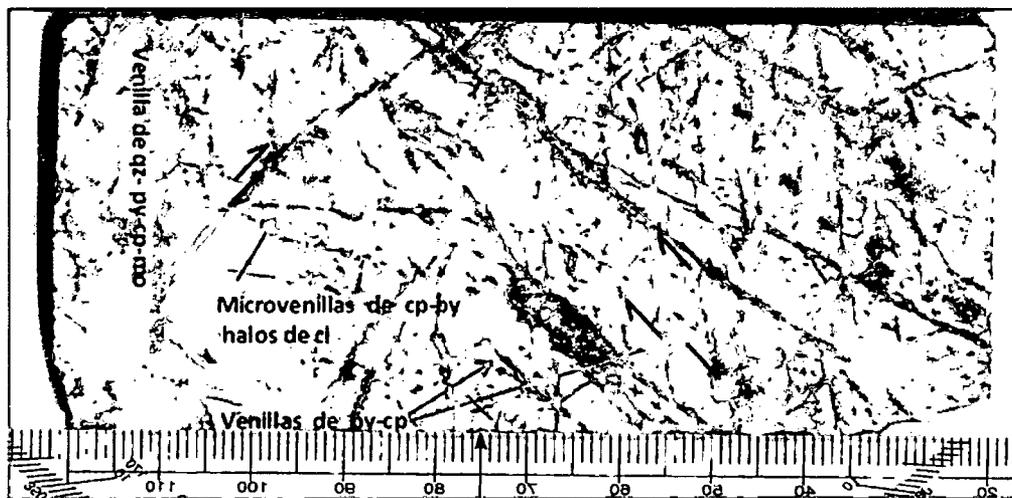


Figura 7.18. Principales tipos de venillas presentes en la roca huésped: 1) Microvenillas “EB” de cp-py con halos de cl-bt, 2) venillas tipo “B” de qz-py-cp-mo y 3) venillas tipo “C” de py-cp.

7.5.2. Venillas en el PQM Principal

La razón de la concentración de venillas mineralizadas en los pórfidos monzonita mineralizados es debido a que estos fueron los focos por donde los fluidos hidrotermales residuales cargados de



iones metálicos han migrado aprovechando zonas de debilidad estructural favorables.

El PQM Principal presenta la mayor densidad de venillas en promedio 40-60/m en forma de sheeting y stockwork y son sistemas mineralizados con cp-mo. El foco alimentador de estos sistemas de fluidos estaría relacionado al trend N50°-70°W (falla Cerro Colorado). La secuencia paragenética en base a la relación de corte entre estos diferentes sistemas de venillas es la siguiente:

- a) Venillas tipo “A” de qz-Fspar de 6 – 10 mm de ancho con halos de FpK, cuyo ensamble mineralógico es qz –Fspar sin sulfuros, cortado por venillas de qz gris-puntos de cp sinuosas; ambos representan el primer evento de mineralización (Figura 7.20a).
- b) Venillas tipo “B” de qz de 2 – 20 mm de ancho de paredes rectas con sutura central rellena de py-cp, mo en puntos y parches, cortan a las anteriores (Figura 7.20b).
- c) Venillas tipo “C” de sulfuros de py-cp con halos de clorita de 1 – 10 mm de ancho, cortan a las venillas anteriores. (Figura 7.20c).

Los sistemas de venillas desarrollados son: 1) Sistema de Venillas NNW y 2) Sistema de Venillas ENE, ver figura 7.19.

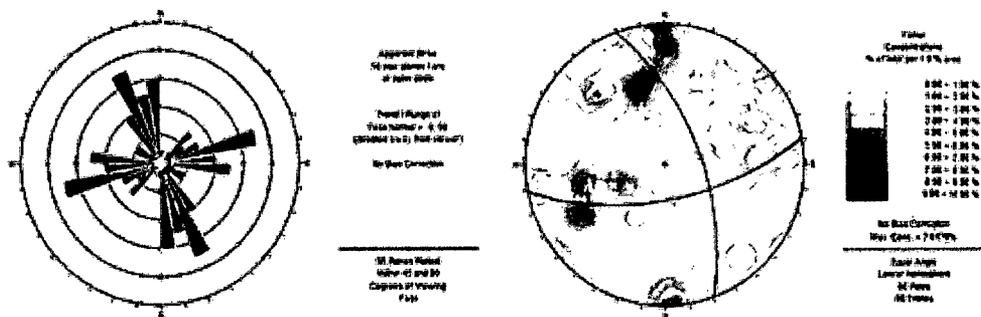


Figura. 7.19. Principales sistemas de venillas de cz-SULs y sulfuros en el PQM P.

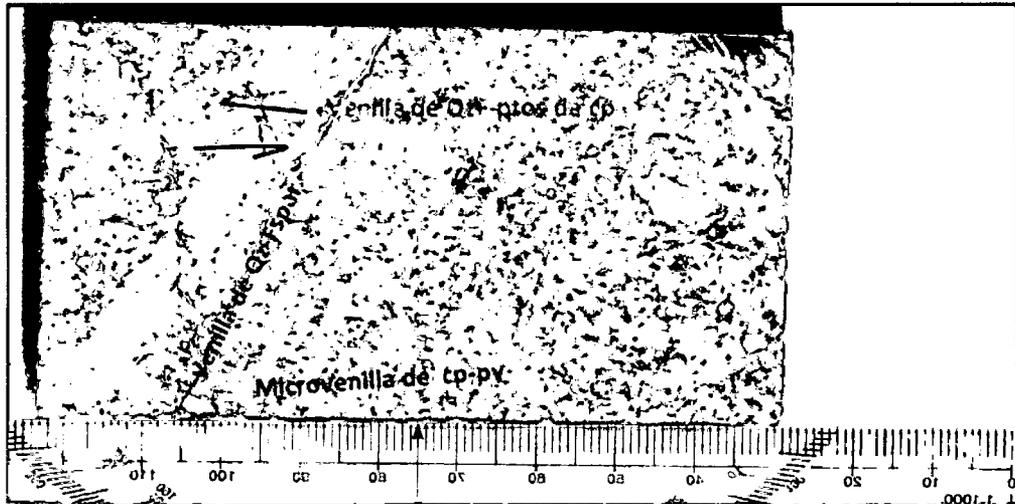


Figura 7.20A. Venillas presentes en las partes profundas del PQM Principal, venilla de Qz-Fspar cortados por venillas de Qz-ptos de cp sinuosa e irregular.



Figura 7.20B. Venillas tipo "A" de Qz-puntos de cp sinuosa e irregular, cortadas por venillas de qz tipo "B" de paredes rectas con sutura central rellena de cp-py-mo.

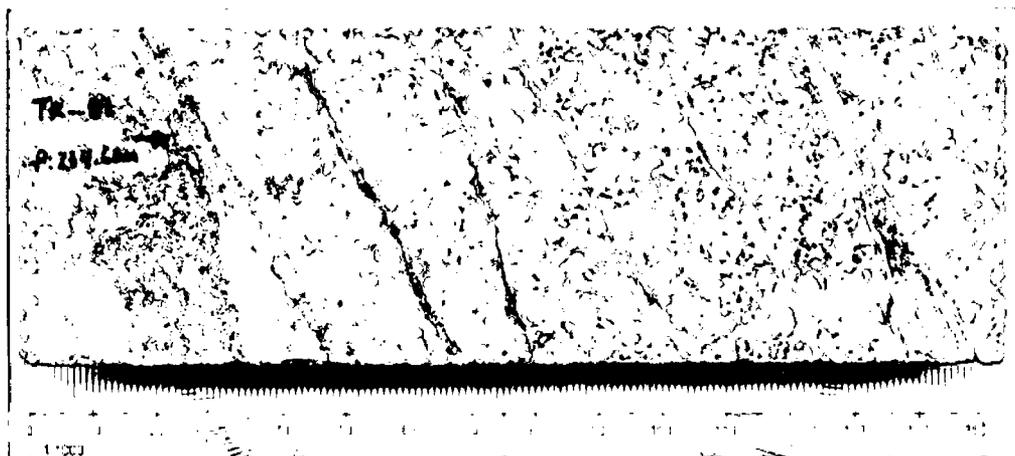


Figura 7.20C. Sheeting de venillas tipo "C" de py-cp con halos de clorita.



CAPITULO VIII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1. MODELO ESTRUCTURAL

La geología estructural del yacimiento Trapiche es compleja y está lejos de ser entendida en su totalidad. Sin embargo, del análisis estructural basado en la interpretación del mapeo geológico - estructural de campo, imágenes satelitales, fotografías aéreas e información de sondajes ha permitido identificar 2 esfuerzos compresivos regionales que han influenciado en la formación del depósito Trapiche.

Las primeras estructuras tectónicas identificadas en el área del proyecto, están vinculadas a la compresión Incaica de dirección NE-SW, correspondiente a la fase orogénica desarrollada en el Eoceno Medio a Tardío (43-30 Ma). Son de empuje dúctil/frágil, fallas inversas y pliegues (estrechos y volcados) orientados WNW, con vergencia dominante al sur. Probablemente durante esta fase se produce una fuerte deformación tectónica en los ejes de los pliegues y zonas de transición de anticlinales a sinclinales (afectados por sistemas de fallas), generándose zonas de fallas profundas por donde asciende el magma y forma grandes cámaras magmáticas en niveles altos, las cuales posteriormente cristalizan y evolucionan hacia los pórfidos.

El segundo y más importante evento compresivo habría rotado regionalmente hacia el E, cuyo eje compresivo estuvo orientado N70°-80°E (Lámina 13), generando en el periodo de contracción plegamientos de rumbo NNW y varios sistemas de fracturamiento y fallamiento sinistral como las fallas del sistema NW-SE (Cerro Colorado, Arpa Orco, Cabeza de Puma y Mama Orco), sistema de fallas dextrales NE (El Abra y Tintirayoc); así como sistemas de fracturas tensionales y fallas normales de orientación ENE, (Trapiche, Campamento y Millucucho). Durante este periodo se emplaza el stock granodiorítico de orientación N-S en el eje del anticlinal Trapiche y



hacia el norte se crean varias zonas de extensión tectónica de orientación E-W donde se emplazan pórfidos cuarzo monzoníticos activos y el desarrollo de sistemas de alteración magmático hidrotermal con la incorporación de Cu y Mo al sistema en venillas de cuarzo-sulfuros y sulfuros de orientaciones ENE y N-S+25°, teniendo como focos alimentadores a las fallas E-W y las intersecciones de las fallas WNW y NE.

Posteriormente el campo de esfuerzos ENE, localmente se reacomoda y rota hacia el NE (Lámina 14), reactivando los sistemas de fallas E-W+20° (Trapiche, Campamento y Millucucho) de componente sinistral y el sistema de fallas dextrales NNE tales como El Abra, Tintirayoc y otras en el Sector Millucucho. Durante este periodo en el sector Trapiche las fallas Trapiche, Campamento, El Abra y Tintirayoc se comportan como pares de cizalla generando sistemas de fracturas tensionales y fallas normales NE (cuenca pull apart) en el contacto del intrusivo monzonítico y la roca encajonante (limolitas y areniscas); ésta estructura permitió el emplazamiento del conducto de brecha (Brecha Pipe) y el desarrollo de un segundo evento de alteración y mineralización en la matriz de la brecha; mientras que al borde SE en el pórfido se desarrolla un sistema de venillas- vetas/falla de cuarzo-sulfuros con tendencia NNE. En el sector Millucucho también se generan brechas hidrotermales de orientación NNE con alteración y mineralización de Cu, metales base, Au y Ag, indicándonos una evolución en el tiempo y el espacio desde un sistema rico en Cu en la Brecha Pipe al Sur a un sistema más joven de Cu, (Pb-Zn) y metales preciosos al norte. Las últimas fases intrusivas (diques tardíos) se emplazan en las fracturas y fallas normales de tendencia NNW posiblemente en el periodo de relajación.

En efecto la evolución tectónica del sistema de fallas Condoroma-Caylloma-Mollebamba tendría un comportamiento estructural equivalente al sistema de fallas de Domeyko (Chile), ocurrido en el lapso de 28-30 Ma, caracterizado por un periodo de fallamiento lateral sinistral el cual está bien documentado en la región de Chuquicamata- El Abra (Falla Oeste).

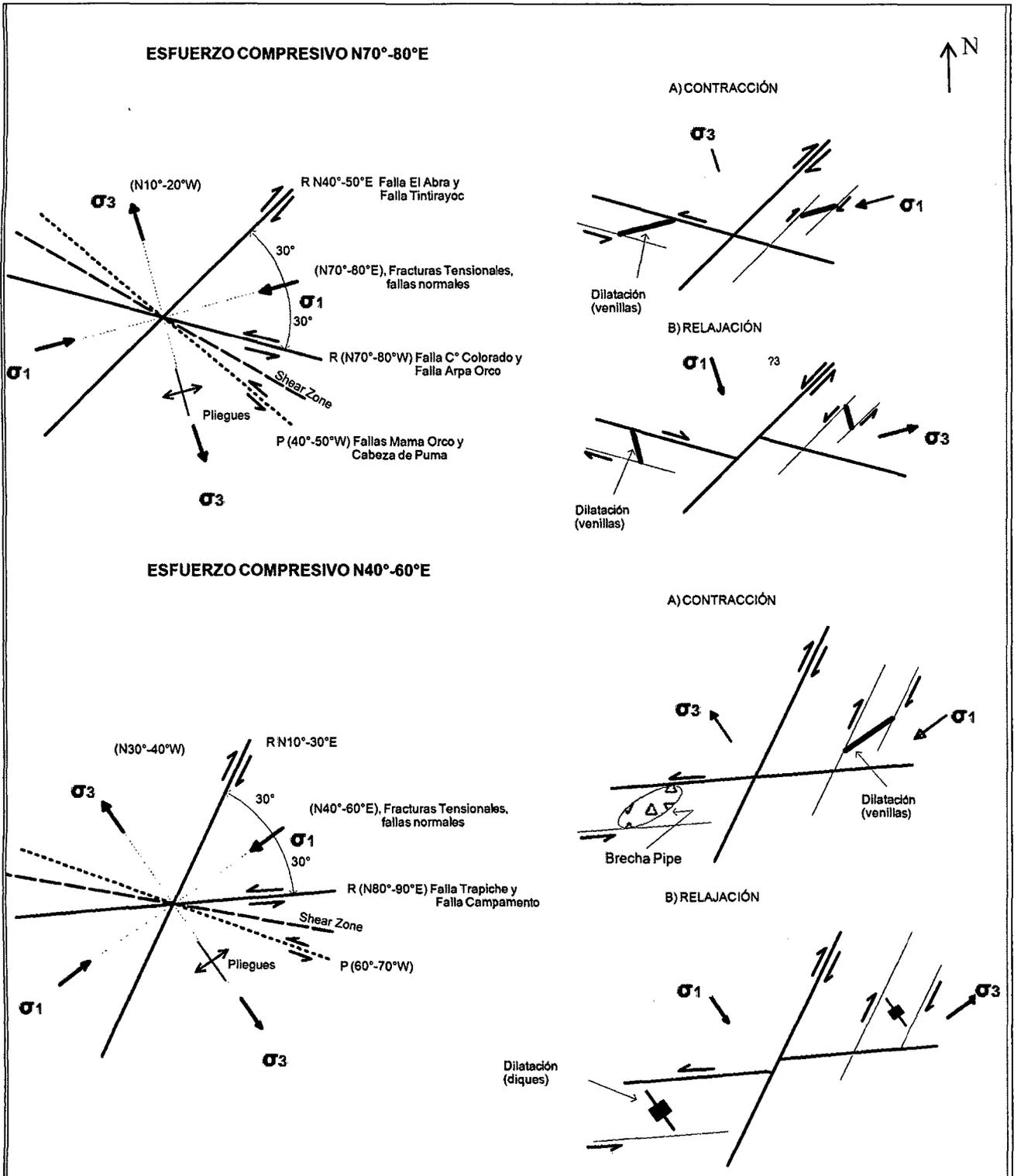


Figura 8.1. Principales ejes compresivos relacionados a la formación del depósito Trapiche bajo el régimen compresivo regional ENE: 1) Eje compresivo N70°-80°E estaría asociado al emplazamiento de los cuerpos porfíricos y sistemas de alteración magmático hidrotermal principal 2) Eje compresivo N50°-60°E, se relacionaría como el generador del conducto de brecha (Brecha Pipe) y las etapas finales intrusivas (diques tardíos) así como de alteración hidrotermal.



8.2. EVOLUCIÓN GEOLOGICA – ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO TRAPICHE

El distrito metalogénico de Trapiche, descansa dentro del cinturón de cobre Andahuaylas-Yauri de la parte sur del Perú. A partir del estudio realizado, teniendo en cuenta el control estructural principalmente, la relación de intrusivos, la alteración y mineralización, se establece la siguiente secuencia evolutiva geológico-estructural para el sistema del Pórfido Trapiche.

Durante el Jurásico inferior al Cretácico superior se depositaron las rocas más antiguas incluyen las secuencias conocidas como las Formaciones Piste (lutitas), Chuquibambilla (areniscas-lutitas), Soraya (Areniscas), Mara (Lutitas) y Ferrobamba (calizas), que representan una secuencia de margen pasivo. Estas Formaciones fueron afectadas regionalmente durante la primera fase orogénica andina (Fase Peruana de Steinmann), formándose amplios pliegues y fallas en el sector occidental, delineándose entonces la cordillera occidental.

Durante el Eoceno – Oligoceno la fase Tectónica Inca es fuertemente compresiva durante los primeros pulsos orogénicos se reflejan en plegamientos, fallas inversas y sobrecurrimientos. El batolito Andahuaylas-Yauri se emplaza y se levanta rápidamente dando lugar al emplazamiento de los pórfidos. Los productos de la erosión se depositan en cuencas sinorogénicas (Gp Puno) en el sector Antabamba.

A inicios de la Tectónica Inca III (Oligoceno Inferior) en la zona de Trapiche, se emplazan el stock Granodiorítico y los demás pórfidos monzoníticos Tempranos, originando fracturamiento y metamorfismo en las rocas sedimentarias. Durante la fase prógrada, se forman skarnoides de piroxeno y Hornfels en la roca caja; mientras que en los intrusivos se desarrolla la alteración potásica con su halo propilítico, la mineralización está constituida por sulfuros primarios (cp, bn y mb), los cuales ocurren en forma



diseminada, venillas, stockwork y masiva. Continúa el levantamiento de los andes así como los procesos erosivos los cuales generan una disminución en la presión litostática, se reactiva el sistema hidrotermal generándose la chimenea de Brecha y un nuevo sistema hidrotermal hipogeo. Posteriormente se emplazan intrusivos postminerales que cortan al sistema.

Durante el Mioceno se produce el vulcanismo y continúa el levantamiento de los andes, los procesos de erosión se acentúan exponiendo el depósito al desarrollo de los eventos supérgenos, los cuales desarrollan zonas de lixiviación, óxidos de cobre y enriquecimiento secundario.

A continuación, los siguientes gráficos, resumen los principales eventos tectónicos que han permitido el emplazamiento y evolución hidrotermal del depósito Trapiche, basado en el modelo conceptual para el emplazamiento de pórfidos.

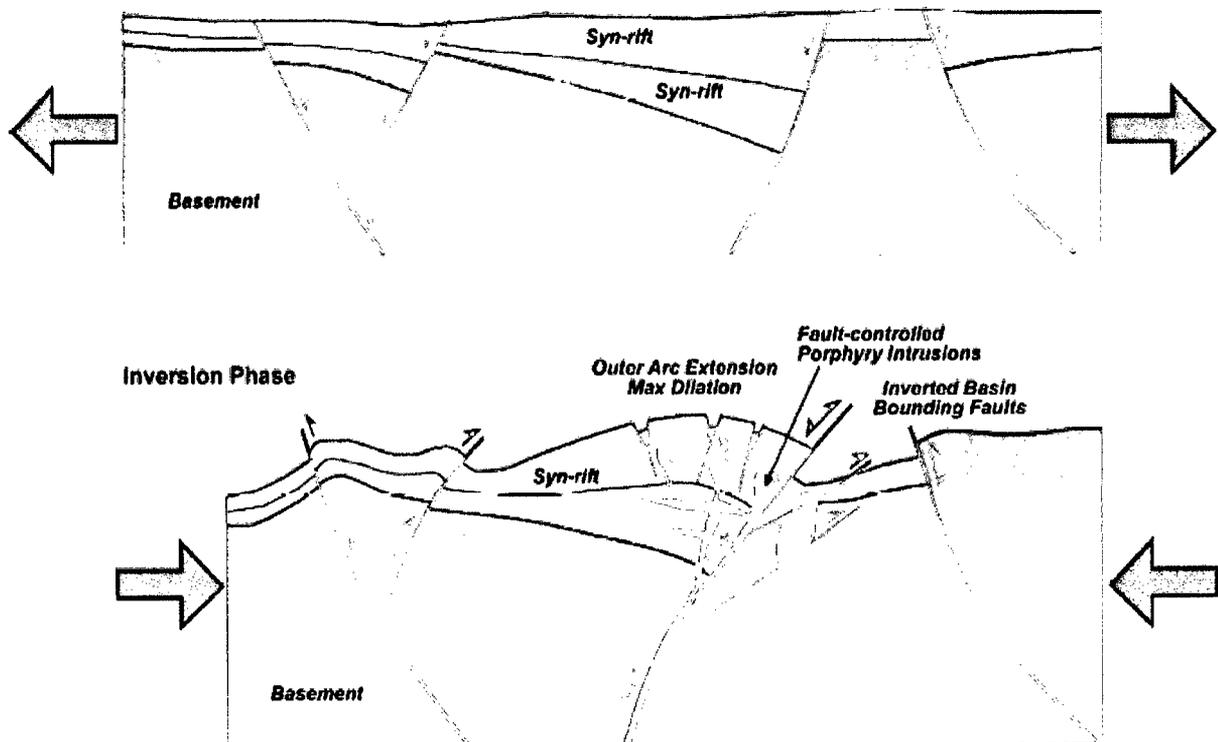
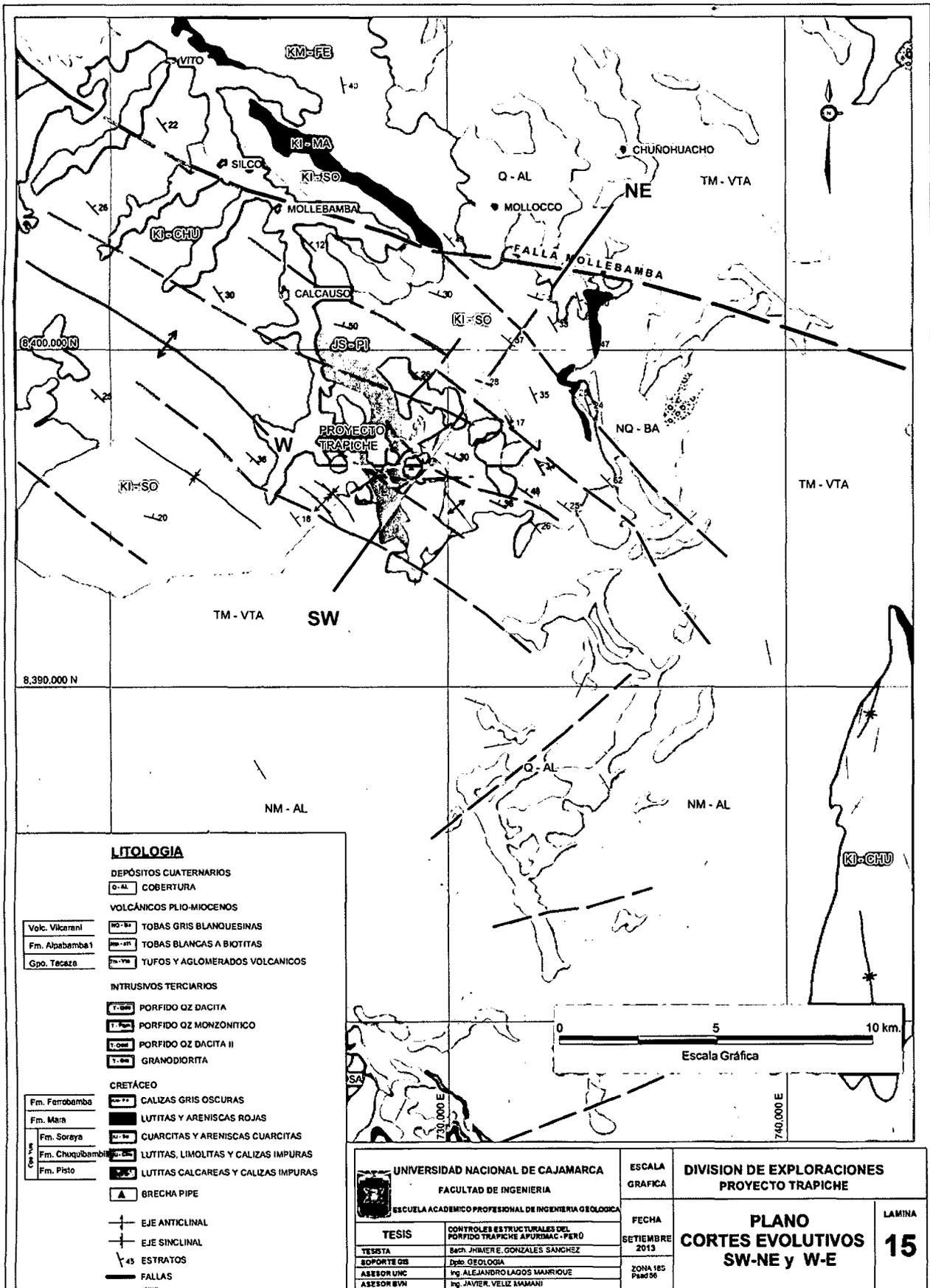
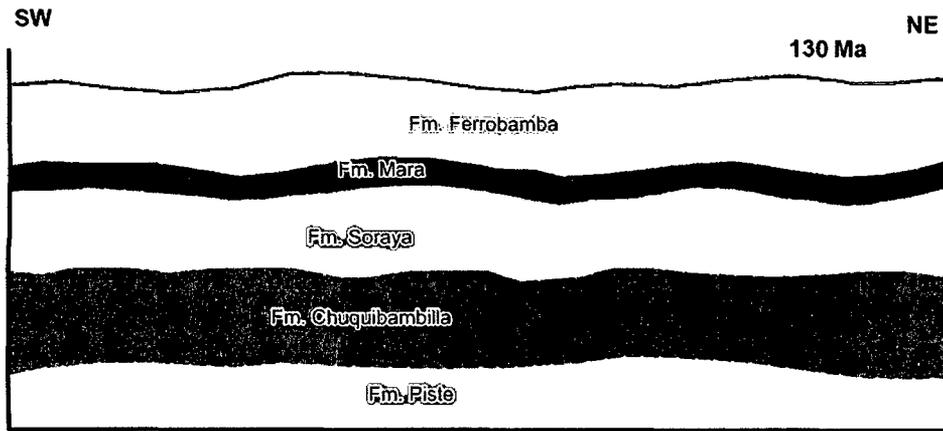


Figura 8.2. Modelo conceptual para el emplazamiento de pórfidos, se sugiere que el magma asciende como diques en una zona regional falla inversa y en la extensión lateral del cuerpo magmático se piensa que es controlado por una zona de falla a gran escala. Emplazamientos de pórfido en el núcleo de anticlinales es común. Tomado de Camus (2002), and McClay et al. (2002).

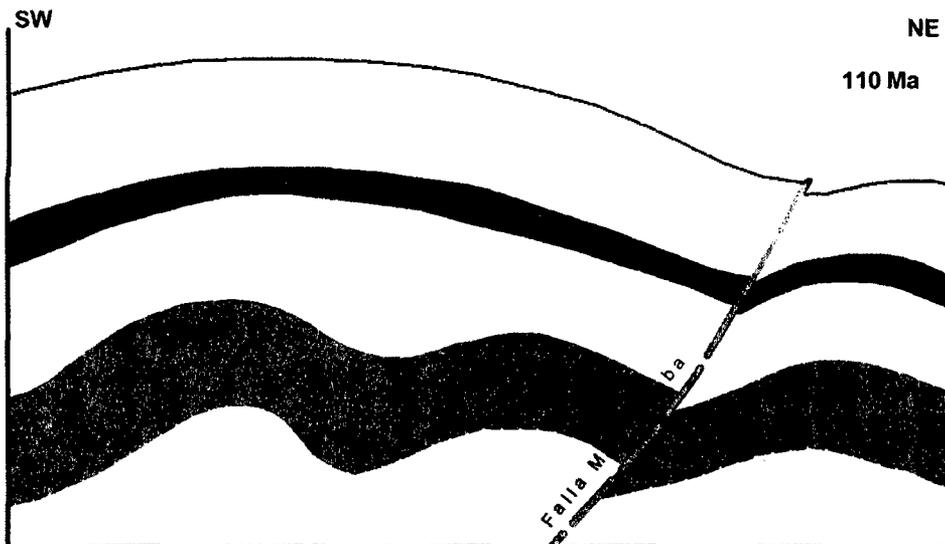




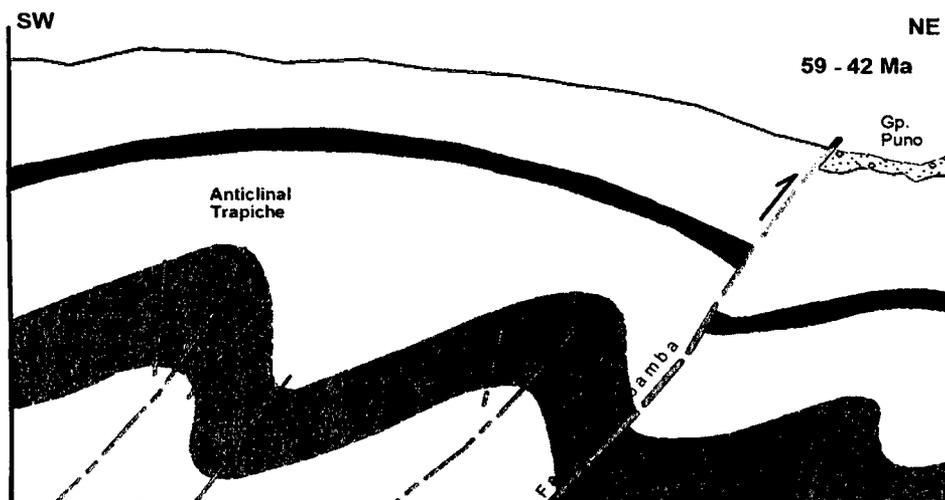
Corte SW-NE, mostrando la secuencia evolutiva en un contexto regional



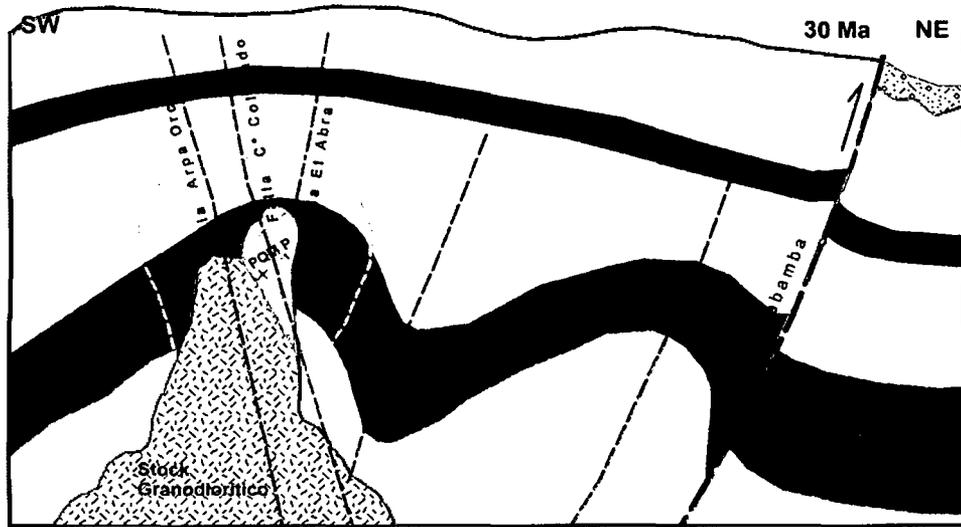
A. Sedimentación (Jurásico Inferior/ Cretáceo Superior)



B. Plegamiento y fallamiento asociado a la Tectónica Peruana (Cretáceo Superior)

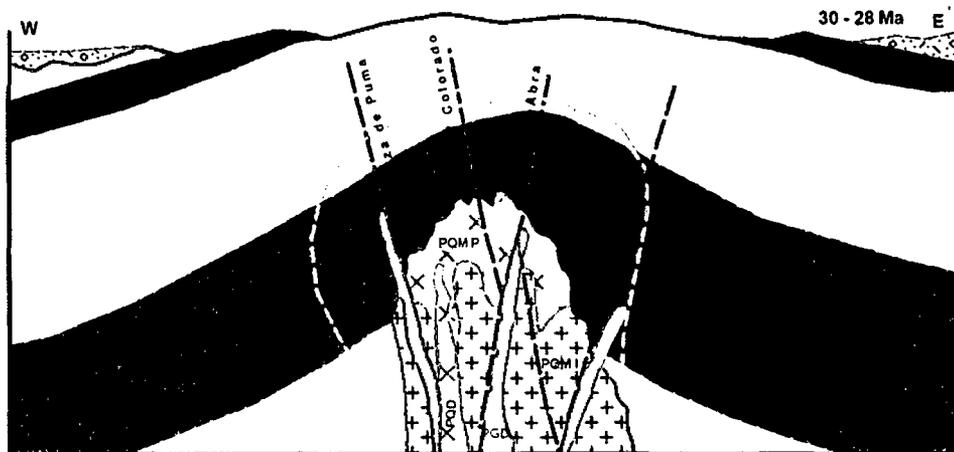


C. Fuerte plegamiento, fallamiento inverso y sobrecorrimiento asociado a la Fase Tectónica Inca I y II (Eoceno-Oligoceno Medio); al NE se emplazan las primeras fases intrusivas del Batolito Andahuaylas - Yauri

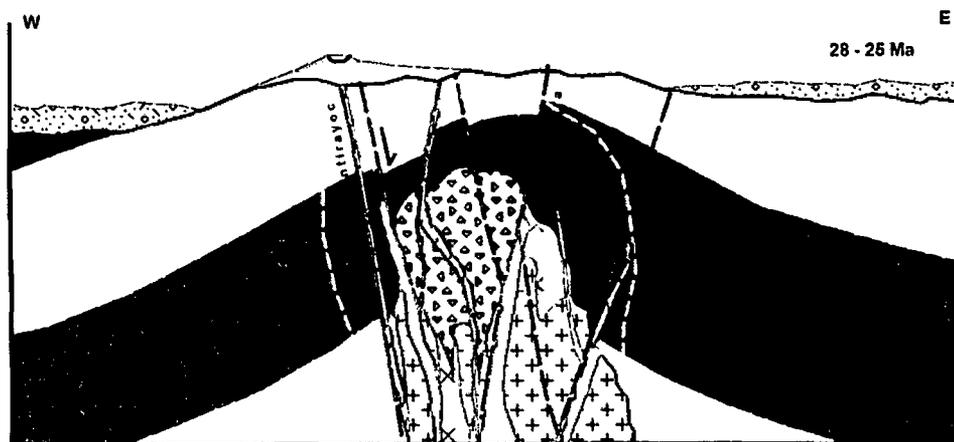


D. Emplazamiento del complejo intrusivo precursor (Stock Granodiorítico) a inicios de la fase Tectónica Inca III (Oligoceno Tardío). Se da inicio al emplazamiento del intrusivo porfirítico principal.

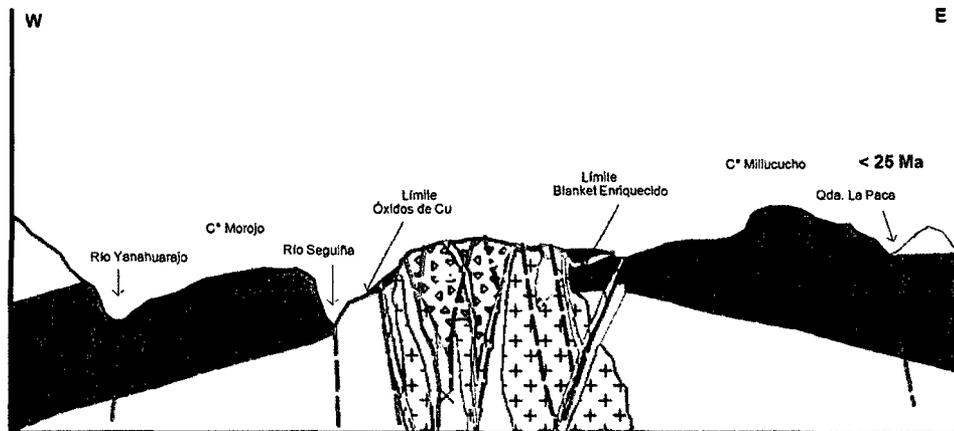
Corte W-E, continua la secuencia evolutiva en un contexto local



E. Intrusiones porfiríticas Principal e Intramineral (30-28 Ma). Alteración y mineralización hipógena. Intrusiones Tardíminerales cortan al sistema.



F. Formación de la Brecha Pipe. Alteración y mineralización hipógena, continúa el brechamiento y fallamiento. Etapa hidrotermal principal. Se emplazan las fases intrusivas finales (diques postminerales).



G. Erosión. Vulcanismo miocénico. Fallamiento tardío. (Mioceno a reciente). Lixiviación. Óxidos de cobre y enriquecimiento secundario. Configuración de la topografía actual.

8.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Como se ha podido reconocer a lo largo de todo este estudio, efectivamente el tectonismo andino en especial la Fase Tectónica Inca, fuertemente compresiva ha tenido que ver con la formación del depósito Trapiche; cuyas estructuras geológicas formadas durante la Tectónica Inca III, generó muchas zonas de debilidad entre ellos espacios dilatacionales por donde ascendieron grandes volúmenes de magma que posteriormente evolucionaron y formaron los cuerpos subvolcánicos mineralizados (pórfidos).

Las sucesivas reactivaciones tectónicas han ido enriqueciendo los sistemas hidrotermales (Brecha Pipe) y extendiendo la mineralización hacia las rocas encajonantes como las areniscas que por su fragilidad son muy susceptibles de sufrir más deformación y rompimiento lo que las hacen zonas muy permeables por donde los fluidos mineralizantes pueden moverse y depositar sus menas inclusive muy lejos de su fuente (skarn-Brecha del sector Millucucho).

Estas características de las rocas encajonantes conjugado con los controles estructurales las convierten en grandes metalotectos locales y regionales que debemos explorar.



CONCLUSIONES

- a) La fase Tectónica Inca II y III, comprenden esfuerzos compresivos ENE, los cuales generaron una serie de estructuras tectónicas con dirección andina WNW-ESE y estructuras trasandinas de dirección NE-SW. Estas estructuras a nivel regional y local presentan zonas favorables para la ocurrencia de un depósito mineral, como son los núcleos y las áreas de transición de anticlinales a sinclinales afectados por sistemas de fallas en especial las intersecciones de los sistemas WNW y NE; dentro de este contexto estructural se enmarca el pórfido Trapiche.

- b) Los sistemas de fallas Trapiche y Campamento de orientación E-W $\pm 10^\circ$ paralelas al esfuerzo compresivo ENE, actúan como fracturas tensionales por los cuales ascienden y se emplazan los pórfidos así como el desarrollo de sus sistemas de alteración magmático hidrotermal. En cambio la Brecha Pipe se forma cuando el campo de esfuerzos ENE se reacomoda y rota hacia el NE, reactivando los sistemas de fallas sinistral E-W $\pm 20^\circ$ (Fallas: Trapiche y Campamento) las cuales se comportan como un par de cizalla y generan sistemas de fracturas tensionales y fallas normales NE, creando una cuenca tipo pull apart la cual permite el emplazamiento del conducto de brecha (Brecha Pipe) en el borde NW del sistema porfirítico Trapiche.

- c) El control litológico ejercido por las rocas de caja es importante en todo el sistema, aquellos horizontes de areniscas de la formación Chuquibambilla por su fragilidad y competencia son favorables para la mineralización. Por el contrario, aquellos horizontes pelíticos (Formación Piste), habrían actuado como horizontes impermeables y tapones litológicos que inhibieron la migración de los fluidos hidrotermales enriquecidos en Cu y Mo.



- d) Las características estructurales descritas anteriormente corresponden a un modelo estructural tipo Riedel y Pull – apart con “Deformación cizallante progresiva” para el distrito metalogénico de Trapiche.

- e) Se han determinado tres estadios principales de alteración y mineralización, los dos primeros asociados a las fases intrusivas y el tercero a la Brecha Pipe; siendo los estadios I y III los más importantes en cuanto a magnitud y concentración de valores altos.

- f) En el PQM principal las principales orientaciones de los sistemas de venillas tipo B de Qz-SULs y tipo C de SULs son ENE y NNW. El foco alimentador de estos sistemas de fluidos estaría relacionado al trend N50°-70°W (falla Cerro Colorado). Sin embargo existen zonas con stockwork de venillas tipo A de qz y qz-SULs generados por la sobrepresión de los fluidos en las primeras etapas de mineralización.

- g) La alteración y mineralización del depósito Trapiche se enmarca dentro de los pórfidos relativamente profundos, lo que se evidencia por el alto nivel de erosión y la distribución de las alteraciones hidrotermales.



RECOMENDACIONES

Estas recomendaciones van dirigidas al Departamento de Exploraciones del Proyecto Trapiche

- a) Continuar con los trabajos de exploración en sector Millucucho con el objetivo de delimitar aquellas zonas favorables de orientación E-W y NNE que nos permitan incrementar recursos y como zonas prospectivas revisar el corredor NW (CC. Calcauso) donde las evidencias de anomalías geoquímicas de sedimentos son consistentes, dándole potencial para la existencia de intrusiones productivas de Cu-Mo no aflorantes.
- b) En cualquier yacimiento la mineralización esta donde hay mayor superposición de eventos hidrotermales. Esta observación está confirmado en el depósito Trapiche. La probabilidad de encontrar mas áreas mineralizadas está dada por la perturbación tectónica e hidrotermal desarrollada en los ejes y zonas de transición de anticlinales a sinclinales de orientación WNW a EW con splay secundarios ó estructuras transtensivas asociadas a dilatación (sobrescurrimientos, jogs, intersección brechas de falla).
- c) Realizar el estudio litoestructural del depósito en cuestión y su correlación con otros prospectos y depósitos cercanos.
- d) Regionalmente continuar e intensificar la exploración en el corredor Condoroma – Caylloma – Mollebamba hacia el sureste de Trapiche, bajo cobertura volcánica post-mineral relativamente delgada y en su extensión hacia el noroeste paralelo al anticlinal y a la falla Mollebamba.
- e) Direccionar la exploración hacia la identificación de blankets de calcosina en la región, priorizándose zonas dentro del ámbito de la Formación Chuquibambilla caso borde Este de Trapiche y Formación Soraya, utilizando criterios de similitud con el proyecto Antilla.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anderson, E. M. 1942.** The dynamics of faulting. Edinburgh UK: Oliver and Boyd, p. 191
- Benavides C. V., 1999.** Orogenic Evolution of the Peruvian Andes: The andean cycle, en Brian J. Skinner, eds., 1999, Geology and ore Deposits of the Central Andes: Economic Geology Special Publication #7. p. 61-100
- Bonhomme, M.G., y Carlier, G., 1990.** Relations entre magmatisme et mineralisations dans le Batholite d'Andahuyalas-Yauri (Sud Perou): Donnees geochronologiques. Simposio Internacional Geodinámica Andina, Grenoble, Francia, p. 329-331.
- Brookes, M., 2006.** Revisión estructural del área del proyecto las Bambas, for xstrata peru, sa, 13p.
- Camus I., F., (2003).** Geología de los Sistemas Porfídicos de los Andes de Chile. Págs. 33-50, 57-61, 81-127.
- Cardozo, M., 2005, Metalogenia del Perú:** XXIV Curso Latinoamericano de Metalogenia UNESCO SEG, resúmenes. p. 25.
- Cardozo, M., 2006,** Peruvian Andes: Geology & Mineral Potential: Ministerio de Energía y Minas del Perú: En la red:
http://www.minem.gob.pe/archivos/dgm/inversiones/exposiciones/PDAC_EXPOS_2006/PD AC%202006%20MCardozo.pdf.
- Carlotto, V., Cerpa, L., Acosta, H., Rodriguez, R.,** Evolución tectónica y metalogenética de la litosfera del sur del Perú: Resultado de la acreción de bloques alóctonos, 11p.
- Carlotto, V., 1998.** Évolution Andine et Raccourcissement au Niveau de Cusco (13-16°S) Pérou. Enregistrement sédimentaire, chronologie, controles paléogéographiques, évolution cinématique. Tesis de Doctorado. Universidad Joseph Fourier, Grenoble, Francia, 159p.
- Carlotto, V., Carlier, G., Jaillard, E., Sempere, T., y Mascle, G., 1999.** Sedimentary and Structural evolution of the Eocene-Oligocene Capas Rojas Basin: Evidence for a late Eocene lithospheric delamination event in the southern Peruvian Altiplano. Cuarto Simposio Internacional Geodinámica Andina. Göttingen, Alemania, Octubre 4-6, 1999. Resúmenes Expandidos, p. 141-146.
- Carlotto, V., y Cárdenas, J., 2000.** Geología del Cuadrángulo de Cotabambas. Informe Interno Anaconda Perú, Lima, 56p.
- Carmen, E., 2004,** Controles estructurales sobre emplazamiento de intrusivos y mineralización en Tintaya, Perú. Tesis de Grado. UNSA, 68p.



Corrales, E., 2001, Proyecto Los Chancas: II Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores, ProExplo 2001, Instituto de Ingenieros de Minas y Petróleo, CDROM, p. 10.

Ford, J.H., 1978. Chemical study of alteration at the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea. *Economic Geology*, v. 73, p. 703-720.

G. de Vicente, A. Muñoz y J.L. Giner, El uso del método de los diedros rectos: Implicancias a partir del modelo de deslizamiento del análisis poblacional de fallas. Departamento de Geodinámica. Fac. C.C. Geológicas. Universidad Complutense 28040 MADRID, p. 13.

Gustafson, L.B., y Hunt, J.P., 1975. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, v. 75, p. 210-228.

Hedenquist, J.W., Arribas, A., Jr., y Reynolds, T.J., 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines. *Economic Geology*, v. 39, p.373-404.

José, Macharé O. Geología. 2001. Estructural en la Exploración y Desarrollo de Yacimientos Minerales. Curso dictado en la Sociedad Geológica del Perú, p.76.

Jenny Miranda M. 2012. Estudios Petrominerográficos De 14 muestras provenientes Del Proyecto Trapiche. Informe Interno, 47p.

Lowell, J. D., and Guilbert, J. M., 1970, Lateral and vertical alteration mineralization zoning in porphyry ore deposits: *Economic Geology*, v. 65, p. 373-408.

Llosa, F. y Valencia R., 2005-2008, Reportes Anuales Exploraciones del Proyecto Trapiche: Cia de Minas Buenaventura SAA. Reporte interno, 200p.

Llosa, F., Veliz J., y Ito B. 2011-2012, Reportes Anuales Exploraciones Avanzadas del Proyecto Trapiche: Cía. de Minas Buenaventura SAA. Reporte interno, 70p.

Maksaev, V. Y Zentilli, M., 1999. Fission track thermochronology of the Domeyko Cordillera, northern Chile: Implications for Andean tectonics and porphyry copper deposits. *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. Exploration and Mining Geology*, v. 18, Nos. 1 y 2, p. 65-89.

Mackenzie, W. S., Donaldson, C. H., Guilford, C., 1996, Atlas de Rocas Igneas y sus Texturas: Masson, S.A., p. 149.

Mackenzie, W. S., Guilford, C., 1996, Atlas de Petrografía – Minerales formadores de rocas en lámina delgada: Mansson, S.A., p. 98.

Marocco, R., 1975, Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas, bol, Serie A: Carta Geol. Nac, p. 27-51.



Marocco, R., 1977. Un segment E-W de la chaîne des Andes péruviennes: La deflexión d'Abancay. Tesis Doctorado, Universidad de Languedoc, Francia, 141p.

Marquina, M., 2009. “Control estructural y potencial exploratorio del Distrito minero Conga, Cajamarca – Perú”. Tesis de Maestría, UNMSM, 102p.

Meinert, L. D., 1992, Skarn and skarn deposits: Geoscience Canada, v. 19, p. 145-162.

Pecho, V., 1981, Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomas: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, bol. 35, 93p.

Perello, J., Carlotto, V., et al, 2003, Porphyry Style Alteration and Mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene AndahuaylasYauri Belt, Cuzco Region, Peru : Economic Geology, v. 98, p. 1575-1605.

Perelló, J., 1994. Geology, porphyry Cu-Au, and epithermal Cu-Au-Ag mineralization of the Tombulilato district, North Sulawesi, Indonesia. Journal of Geochemical Exploration, v. 50, p. 221-256.

Perelló, J., 2001. Geología y recursos geológicos del proyecto Cotabambas, departamento de Apurímac, Perú, 70p.

Perelló, J., y Cabello, J., 1989. Pórfidos cupríferos ricos en oro: una revisión. Revista Geológica de Chile, v. 16, No. 1, p. 73-92.

Richards, J.P. 2003, Tectono Magmatic Precursors for Porphyry Cu (MoAu) Deposit Formation: Economic Geology, v. 98, p. 1515-1533.

Sillitoe, R. and Perelló J., (2005). Andean Copper Province: Tectonomagmatic Settings, Deposit Types, Metallogeny, Exploration, and Discovery: Economic Geology 100th Anniversary Volume, p. 845-890.