

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

HUGO RUBÉN MAMANI HUACHACA

ELEMENTOS ESTRUTURAIS RELACIONADOS COM A MINERALIZAÇÃO
DO EOCENO – OLIGOCENO ENTRE MOLLEBAMBA E SANTO DOMINGO
REGIÃO DE APURIMAC, SUL DO PERU

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Geociências.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sérgio Amarante Simões

Rio Claro (SP)

2014

551.8 Huachaca, Hugo Ruben Mamani
H874e Elementos estruturais relacionados com a mineralização
do Eoceno – Oligoceno entre Mollebamba e Santo Domingo
região de Apurimac, Sul do Perú / Hugo Ruben Mamani
Huachaca. - Rio Claro, 2014
105 f. : il., figs., tabs., fots.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Luiz Sergio Amarante Simões

1. Geologia estrutural. 2. Análise cinemática. 3. Inflexão
de Abancay. 4. Falha de Mollebamba. I. Título.

HUGO RUBÉN MAMANI HUACHACA

ELEMENTOS ESTRUTURAIS RELACIONADOS COM A MINERALIZAÇÃO
DO EOCENO – OLIGOCENO ENTRE MOLLEBAMBA E SANTO DOMINGO
REGIÃO DE APURIMAC, SUL DO PERU

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Luiz Sérgio Amarante Simões
DPM/IGCE/UNESP

Prof. Dr. Carlos Humberto da Silva
DPM/IGCE/UNESP

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto
UFMT

Rio Claro, 17 de Junho de 2014

Resultado: Aprovado

DEDICATORIA

Para minha família, e uma mostra de meu amor e compromisso.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, por permitir-me culminar a presente monografia, a pessoas que olharem acrescentar o projeto e colaboraram direta e indiretamente, a Mining Peru LLC pela ajuda nos trabalhos do campo.

Meu agradecimento a meu amigo e Professor Dr. Luiz Simões, por ser como o pai que de fato precisei para realização desse trabalho de dissertação.

Aos professores do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, que colaboraram para a execução desta dissertação, particularmente os Profs. Nelson Angeli, Antônio Carlos Artur, Norberto Morales, Washington Barbosa Leite, Daniel Marcos Bonotto pelas sugestões e incentivo, e também aos Profs, George Luiz Luvizotto e Guillermo Navarro, pelas sugestões por ocasião do exame de qualificação, e sim esquecer a Dr. Prof. Carlos Humberto da Silva.

Aos colegas e amigos Alex Rodox, pela oportunidade e espírito de equipe, e a Victor Lipa, Denin, Hansten Pocay pelo apoio nas primeiras etapas no Brasil.

Aos amigos da pós-graduação durante o mestrado, geólogos Leonardo Castello, Leandro Viera pela amizade e constante encorajamento, meu agradecimento para Rosa Angela.

Gostaria de externar os meus sinceros agradecimentos as pessoas que de uma maneira ou de outra contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, aos amigos da UNESP dos quais recebi muito apoio e confiança: Abbu, Camila, Felipe, Tassi e Bruna, Obama, João, Bruce, Igor, *Suzi*, Enrique, Eric no Canada, Sammy, Cibeli, Iata, Favio, Juliano, Landerline, Batatinha, Rafael, Bombom e Igor.

Aos colegas e amigos em Perú Ivar Alcocer, Heller Bernabe, William Martinez, Agapito Sanchez, Roberto Zegarra, Newton Machaca, Rolando Apaza.

Finalmente, quero expressar a minha enorme gratidão aos membros da minha família, por aceitarem pacientemente todos os meus períodos de ausência e pelo amor incondicional que me dedicam especialmente meu avo (Clemente).

RESUMO

A área de estudo se localiza nos Andes Centrais, ao sul da Deflexão de Abancay, Peru, inserida na província metalogenética (Andahuaylas-Yauri) relacionada ao Batólito de Abancay, que hospeda depósitos do tipo pórfiro-skarn de Fe-(Cu-Au) e depósitos filoneanos de Au. É constituída por sequências clásticas e carbonatadas de idades mesozóicas, intrudidas por plutons e stocks de monzonito e granodiorito que, por sua vez, são sobrepostos por rochas vulcânicas oligomiocênicas relacionadas com mineralização auroargentífera na porção sudeste da região. Neste trabalho apresenta-se um estudo do quadro geológico regional aliado à análise do padrão estrutural da região entre Sabaino e Santo Domingo, com a caracterização da cinemática de sistemas de falhas de cinco setores dessa área, onde ocorrem mineralizações, abrangendo medidas de 119 falhas mesoscópicas com estrias, a partir das quais obteve-se os tensores de esforços relacionados com o estágio sin-mineralização. Três dos setores estudados (Chama, Cocorpiña, Huaychulo) estão associados a falhas reversas de direção NNE, enquanto no setor Santo Domingo os veios mineralizados estão condicionados por falhas normais NE, indicando processos tectônicos diversificados para o controle estrutural destes depósitos. Para as mineralizações nos Setores Chama, Cocorpiña e Huaychulo assume-se o período de 40 a 32 Ma, pois estão associadas ao segundo estágio de intrusão do Batólito de Abancay. No setor Mollebamba a mineralização está associada a pórfiro de Cu-Au, (Ponto Trapiche) cuja idade deve corresponder a 29.17 Ma. No setor Santo Domingo os veios auríferos provavelmente são contemporâneos aos veios da jazida Selene datada em 14.62 Ma. O estudo ao longo da área permite identificar, como principais estruturas um Sistema de Dobras NS, que indica uma fase compressiva envolvendo encurtamento aproximadamente E-W, e duas grandes dobras registradas na área, Anticlinal Chapi Chapi e Sinclinal Huillullu, que possuem planos axiais paralelos à Falha Mollebamba (WNW) e provavelmente estão relacionadas com o evento responsável pela formação dessa falha. A geometria e cinemática da Falha Mollebamba e do Sistema de Dobras Chapi Chapi indicam que estas estruturas estão associadas ao processo deformacional do deslocamento anti-horário do eixo do orógeno no Andes Centrais, relacionado à Inflexão de Abancay, ocorrido durante o período Eoceno médio a Oligoceno. São produtos de um sistema compressivo, com esforço principal (σ_1) WNW, provavelmente em regime transpressivo. As dobras e os deslocamentos associados a esse sistema transpressivo afetam mais intensamente as rochas cretáceas do que as oligocênicas, indicando deformação mais intensa após o final do Cretáceo e antes do final do Oligoceno. Tal situação conduziu ao desenvolvimento de importante discordância angular registrada na área entre estes dois conjuntos de rochas.

Palavras-chave: Análise cinemática. Inflexão de Abancay. Falha de Mollebamba.

ABSTRACT

The study area is located in the Central Andes, south of the Abancay deflection, Peru, is inserted in the (Andahuaylas-Yauri) metallogenic province related to this Abancay batholith, which hosts porphyry-type deposits of skarn Fe-(Cu-Au) and low Au Deposits. It is constituted by clastic and carbonate sequences of Mesozoic age, intruded by granodiorite monzonite plutons and stocks that are overlain by oligomiocenic volcanic rocks related with epithermal gold and silver mineralization in the southeastern part of the region. This paper presents a study of the regional geological setting combined with the analysis of structural pattern in the region between Sabaino and Santo Domingo, with the kinematics characterization of five sectors in the area, where mineralization occurs controlled by fault systems. The analysis includes measures of 119 mesoscopic faults with striations, from which was obtained the stress tensor associated with the syn-mineralization stage. Three of the studied sectors (Chama Cocorpiña, Huaychulo) are associated with reverse faults of NNE, while in Santo Domingo sector the mineralized veins are conditioned by normal faults NE, pointing to diverse tectonic processes for the structural control of these deposits. For mineralization in the sectors Chama, Cocorpiña and Huaychulo is assumed the period 40-32 Ma, as they are associated with the second stage intrusion of Abancay batholith. In Mollebamba sector, the mineralization is associated with porphyry Cu-Au (Trapiche Point) whose age corresponds to 29.17 Ma. In the Santo Domingo sector, the auriferous veins are probably contemporary with the veins of the Selene deposit of age 14.62 Ma. The main large structures identified in the area are a NS fold system, which indicates a compressive phase involving shortening approximately EW, and another system represented by two large folds, the Chapi Chapi Anticline and Huillullu Syncline, which have axial planes parallel to the Mollebamba Fault (WNW) and are probably related to the event responsible for the formation of this fault. The geometry and kinematics of Mollebamba Fault and the Chapi Chapi Fold System indicate that these structures are associated with the deformation process of the anti-clockwise offset in the axis of the orogen in the Central Andes, related to the Abancay deflection, occurred during the Middle Eocene to Oligocene. These structures are related with a compressional system, with a WNW main stress (σ_1), probably in transpressional regime. The folds and displacements associated with this transpression system affect more intensely the Cretaceous rocks than the Oligocene rocks, indicating significant deformation after the late Cretaceous and before the end of the Oligocene. This situation leads to the development of important angular unconformity in the area between these two sets of rocks.

Keywords: Kinematics analysis. Abancay deflection. Mollebamba Fault.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1: Localização da área de estudo, escala 1/1000000	14
Figura 2.1: Mapa geológico regional de Antabamba 29-q Pecho (1981)	16
Figura 2.2: Mapa com os principais traços estruturais e as ocorrências dos principais corpos intrusivos que correspondem ao Batólito de Abancay com a localização dos cinco setores.....	18
Figura 3.1: Principais Domínios Tectônicos da América do Sul Segundo Cordani et al. (2000)	21
Figura 3.2: a) Imagem Topográfica do oceano Pacífico e os Andes na borda do continente Sul-Americano b) Principais características tectônicas do Andes Centrais tomado de Rosenbaum (2005)	22
Figura 3.3: Esquema tectônico da Deflexão de Abancay tomado de Roperch (2006). Mapa geológico simplificado do 1/1,000000 (INGEMMET), sobre imagem MDT	24
Figura 4.1: Mapa geológico da área de estudo em escala 1:100000. Depois Pecho (1981), Valdivia e La torre (2003) e Bustamante (2008).....	28
Figura 4.2: Olhando ao sudeste, observa-se sistema de dobras com planos axiais de direção NW, na porção noroeste se encontram associadas com mineralização em veios do ouro (quartzo-pirita-calcopirita)	30
Figura 4.3: Coluna estratigráfica da área de estudo modificada de INGEMMET (1981), adaptado por Mamani (2013)	32
Figura 4.4: Olhando para o Norte, perto do povoado do Sabaino, se vêem estruturas mineralizadas de direção N-S, encaixadas em os arenitos da Formação Soraya como atitude do N20W/25SW, afeitados por falhas que controlam os veios de quartzo paralelos de atitude N10E/65SE	34
Figura 4.5: Olhando ao sudeste próximo a povoado de Antabamba, observa-se a disposição de Afloramentos, das sequências calcárias da Formação Ferrobamba do Cretáceo Médio sotoposta em discordância pelas rochas vulcânicas do Grupo Tacaza do Oligoceno	36
Figura 4.6: Unidades litoestratigráficas no setor Sabaino.....	42
Figura 5.1: Imagem satélite, mostrando os principais elementos estruturais da área de estudo: Falha Mollebamba, Falha Matara, Anticlinal Chapi Chapi	44
Figura 5.2: Mapa Geológico indicando as principais estruturas e área de estudo, a localização dos setores estudados (retângulos) e os pontos do levantamento Geológico.....	46
Figura 5.3: Seção estrutural transversal A-B (Localização no mapa da Figura 5.2). Mostrando o estilo do dobramento na zona central e a relação entre as camadas do cretáceo em discordância angular com as formações vulcânicas do Mioceno Fonte (Este Trabalho).....	48
Figura 5.4. Calcários em Camadas da Formação Chuquibambilla deformadas, localizadas sobre o traço da falha Mollebamba ...	50

Figura 5.5:	Possíveis orientações de planos de falhas, que podem ocorrer associados à zona de Falha Mollebamba, considerado-se vetores compressivos ao modelo de Riedel (1929).....	51
Figura 5.6:	Geología do projeto Chama retirado de Sanchez, C.J. (1995), Modificado por este trabalho	56
Figura 5.7:	Seção transversal ao depósito de skarn Chama, Modificado de Sanchez (1995).....	57
Figura 5.8:	Vista olhando para NE. Observa-se o corpo central mineralizado Annie, seguindo direção NE-SW, ao longo do contato tonalito e a Formação Ferrobamba ocorre argilização.	58
Figura 5.9:	Observando ao Sul. Afloramento de tonalito afetado pela falha contemporânea com quartzo nos planos	58
Figura 5.10:	Projeção estereográfica de 16 medidas da falha do sistema NE, sin-mineralização, com indicação dos eixos principais de paleotensão σ_1 , σ_2 e σ_3 ; dados plotados estão listados na tabela do Anexo 1. Rede equiárea, hemisfério inferior.	59
Figura 5.11:	Projeção estereográfica do sistema de falhas Huayruruni NW.	60
Figura 5.12:	Mapa Geológico do prospetto Cocorpiña escala 1/5000 tomado de Abril (2000), modificado por este trabalho.	62
Figura 5.13:	Projeção estereográfica das falhas sin-mineralização, medidas ao longo do traço da falha Pisco com indicação dos eixos de esforço σ_1 , σ_2 e σ_3 . Número de medidas: 13. Rede equiárea, hemisfério inferior.	63
Figura 5.14:	Projeção estereográfica das falhas Pós-mineralização, medidas ao longo do traço da falha Pisco.	64
Figura 5.15:	Mapa Geológico do prospecto Huaychulo a escala 1/1000, tomado de Carpio (1997) modificado por este trabalho	66
Figura 5.16:	Projeção estereográfica da falha NS pré-mineralização com indicação eixos de esforço σ_1 , σ_2 e σ_3 . Número de medidas: 9. Rede equiárea, hemisfério inferior Jazida Huaychulo.	67
Figura 5.17:	Projeção estereográfica da falha NS sin-mineralização com indicação eixos de esforços σ_1 , σ_2 e σ_3 . Número de medidas: 10 Rede equiárea, hemisfério inferior	68
Figura 5.18:	Mapa Geológico do setor Mollebamba, o granodiorito e associado com rochas hipoabissais com mineralização de tipo cobre porfirítico	70
Figura 5.19:	Afloramentos de folhelho da Formação Chuquibambilla relacionados com uma ocorrência de mineralização em forma de vênulas de quartzo dessimétricas no ponto Calcauso	71
Figura 5.20:	Projeção estereográfica da falha NW pós-mineralização com indicação eixos de esforço σ_1 , σ_2 e σ_3 . Número de medidas: 10.. Setor Mollebamba	72
Figura 5.21:	Mapa Geológico da zona mineralizada de Santo Domingo segundo Villegas (2000), adaptado por Mamani (2012).	75
Figura 5.22:	Projeção estereográfica das falhas NW pré-mineralização com indicação eixos de esforço σ_1 , σ_2 e σ_3 . Número de medidas: 11 Rede equiárea, hemisfério inferior. Jazida Santo Domingo..	77

Figura 5.23:	Projeção estereográfica sin-mineralização da jazida Santo Domingo. A: veio Santo Domingo 10 medidas, B: veio Minacasa 11 medidas e C: veio Vitoria 7 medidas, apresentam predomínio sistema NE.....	78
Figura 5.24:	Mapa de lineamentos estruturais mostrando a Zona de Falha Mollebamba (ZFM), com componente sinistral, e a localização dos veios mineralizados, de orientação NE (N45E/65NW), evidenciando sistema extensional coerente com o movimento sinistral da ZFM no Mioceno.....	80
Figura 5.25:	Alojamento do Pórfiro Trapiche Cu-Mo em rochas da Formação Chuquibambilla, associado a falhas menores do tipo antitéticas em relação a ZFM. Onde há evidência de atividade tectônica para o Oligoceno.....	84
Figura 5.26:	Correlação dos estágios de mineralização e eventos deformacionais sugeridos. PRE MIN: Pré-Mineralização, M: mineralização relativa, POS MIN: Pós Mineralização, durante o ciclo Andino sobre a base de trabalhos de Benavides-Cáceres (1999).....	85
Figura 5.27:	Modelo Cinemático com a orientação das principais estruturas associado ao Oligoceno.....	88
Figura 5.28:	Correlação da deformação e mineralização durante o ciclo Andino ao sul da Deflexão de Abancay limitado pela (ZFM) estágio I (SI), estágio II (SII) Mamani (2013), (Este trabalho)...	89
Figura 6.1:	Mapa tectônico de Perello (2003), adaptado por Mamani (2013)	92
Figura 6.2:	Seção transversal na zona de alojamento plutônico durante o Eoceno médio e Oligoceno Inferior, tomado de Marocco (1978)	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1.	Síntese das principais feições estruturais das mineralizações .	81
Tabela 5.2.	Dados medidos e a direção de esforços principais.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS

Cu, Au, Ag	:	Cobre, ouro, prata
Cm	:	Centímetro
INGEMMET	:	Instituto Geológico Mineiro e Metalúrgico do Perú
msnm	:	metros sobre o nível do mar
m	:	metro
mGal	:	Milligal
MTC	:	Ministério de Transportes e Comunicações
op. cit.	:	Opus Cetatum
LS	:	Baixa sulfetação (Low sulfidization)
PCD	:	Depositos de pórfiros de cobre (Porphyry copper deposit)
ppm	:	Partes por milhão
ppb	:	Partes por bilhão
Pb, Zn	:	Chumbo, zinco
TC _{NW-SE}	:	Transcorrência compressiva Noroeste-Sudeste
TC _{NE-SW}	:	Transcorrência compressiva Nordeste-sudoeste
E _{NS-NE}	:	Extensional Norte Sul-Nordeste.
SSS	:	Amostras de sedimento (Stream sediment sampling)
ZFM	:	Zona de Falha Mollebamba
R2	:	falha Antitética
R1	:	falha Sintética
PAY	:	Provincia Metalogenetica Andahuaylas Yauri
NL	:	(Normal Left) Normal sinistral
NR	:	(Normal Right) Normal destal
TL	:	(Thrus Left) Reverso sinistral
TR	:	(Thrus Right) Reverso destal
s1, s2, s3	:	eixos de deformação
σ_1 , σ_2 , σ_3	:	eixos de esforço

SUMARIO

I.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	Localização da área de estudo	13
1.2.	O problema.	13
1.3.	Objetivo.	14
2.	MATERIAIS E MÉTODOS	15
2.1.	Levantamento Bibliográfico.	15
2.2.	Trabalhos de Campo	15
2.3.	Confeção do Mapa Geológico	17
2.4.	Análise Estrutural	19
3.	CONTEXTO GEOLOGICO REGIONAL	20
3.1.	Domínios Tectônicos da América do Sul	20
3.2.	Andes Centrais	21
3.3.	Geologia da Deflexão de Abancay	22
3.4.	Evolução Tectônica/Idades	25
4.	GEOLOGIA DA AREA DE ESTUDO	27
4.1.	Principais Feições Estruturais	27
4.2.	Unidades Litoestratigráficas	30
4.2.1.	Mesozoico	31
4.2.1.1.	Formação Chuquibambilla - Jurássico (Jsup-Chu/are)	31
4.2.1.2.	Formação Labra - Jurássico (Jsup-Chu/are)	33
4.2.1.3.	Formação Gramadal - Jurássico (Jsup-Chu/are)	33
4.2.1.4.	Formação Soraya - Cretáceo Inferior (Kinf- So/ are)	34
4.2.1.5.	Formação Mara - Cretáceo Inferior (Kinf- Ma/ lut)	35
4.2.1.6.	Formação Ferrobamba Cretáceo Médio (Kmd- Fe/cal)	35
4.2.2.	Cenozoico	37
4.2.2.1.	Grupo Tacaza (Pol-Ta/Ltq(a)	37
4.2.2.2.	Grupo Barroso (Npl-Ba/Land)	38
4.2.2.3.	Depósitos Glaciais	38
4.2.2.4.	Depósitos Aluvionares e Fluvioglaciais	39
4.2.2.5.	Rochas Intrusivas do Batólito de Abancay (Eoceno md)	39
4.2.2.6.	Rochas Subvulcânicas (Dioritos)	40
4.2.2.7.	Intrusões Indiferenciadas	41
5.	GEOLOGIA ESTRUTURAL	43
5.1.	Estruturas	43
5.1.1.	Sistema de Dobras	45
5.1.2.	Falhas Maiores	49
5.1.2.1.	Falha Mollebamba	49
5.1.2.2.	Falha Matara	52
5.1.2.3.	Falha Huamancharpa	52
5.1.3.	Falhas Menores	52
5.1.3.1.	Falha Huayruruni	53
5.1.3.2.	Falha Pisco	53
5.2.	Detalhamento Estrutural de Áreas Mineralizadas Seleccionadas	53
5.2.1.	Setor Chama	54

5.2.2. Setor Cocorpiña.....	61
5.2.3. Setor Huaychulo	65
5.2.4. Setor Mollebamba	69
5.2.5. Setor Santo Domingo.....	74
5.3. Comparação do Controle Estrutural das Mineralizações nos setores.....	81
5.3.1. Orientação, Encaixante, Tipo Genético	82
5.3.2. Idades das Mineralizações	83
5.4. Cinemática e Evolução Estrutural.....	85
6. DISCUSSÃO	90
7. CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS	96
ANEXOS.....	103
ANEXO 1 Base de dados de falhas com estrias.....	103

CAPITULO I INTRODUÇÃO

Diversos estudos enfocando a evolução geodinâmica do Sul do Perú cartografaram as unidades litológicas no setor Antabamba Dalmayrac (1978), Marocco (1978), Pecho (1981) e Valdivia & La Torre (2001).

A área apresenta mineralização do tipo cobre e molibdênio pórfiro de classe mundial que a partir de meados da década de 80 passou a ser estudada com maior ênfase, com enfoque em geoquímica, estratigrafia e geologia econômica.

No entanto, apesar da região já ter sido alvo de inúmeros trabalhos sobre a geologia, ainda restam diversas questões que carecem de melhor entendimento, dentre as quais, a geologia estrutural. O trabalho apresentado nesta dissertação de mestrado foi realizado nas rochas da porção sul da inflexão do Abancay que é uma estrutura estabelecida concomitantemente ao alojamento do Batólito de Abancay que é limitado a sul pela Falha Mollebamba, que afeta rochas sedimentares mesozóicas e cenozóicas é por sua vez o Batólito se encontra inserido na província metalogenética Andahuaylas – Yauri (PAY).

O presente trabalho faz uma análise da geologia estrutural da área com base nos dados cartográficos publicados, complementados com alguns levantamentos realizados no âmbito dessa dissertação. Adicionalmente apresenta a caracterização dos principais sistemas de falhas em cinco localidades com ocorrência de mineralizações de cobre e veios de ouro mesotermiais relacionadas com o magmatismo plutônico a subvulcânico de idade Eoceno Médio e Oligoceno Inferior.

1.1. Localização da Area de Estudo

A área de estudo está localizada no sul da região de Apurímac, Sul do Peru, (Figura 1.1). Situada nas folhas geológicas de Antabamba 29-q e Chalhuanca 29-p, fuso 18° latitude sul do Instituto Geológico Minero e Metalúrgico do Perú (INGEMMET, 1981).

1.2. O Problema

Área apresenta alojamento magmático e mineralização do tipo pórfiro atribuídos ao Eoceno Médio - Oligoceno Inferior (~40-32 Ma) registrando 31 porfíros

de Cu – Mo ao longo da Província Metalogenética Andahuaylas Yauri (PAY), que se relacionam aos processos tectônicos do evento Andino (Perello et al., 2003).

Apesar de ser reconhecida a importância da tectônica para o alojamento das rochas intrusivas e controle das mineralizações, são poucos os trabalhos que analisam os aspectos estruturais dessa região. Dessa forma, no presente trabalho são apresentados e analisados os principais traços estruturais da área, visando contribuir para o conhecimento dos processos tectônicos e as possíveis relações com os processos magmáticos e de mineralização do período Eoceno-Oligoceno.

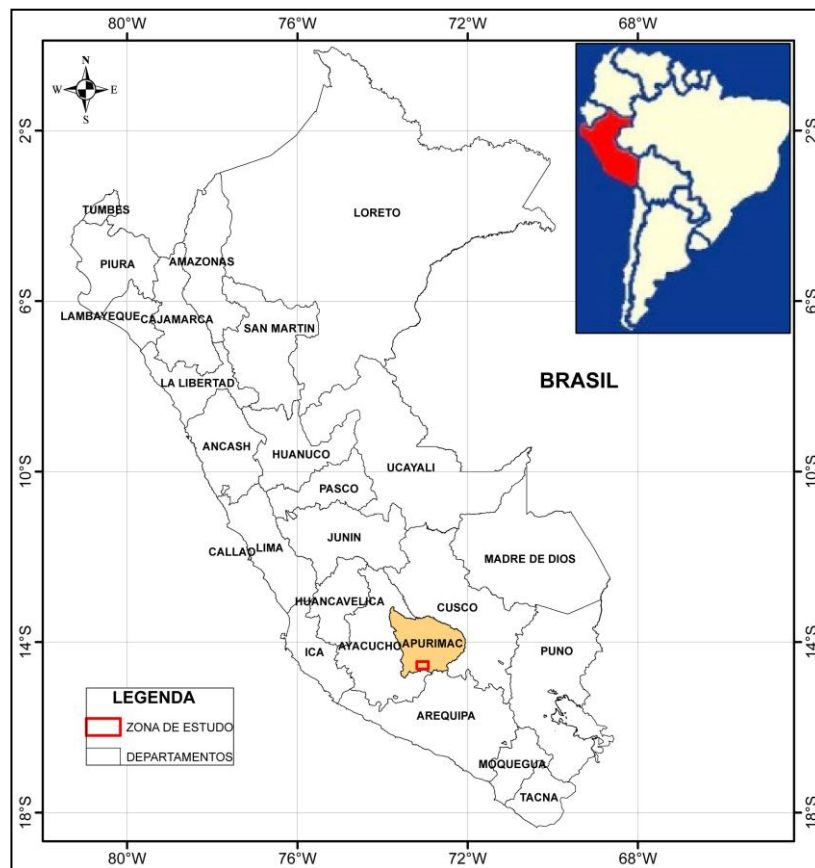


Figura 1.1. Localização da área de estudo, escala 1/1000000.

1.3. Objetivo

O objetivo do presente trabalho é avaliar os principais traços estruturais entre os povoados de Mollebamba e Santo Domingo, realizar investigação estrutural através de levantamento das principais estruturas em cinco áreas-chave, com ocorrências de mineralização dentro do intervalo Eoceno Médio – Oligoceno Inferior, e discutir as relações dos padrões estruturais dessas áreas no contexto dos traços estruturais regionais.

CAPITULO II MATERIAIS E MÉTODOS

Consistiu em análise bibliográfica, mapeamento geológico estrutural, seções geológicas locais e regionais e coleta de dados de falhas com estrias. Foram 35 dias de trabalhos de campo, cobrindo uma área de aproximadamente 600 Km², sendo o mapa geológico elaborado na escala 1:100000.

2.1. Levantamento Bibliográfico

O principal trabalho revisado foi o levantamento do cuadrángulo Geológico de Antabamba, segundo Pecho (1981) (Figura 2.1) e também Valdivia & La Torre (2001). O processo de levantamento bibliográfico procura informações com ênfase em estratigrafia, petrografia, petrogênese e geoquímica das rochas que caracterizam as unidades litoestratigráficas da região, relacionadas com o Batólito de Abancay ao longo da faixa Andahuaylas Yauri (PAY), onde foram reunidos trabalhos desde 1977 até os mais atuais, publicados em periódicos internacionais, além de teses e dissertações de mestrado.

Para consolidar a distribuição litoestratigráfica, foram utilizados mapas geológicos publicados pelo Instituto Geológico Mineiro Metalúrgico (INGEMMET) do Perú. Também foram pesquisados estudos de áreas específicas, na forma de relatórios técnicos internos, monografias de graduação em geología.

2.2. Trabalhos de Campo

Foram executadas duas etapas de campo, com duração de 25 días em Outubro de 2012 e 10 días em Fevereiro de 2013, cobrindo de maneira satisfatória toda a área investigada entre Mollebamba, Sabaino e Santo Domingo.

Cabe ressaltar que nesta etapa, também foram utilizadas informações verbais provenientes de outros pesquisadores, principalmente aqueles de levantamentos Geológicos do Serviço Geológico Peruano, relatando ocorrências de afloramentos e mineradoras ativas e inativas.

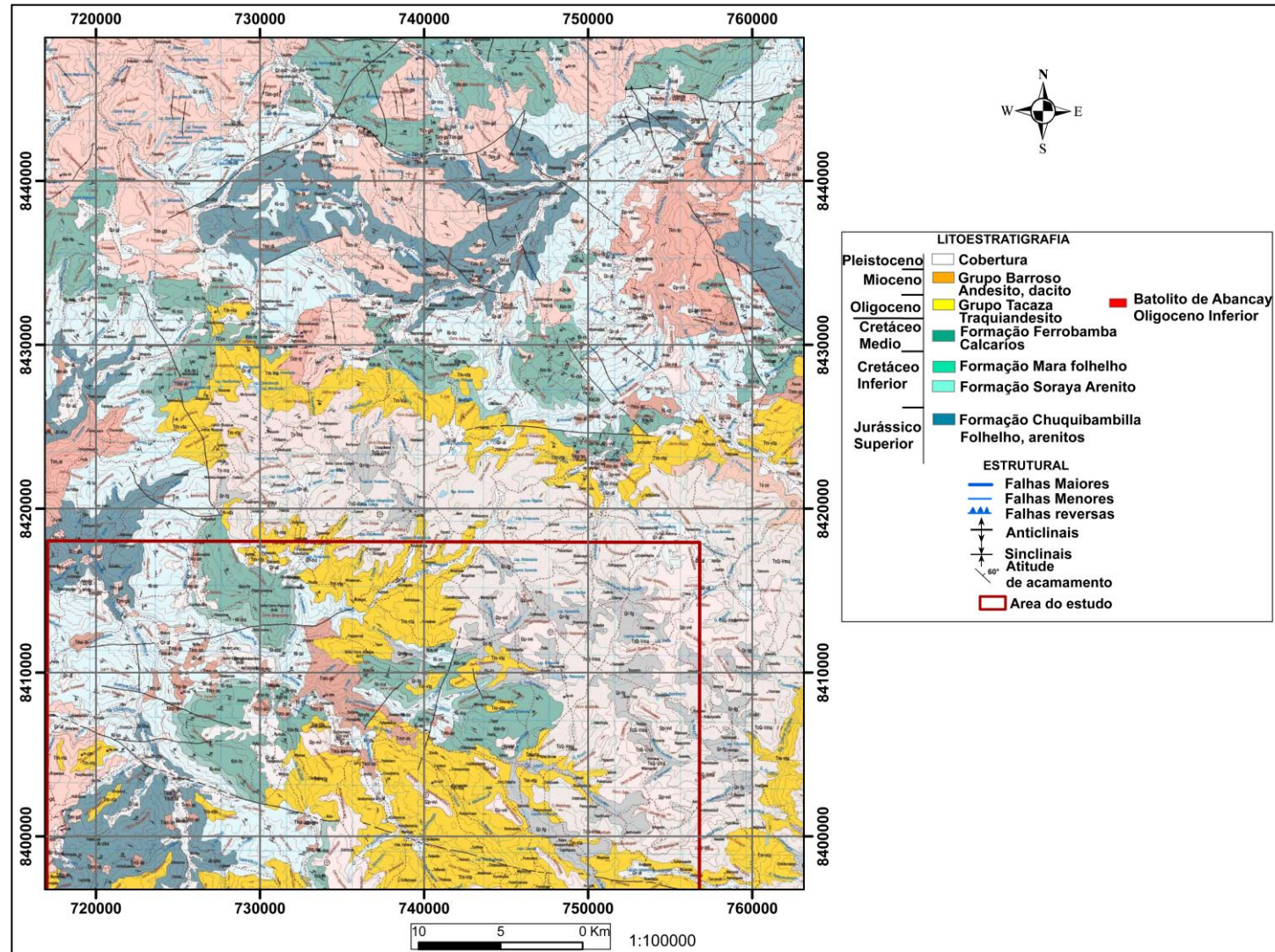


Figura 2.1. Mapa geológico regional de Antabamba 29-q, a escala 1/100000 (PECHO, 1981). O mapa é aqui apresentado somente como uma referência ao conhecimento geológico da região. O retângulo na parte inferior indica a área de estudo do presente trabalho.

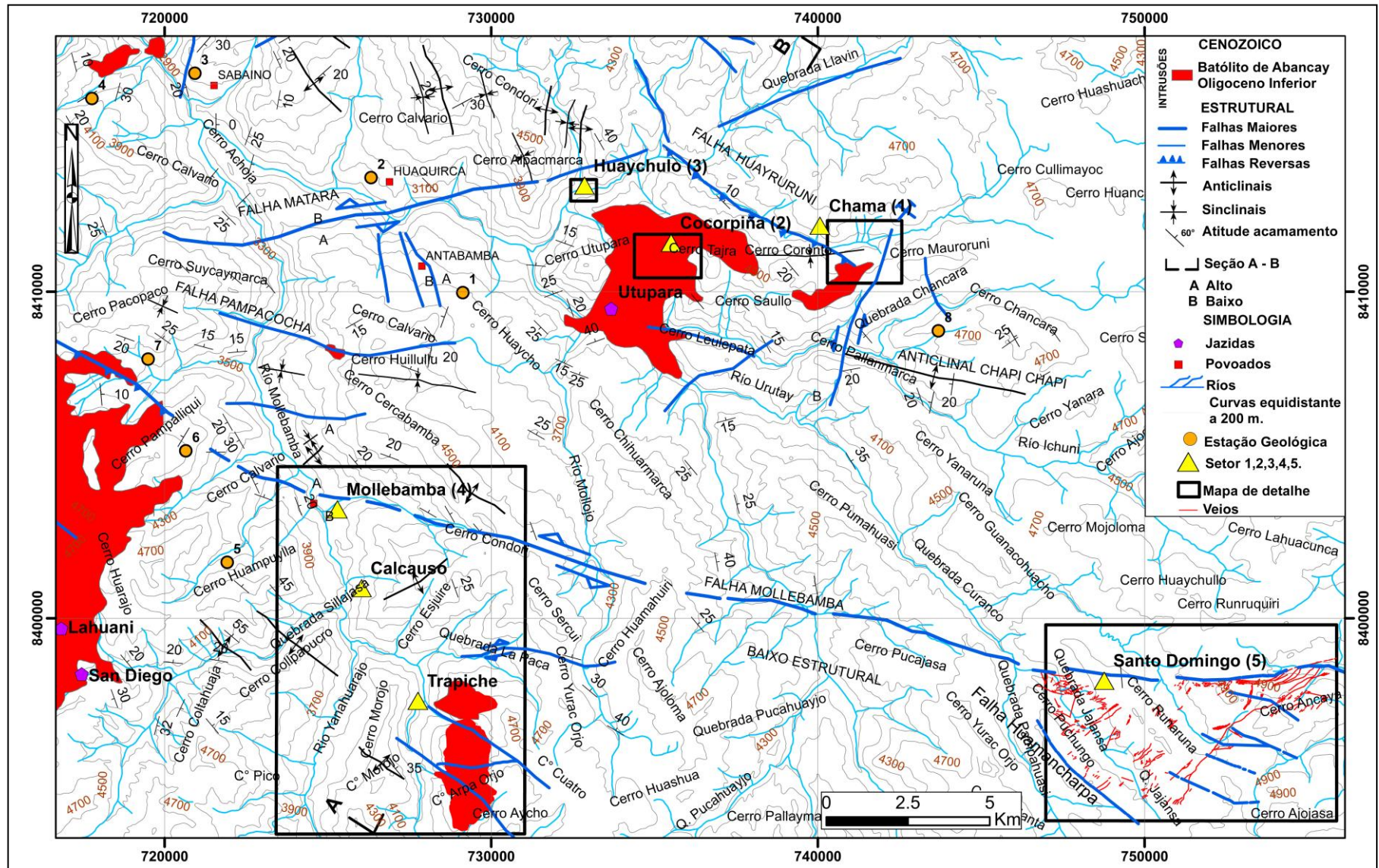
Foram selecionados cinco setores (Fig. 2.2) levando-se em conta o critério de que cada setor apresente mineralização, a fim de procurar as relações entre mineralização e estruturas. Dessa forma, esses setores, passam a ser áreas-chave para o levantamento de campo, onde se procurou identificar mesoestruturas (veios, falhas e estrias de falha, fraturas e dobras) para caracterizar o padrão estrutural e sua relação com os depósitos minerais.

2.3. Confecção do Mapa Geológico

Os estudos prévios do Jenks (1948), Castillo e Barreda (1973) Marocco (1978), Pecho (1981) e os estudos de Perello et al. (2003, p. 1587) apresentam uma reconstrução paleogeográfica esquemática do ambiente de retroarco do sul do Perú, durante o Mesozoico e Cenozoico destacando as principais unidades estratigráficas a sul da deflexão de Abancay descritas por Vicente et al (1982) e Jaillard (1996). Existem algumas variações das denominações das unidades litoestratigráficas em função da localização regional (Palacios, 1975; Mendivil e Davila, 1994 e De la Cruz, 1995) e os estudos de Valdivia e La torre (2001).

Em função da posição geográfica da área de estudo, nosso trabalho usaremos as denominações Formações Soraya, Mara e Ferrobamba em relação aos estudos de Bustamante (2008) que descreve a geología da região do povoado Utupara. A cartografia apresentada é baseada em Pecho (1981) (Fig. 2.1) como o mapa base, com algumas modificações locais realizadas através de complementação com dados de Valdivia e La torre (2001) e de projetos dos quais participou o presente autor, nas regiões de Sabaino, Huaquirca, Mollebamba, e Santo Domingo. As modificações feitas foram:

1. A geologia foi revisada no setor Mollebamba e feito detalhamento da estratigrafia do topo do Grupo Yura, individualizando as Formações Labra e Gramadal e Fm. Soraya do Cretáceo Inferior, segundo Sempere et al. (2002).
2. Ao sudeste do setor Mollebamba arenitos e folhelhos da Formação Labra do Jurássico superior são intrudidos pela granodiorítico com um comprimento de 3 Km na direção N-S, segundo Llosa et al. (2013).



O trabalho foi auxiliado com a utilização de imagen de sensores SRTM obtidas nos sites do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil), para visualização dos principais lineamentos. As bases topográficas utilizadas foram as folhas na escala 1:100,000 (Folha Antabamba 29-q, Chalhuanca 29-p em fusso 18 S, editada pelo INGEMMET, que serviu de mapa base para uso no campo. Os dados de campo foram levantados em múltiplas escalas e foram integradas na escala 1/100,000 sendo que em algumas zonas os dados foram coletados a escala 1/2000.

Foram realizados perfis estruturais na escala 1/100000 para interpretar as relações da litoestratigrafia. Os mapas foram tratados nos programas ArcGis 10.1, Mapinfo 10.5, CoreDraw 6.0. Faultkin 7, AutoCAD 2013.

Como resultado dos trabalhos de campo e da compilação de outros mapas geológicos, se elaborou o mapa da área na escala 1:100.000, sendo apresentado na figura 5.2, de forma reduzida para escala aproximada 1:180.000.

2.4. Análise Estrutural

Os dados de medidas de falhas com estrias com suas devidas características cinemáticas, definidas por degraus e outros indicadores cinemáticos, foram avaliados em diagramas estereográficos Ramsay (1987) com o uso do software Faultkin (ALLMENDINGER, 2014) que fornece os eixos de deformação modelada s_1 , s_2 , s_3 . No presente trabalho são apresentados nos diagramas estereográficos diretamente os eixos referentes ao paleoesforço correspondendo a σ_1 , σ_2 e σ_3 .

Com a finalidade de classificar e determinar a relação temporal com o processo de mineralização, as falhas foram identificadas em função dos critérios de Robert e Poulsen (2001). Foi dada maior ênfase às falhas associadas com o estágio sin-mineralização. Porém foram feitas a tomada de dados estruturais com indicadores cinemáticos Quispe (2006) em cristas locais aflorantes.

As relações geométricas das Falhas foram com base na classificação de Anderson (1951, p.15) em mesoestruturas. Nas análises das zonas de cisalhamento rúptil buscou-se considerar o modelo de Riedel (1929), utilizando-se o sentido de Movimento das falhas, aliado à orientação das estrias, (base de dados Anexo I), foram utilizados indicadores cinemáticos mesoscópicos, como marcadores planares deslocados, degraus, etc.

CAPÍTULO III CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A zona de estudo se situa na Faixa Andina, nos Andes Centrais, na borda Oeste da plataforma Sul Americana, mais precisamente no sul do Peru. Encontra-se no flanco sudeste da zona de Deflexão de Abancay (ver Figura 3.3, adiante) que representa uma estrutura desenvolvida no domínio do contato do embasamento precambriano com as sequências do Mesozóico.

Essa estrutura se desenvolveu em distintas épocas, sendo duas mais destacadas. A primeira foi contemporânea a intrusões peralcalinas permianas. A segunda durante Eoceno Médio ao Oligoceno Inferior Marocco (1978), em regime compressivo, com intensa tectônica, dando origem a intrusões de tonalitos e granodioritos que constituem o Batólito de Abancay.

Alojadas nas rochas plutônicas do Batólito de Abancay, ocorrem intrusões de rochas hipoabissais, mineralizadas, datadas entre ~42 – 30 Ma (PERELLO et al., 2003). A Inflexão de Abancay afeta as sequências sedimentares do Mesozoico, que são as encaixantes do Batólito de Abancay.

As ocorrências das rochas do Batólito de Abancay estão essencialmente limitadas à área entre as Falhas de Abancay e Mollebamba. Tal configuração sugere que estas falhas possam de alguma maneira estar controlando as intrusões do batólito (Figura 3.3).

3.1. Domínios Tectônicos da América do Sul

O continente sul-americano apresenta quatro domínios tectônicos (Figura 3.1). O primeiro está representado pela borda oriental da Plataforma Sul-Americana, contém regiões cratônicas rodeadas por faixas dobradas do Neoproterozoico, consolidadas até o início do Paleozóico, em contraste com o segundo domínio caracterizado pela Plataforma Patagônica que se desenvolve durante o Início do Paleozóico, e foi tectonotermalmente ativa durante o Cenozóico. O terceiro domínio abrange o Orógeno dos Andes que se desenvolveu sobre a margem continental oeste da Placa Sul-Americana, após o Paleozóico, tendo uma evolução continua até hoje com vulcanismo ativo e sismicidade devida à subducção da Placa do Pacífico

por baixo da Placa Sul-Americana (CORDANI et al., 2000). O quarto domínio é representado por bacias tipo antepaís relacionados com a Região Amazônica.

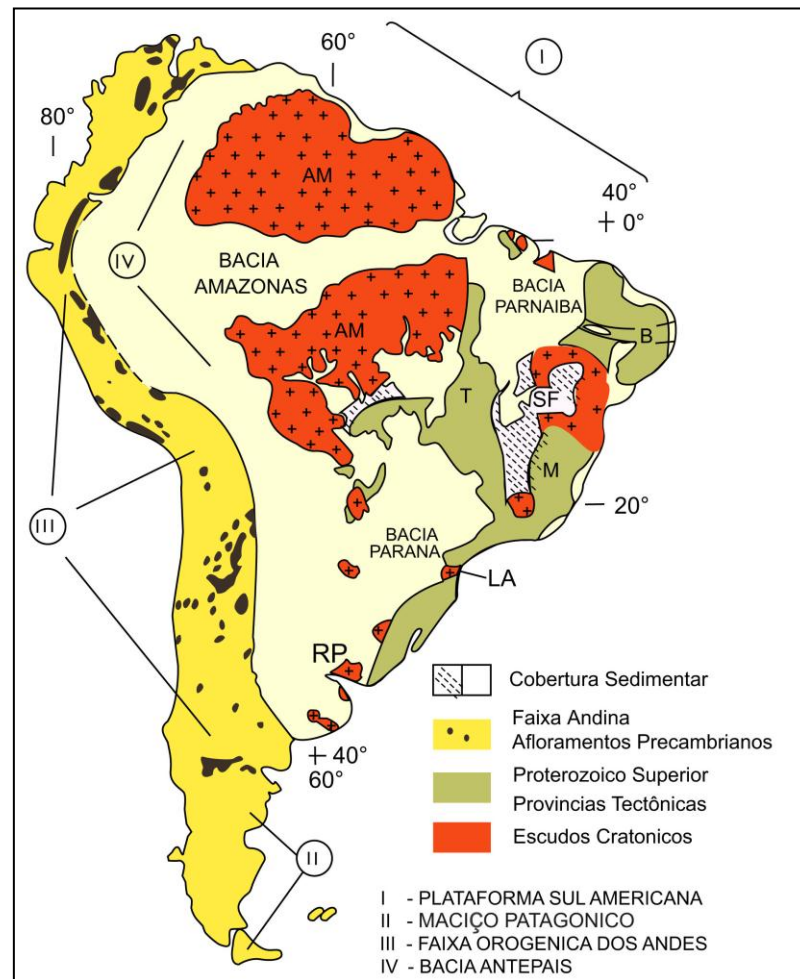


Figura 3.1. Principais Domínios Tectônicos da América do Sul. Segundo Cordani et al. (2000).

3.2. Andes Centrais

A Cordilheira dos Andes se encontra na parte ocidental do continente sul-americano, abrange cerca de 8000 km de longitude desde o mar do Caribe a norte, até o mar de Scotia a sul, com elevações que chegam a 7000 m.

Os Andes podem ser divididos em três partes (Figura 3.2): i) Andes Setentrionais, se estendem desde o norte de Venezuela (12° de latitude norte) até o norte do Perú (4° de latitude sul), ii) Andes Centrais se prolongam do (4° latitude sul) até Argentina (44° latitude sul) e iii) Andes Austrais ou Meridionais que se estendem entre os paralelos 40° e 55° de latitude sul.

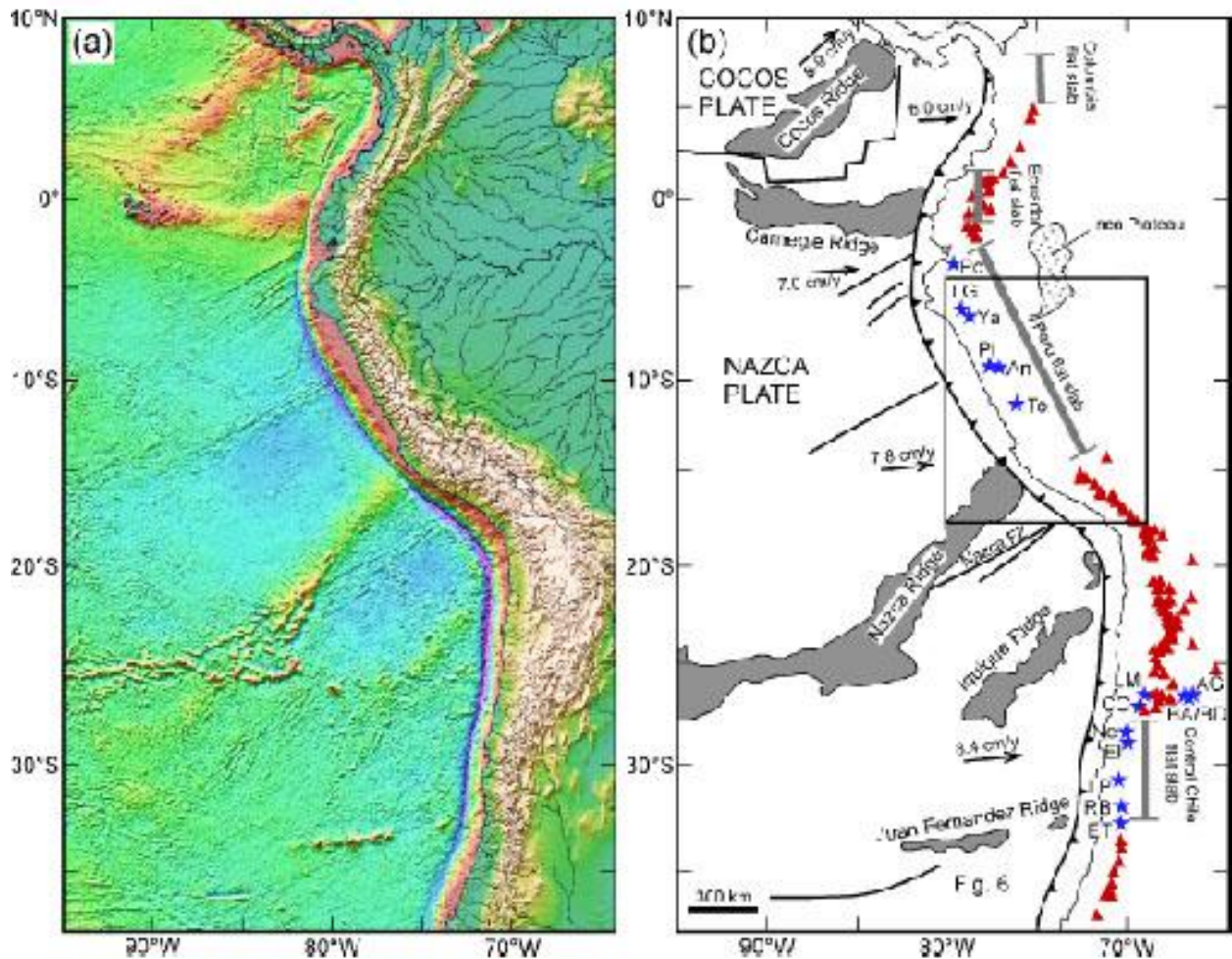


Figura 3.2. a) Imagem Topografica do oceano Pacifico e os Andes na borda do continente Sul-Americano b) Principais características tectônicas do Andes Centrais tomado de Rosenbaum (2005, p. 19). Estrelas=Jazidas metais: LG, La Granja; YA, Yanacocha; Pi, Pierina; An, Antamina; To, Toromocho; Tvermelhos= Vulcões.

Os Andes Centrais podem ser divididos em três setores: Norte, Centro e Sul (Sebrier, 1991; Isacks, 1988 e Allmendinger et al., 1997). A zona de estudo, pertence ao setor sul dos Andes Centrais, este setor abarca desde a deflexão de Huancabamba no norte do Peru, até a deflexão de Abancay, no sul, e corresponde a zona do *flat slab* atual do Perú.

3.3. Geología da Deflexão de Abancay

A Deflexão de Abancay é a estrutura que mais se destaca no sul do Perú, (Figura 3.3) aparentemente foi uma das maiores feições da heterogeneidade nos Andes Peruanos desde o Paleozóico (SEMPERE et al., 2002).

Ascue (1997) sugere que a deflexão forma-se progressivamente, por movimento crustal diferencial, devido a uma grande estrutura de direção WSW-ENE, que passa por baixo da deflexão. Roperch et al. (2006) estudando a posição e geometria atual a zona de subducção abaixo do domínio continental, em profundidades de até 500 km conclui que possui a forma “sinistral” na deflexão cerca do paralelo 14° latitude sul, onde o *slab* tem direção WNW e mergulho ~60° para NNE. Marca o limite entre subducção normal e a subducção sub-horizontal (*flat*), localizado aproximadamente por baixo da Deflexão de Abancay.

É provável que estas zonas de cisalhamento sinistrais tenham condicionado uma importante heterogeneidade litosférica controlando rifteamento no Triássico e a subsequente deformação da Cordilheira Leste (GILDER et al., 2003).

Roperch et. al. (2006) descrevem ao longo da borda nordeste da Cordilheira Oeste, sequências Mesozóicas a Cenozóicas moderadas a intensamente deformadas por dobras com plano axial de direção NW com vergência predominantemente NE; a rotação é gerada por encurtamento puro paralelo na linha da convergência e a rotação suministra principalmente feições morfotectônicas andina que são deslocadas sinistralmente Gilder et al. (2003).

Desde os trabalhos de Heki et al. (1985), estudos paleomagnéticos têm confirmado que rotação antihorária é a principal característica da evolução geodinâmica do Andes Peruanos, porém as idades destas rotações com respeito aos sucessivos pulsos de deformação compressiva não estão claramente definidas ainda.

Dentro deste contexto geológico a área estudada apresenta rochas sedimentares do Mesozoico, conformadas pelas unidades litoestratigráficas constituídas por arenitos e folhelhos da Formação Chuquibambilla do Jurássico Superior que é sobreposta em desconformidade pela Formação Soraya do Cretáceo Inferior. São sobrepostas por sequências calcárias da Formação Mara e Ferrobamba do Cretáceo Médio, que, por sua vez, são discordantemente cobertas por lavas andesíticas dos Grupos Tacaza e Barroso desde o Oligoceno até o Mioceno. Estas sequências estratigráficas são cortadas por corpos intrusivos de composição diorítica e granodiorítica, relacionados ao Batólito de Abancay, do Eoceno Médio a

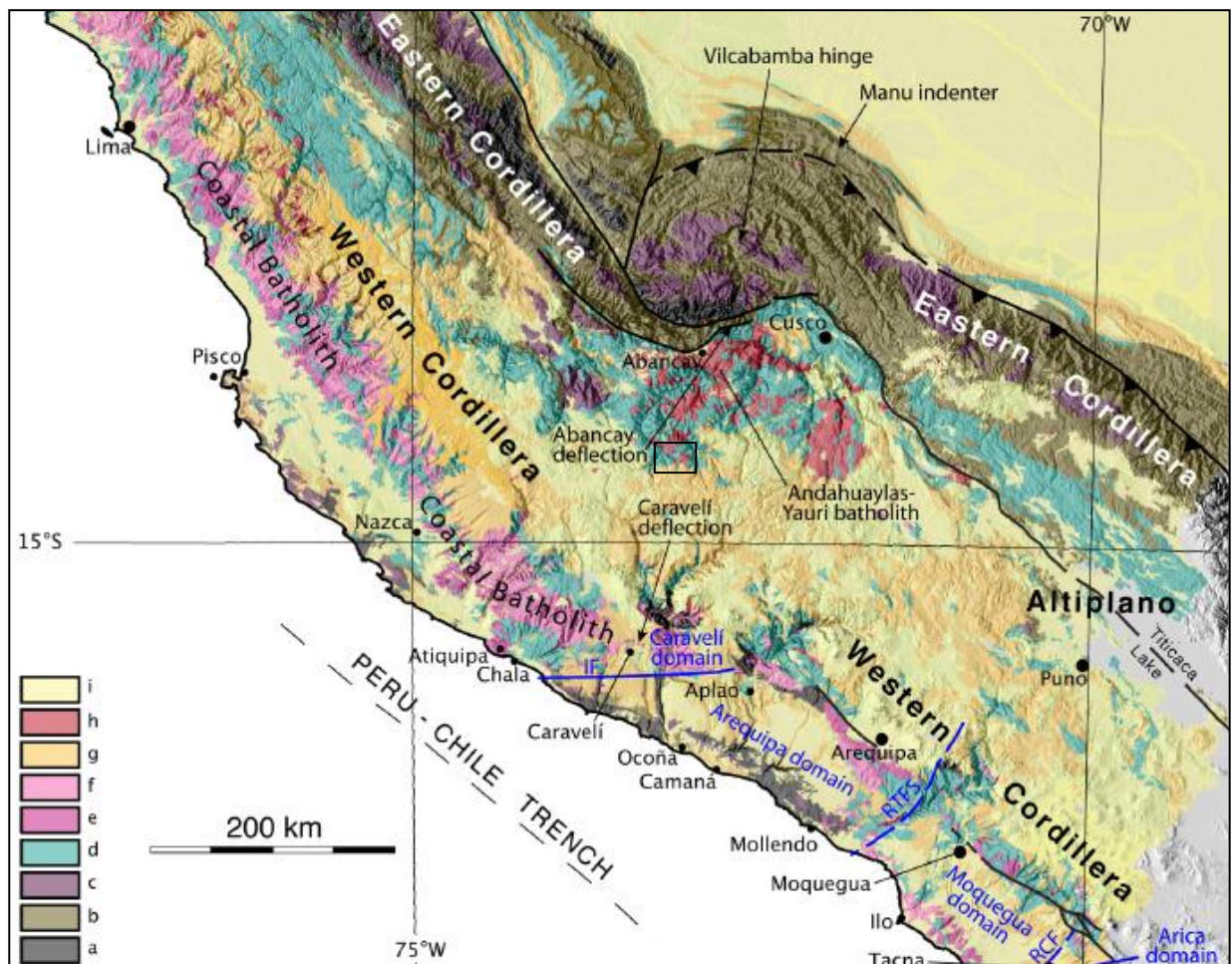


Figura 3.3. Esquema tectônico da Deflexão de Abancay tomado de Roperch (2006). Mapa geológico simplificado do 1/1,000 000 (INGEMMET), sobre imagem MDT. Legenda: a) Rochas do Precambriano; b) Sequências paleozoicas; c) Rochas intrusivas do Paleozoico; d) rochas sedimentares do Mesozoico; e,f, Rochas intrusivas do Cretáceo; g) Rochas Sedimentares e vulcânicas do Terciário; h) rochas intrusivas do Terciário; i), cobertura quaternária. O retângulo preto define a área de estudo.

Oligoceno Inferior, intrudindo inclusive as rochas vulcânicas na base do Grupo Tacaza do Oligoceno (ver Figura 4.2,adiante).

As rochas plutônicas foram definidas por Marocco (1978) e Pecho (1981) como Batólito de Apurímac, e denominado de Batólito de Abancay por Mendívil e Dávila (1994), entretanto Perello (2003) denomina estas rochas como Batólito de Andahuaylas Yauri; no presente trabalho a unidade plutônica mencionada será denominada como Batólito de Abancay. Seguindo o que tem sido apresentado na literatura (ex. Mendívil e Dávila,1994; Perello, 2003), o termo Batólito de Abancay refere-se a um conjunto de rochas intrusivas plutônicas, que podem ou não estar conectadas em subsuperfície.

Geralmente, os processos de alteração e mineralização metálica dentro da zona de estudo estão associados com as rochas plutônicas e, por vezes, hipoabissais, situadas no limite sul da Deflexão de Abancay (Figura 3.3).

3.4. Evolução Tectônica e Idades

A evolução tectônica está associada ao ciclo orogênico Andino (Megard, 1978), que teve início após o intenso regime extensional do Triássico tardio, ao Cretáceo Inferior, manifestado pela abertura e preenchimento de bacias com sequências carbonatadas, siliciclásticas de ambiente nerítico até a deposição da Formação Mara ao fim do Neocomiano.

Benavides-Cáceres (1999) define que a partir do início do Campaniano inferior, se produziu uma série de fases tectônicas compressivas, como é o caso das fases: i) Peruana (84 Ma - 79 Ma), ii) Incaica I (59 Ma - 55 Ma), Incaica II (43 Ma - 42 Ma), Incaica III (30 Ma - 27 Ma), Incaica IV (22 Ma), e iii) Quechua I (17 Ma), Quechua II (8 Ma - 7 Ma) e Quechua III (5 Ma - 4 Ma).

Os estágios tardios da Orogenia Médio-Cenomaniano, ocorreram em uma fase tectônica de compressão definida como orogenia Mochica (Myers, 1974, Cobbing et al., 1981, e Mégard et al. 1984).

A Orogenia Peruana (Campaniano inferior-medio) originou eixos de dobras NW, no Grupo Yura (Jurássico Superior até Cretáceo Inferior) e unidades mais antigas, falhas longitudinais NW-SE, relacionadas a uma inversão tectônica desde o Eoceno até o final do Oligoceno (MAROCCO, 1978).

Após o final da fase Peruana há o início da fase Incaica (Campaniano tardio-Oligoceno Inferior), que na região constitui um grande período de deformação semicontinua, com eventos intermitentes de soerguimento e abatimento. Foram acompanhados por intrusão das diversas fases do Batólito de Abancay em pelo menos dois períodos principais ~48 a 42 e 40 a 32 Ma (PERELLO et al. 2003). Esta fase gera eixos de dobras em duas direções, uma principal ligeiramente oblíqua ao rumo andino (NW) e outra, mais recente, com rumo (NE) (MYERS, 1974; 1980).

Além disso, se produz um regime extensional manifestado pela presença de bacias intermontanas, preenchidas por camadas de arenitos vermelhos, como é o

caso da Formação Casapalca (Benavides-Cáceres, 1999) e vulcanismo relacionado à caldeiras (NOBLE et al., 2005).

Durante o período Paleoceno Tardio e Eoceno Inferior se desenvolveu a fase compressiva Incaica I. (NOBLE et al., 1985). Este evento gerou eixos de dobras NW-SE nas camadas siliciclásticas desde a Formação Chuquibambilla até a Formação Mara e Formação Ferrobamba seguido de soerguimento e erosão. Os estágios tardios do Eoceno médio cedem lugar a uma nova fase compressiva NE-SW, Incaica II que gera dobras e zonas de empurrão nas sequências sedimentares (STEINMANN, 1929; NOBLE et al., 1979). Durante o oligoceno, se produz a fase compressiva Incaica III (30 Ma - 27 Ma), caracterizada por brusca diminuição da atividade tectônica diminuindo a deformação em direção NNE; paralelo à direção de convergência do Oligoceno Sebrier et al. (1991), destacando-se a presença de superfícies de erosão. Noble et al. (1979), observa no centro do Peru, eixos de dobras NW-SE em rochas vulcânicas do Oligoceno. Benavides-Cáceres (1999) em estágios iniciais do Mioceno Inferior (22 Ma), registra a fase compressiva Incaica IV. Próximo a 17 Ma (Mioceno meio), evidencia-se uma forte fase compressiva definida como Quechua I (Steimann, 1929; McKee et al., 1982; Megard et al., 1985).

A 20 km a NW de Santo Domingo se registram eixos de dobras NW-SE, além disso, em sequências sedimentares nas imediações do setor Utupara, que indicaria que a fase compressiva Quechua I teve efeito aproximadamente a 11 Ma.

No setor Utupara, está registrada uma fase compressiva E-W, que produziu um movimento sinistral na falha Huayruruni NW-SE e sistemas de falhas conjugadas NE-SW. Esta fase compressiva E-W, sobrepostas por fases compressivas Quechua II (8 Ma - 7 Ma) e Quechua III (5 a 4 Ma) de Benavides-Cáceres (1999).

As atividades tectônicas e vulcânicas do Eoceno Superior – Oligoceno Inferior da Orogenia Incaica, foram relacionados à subdução de baixo ângulo Sandeman et al. (1995), associado a na província da Faixa Puquio-Caylloma Echavarría (2006). Interpretam que o espessamento da crosta e soerguimento ocorreu no intervalo entre 17 e 22 Ma Sandeman et al. (1995), acompanhado por falhas e mineralização.

Posteriormente foi seguida por atividade tectônica e vulcânica do Neogeno de caráter episódico (Setor Santo Domingo), E a atividade magmática e hidrotermal, na faixa ficou relacionada também ao encurtamento mencionado segundo Sandeman et al. (1995), e tectonismo extensional foram estudados pelo Noble et al. (1999).

CAPÍTULO IV GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo faz parte de uma espessa crosta siálica (50 a 60 km James, 1971), na zona de transição entre o regime de subducção plana (flat subduction) do centro do Peru e o regime de subducção normal (normal subduction) do sul do Peru e norte do Chile (ISACKS, 1988). Nesta região ocorrem numerosos depósitos e ocorrências de minerais de Cu-Au e Au-Ag, expostos nas cotas entre 3980 a 4700 m de altitude.

Geologicamente consiste em espessa sequência sedimentar cretácica dobrada durante as deformações andinas Benavides-Caceres (1999), e amplamente cortada por plutons, *stocks*, soleiras e diques relacionados ao Batólito de Abancay. O conjunto é coberto por depósitos lacustrinos e vulcânicos cenozóicos e depósitos quaternários.

Esse capítulo tem como objetivo a descrição das unidades litoestratigráficas destacando as sequências sedimentares do Mesozoico descritas por Pecho (1981).

A coluna estratigráfica é constituída por unidades litológicas sedimentares e vulcânicas, com idades desde o Jurássico Superior até o Quaternário, com espessura total superior a 8,000 m.

A cartografia geológica mostrada na Figura 4.1 foi compilada de relatórios internos e de projetos de exploração circunscritos à área mencionada, trabalhos de conclusão de curso de geologia (SANCHEZ, 2005 e VILLEGAS, 2000) e INGEMMET (quadrícula de Antabamba 29-q; 1:100.000; Antabamba 29q-III).

4.1. Principais Feições Estruturais

A sequência sedimentar do Mesozoico, a partir do Jurássico Superior, apresenta-se ligeiramente dobrada, com dobras abertas a suaves, com charneiras arredondadas, com planos axiais de direção WNW, aproximadamente verticais, indicando encurtamento na direção NNE.

A distribuição das unidades estratigráficas com o predomínio das mais antigas a W e das mais novas a E, juntamente com as medidas de acamamento, indicam que apesar das dobras, a superfície envoltória das dobras possui direção aproximadamente NE com mergulhos suaves para SE (Figura 4.1).

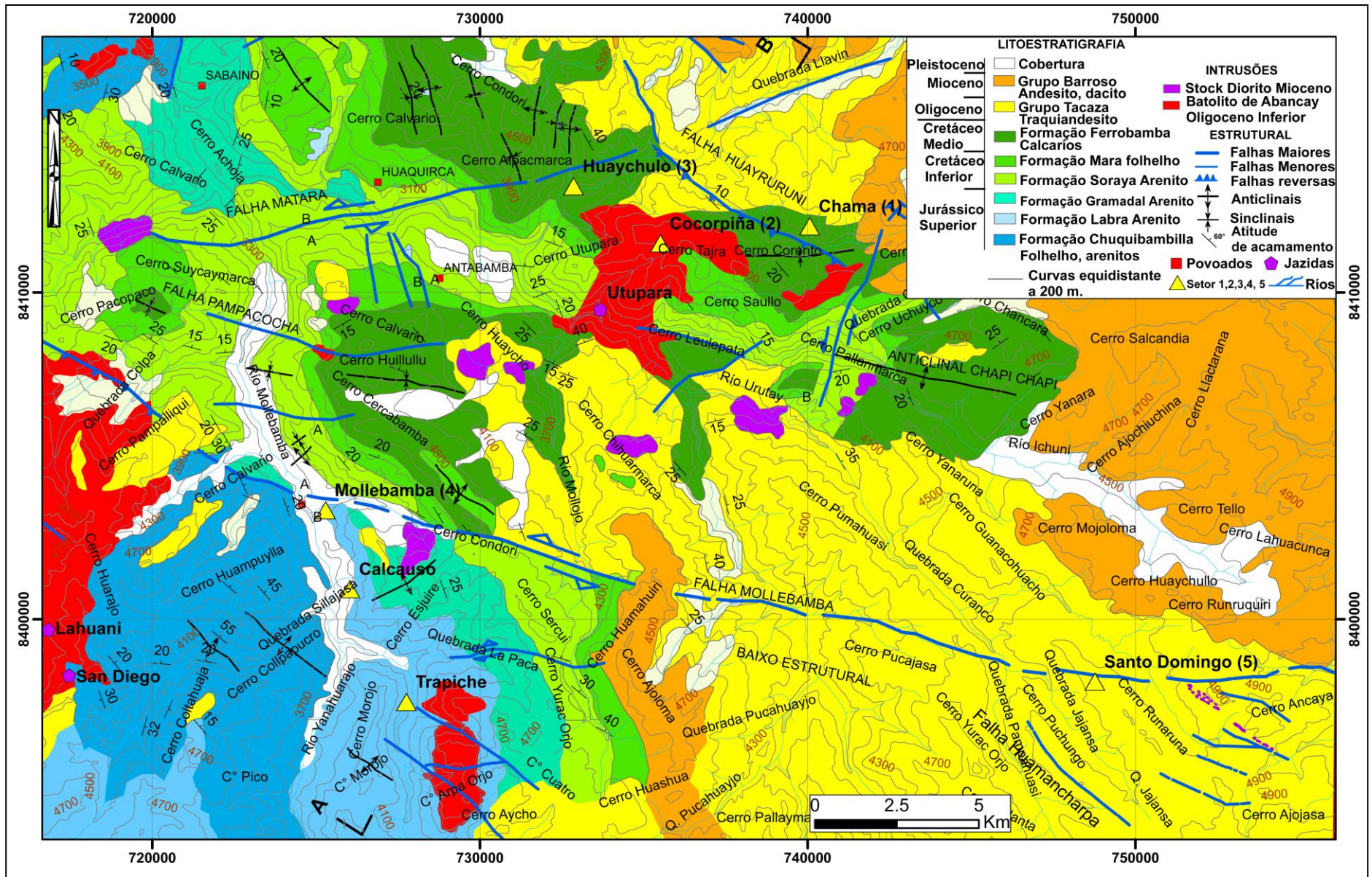


Figura 4.1. Mapa geológico da área de estudo em escala 1:100000. Complilada de Pecho (1981), Valdivia e La torre (2001) e Bustamante (2008).

Entre essas dobras, se destaca a estrutura Anticlinal Chapi Chapi, com plano axial WNW e eixo com caimento suave para ESE. Além dessas dobras também ocorrem outras com plano axial aproximadamente NS.

A falha transcorrente Mollebamba é uma das estruturas de maior destaque na área, apresentando direção geral NW e cinemática sinistral, evidenciada pelo deslocamento da sequência mesozoica, indicando deslocamento de aproximadamente 10 km (PECHO, 1981). Sua orientação subparalela sugere que está associada ao Sistema de Dobras Chapi Chapi.

Na porção Norte se destaca a presença da falha Matara de direção NE com mergulhos que variam entre 60 a 75 para SE. que afeta as camadas da Formação Soraya. Estas estruturas serão apresentadas e descritas com mais detalhe no capítulo 5.

Na porção central, próximo de Huaychulo, ocorrem dobras também suaves, com plano axial de direção NS, vertical e linhas de charneira subhorizontais, caracterizando encurtamento E-W.

O evento tectônico responsável pela formação dessas dobras é pré-intrusão, das rochas associadas ao Batólito de Abancay entre 45 - 42 Ma, além disso, existem falhas que afetam os anticlinais, mas não atravessam as rochas intrusivas (Figura 4.1).

As estruturas principais na sequência mesozoica são as seguintes:

- a) Sistema de Falhas Principal: Direção WNW, é composta pelas falhas Mollebamba e Matara. A Falha Mollebamba, localizada mais ao sul da região de estudo, desloca as sequências sedimentares da Formação Soraya com componente sinistral (Figura 4.1, Figura 5.1). A Falha Matara de direção NW localizada no centro da área de estudo, é do tipo transcorrente sinistral (Figura 5.1).
- b) Sistemas de Falhas Secundários: o primero NNW a NNE e outro ENE. Na zona de estudo as mais proeminentes são: Falha Pampacocha (Figura 4.1), localizada ao oeste da área de estudo, desloca as rochas sedimentares da Formação Ferrobamba e inclusive, desloca as rochas vulcânicas do Oligoceno, apresentando uma componente transcorrente dextral (Figura 4.1).

- c) Sistema de Dobras com eixos (e traços axiais) na direção WNW, aqui é marcado o anticlinal Chapi Chapi descrito adiante, na Seção 5.1.2, no perfil estrutural A-B' (Figura 5.2), onde se observa a discordância dos estratos do Cretáceo sobrepostos por lavas andesíticas do Grupo Tacaza do Oligoceno, também dobrada.
- d) Sistema de Dobras com eixos: O primero (e traços axiais) NNE a NNW, e um segundo sistema de dobras menores com eixos e planos axiais WNW, posto que sua disposição corresponda a esforços associados à Tectônica andina, mais é possível, e provável, que as dobras WNW (Figura 4.2) sejam produzidas pelas falhas direção NW.



Figura 4.2. Olhando ao sudeste, observa-se sistema de dobras com planos axiais de direção NW, na porção noroeste se encontram associadas com mineralização em veios do ouro (quartzo-pirita-calcopirita) de escala decimétrica, alojadas em arenitos e folhelhos na Formação Chuquibambilla do Jurássico Superior.

4.2. Unidades Litoestratigráficas

Neste trabalho, o nome das formações é correlacionado com os trabalhos de Marocco (1978), além disso, a Formação Soraya é referida por outros autores como a Formação Hualhuani que corresponde às sequências inferiores do Grupo Yura (SEMPERE et al., 2002), No presente estudo, denominaremos como Formação Soraya.

Na zona do estudo se distinguem nove unidades litoestratigráficas que variam no campo, desde a base do Jurássico até o fim do Mioceno (Figura 4.3).

Além das sequências sedimentares e vulcânicas citadas acima, ocorrem na área manifestações magmáticas intrusivas. A partir dos dados litoestratigraficos

mencionados modificamos a coluna estratigráfica para a zona de estudo que foi fundamentalmente adaptado de Pecho (1981), apresentado na Figura 4.3.

4.2.1. Mesozoico

As rochas mesozóicas na região fazem parte da porção noroeste da Bacia de Arequipa, representadas por uma sequência sedimentar de aproximadamente 4500 m de espessura (VICENTE et al., 1982). A parte inferior é constituída por turbiditos, a parte média por arenitos e a superior por abundantes calcários (JAILLARD e SANTANDER, 1992).

São constituídos desde o Jurássico por argilas, arenitos e folhelhos da Formação Chuquibambilla, gradando a sequências de arenitos das Formações Soraya e Mara do Cretáceo Inferior, que são recobertas por calcários da Formação Ferrobamba do Cretáceo médio. Do ponto de vista regional as sequências sedimentares ficam marcadas como uma zona de soerguimento central, associadas a processos da intrusão do Batólito de Abancay (Figura 4.1).

Regionalmente grande parte da Formação Ferrobamba foi intrudido por corpos ígneos de diferente natureza, os quais metamorfizaram e recrystalizaram os calcários, originando no contato, marmores e hornfels com presença de granadas que tem relação com as zonas mineralizadas de cobre, prata, chumbo, zinco, ferro etc. (item 5.2)

4.2.1.1. Formação Chuquibambilla - Jurássico (Jsup-Chu/are)

Estas sequências são compostas por arenitos e folhelhos bem estratificados, com intercalações de camadas de argilas pretas escuras.

Mas a presença dos arenitos se encontram bem estratificados em camadas sub horizontais, os afloramentos a nível geral na zona de estudo apresenta um intenso dobramento definido pelos litotipos da Formação Chuquibambilla, os afloramentos no contato com rochas graníticas apresentam um dobramento característico de intrusões, associado ao processo de soerguimento do Batólito de Abancay Marocco (1978), (Figura 4.1).

Sua posição estratigráfica é subjacente à Formação Labra, através de contato discordante. Apresenta 800 m de espessura, vistos ao longo da quadrícula de Antabamba Pecho (1981).

ERA	SIS TEMA	SERIE	ANDAR	UNIDADE ESTRATIGRAFICA	COLUNA GRAFICA	DESCRIÇÃO LITOLOGICA		
CENOZOICO	NEOGENO	PLEISTOCENO		Dep. Aluviales		Gravas, cantos, arenas em matriz areno-arcilla — Disc. Erosional — Blocos e gravas angulosas em matriz de areia fina. — Disc. Erosional — Bloques, cantos angulosos, diferente rocha, matriz arenoso — Disc. Erosional —		
		PLIOCENO	SUPERIOR	Dep. Fluvioglaciár				
			INFERIOR	Dep. Morrénicos				
		MIOCENO	SUPERIOR	GRUPO BARROSO		Volc. Vilcarani	Tufos, brechas, conglomerados vulcânicos, cinzas; de composição andesítico, riódacítico e riolítico. — Disc. Erosional —	
						Volc. Nalmanya	Brecha e aglomerados vulcânicos, cor branco e amarelo Derrames andesíticos e dacíticos de cor cinza escuro. — Disc. Angular —	
			INFERIOR					Tufos retrabalhados, arenitos e limolitas tufáceas estratificação fina, cor cinza escuro. — Disc. Erosional —
							Fm Maure	
		PALEOGENO	OLIGOCENO	SUPERIOR		Gpo. Tacaza		
	INFERIOR							
	MESOZOICO	CRETACEO	Medio	CENOMANIANO	Fm. Ferrobamba		Calcários pretos a cinza escuras, compacta e alternados com calcários e arenitos cinza claros. Contem nódulos de chert. — Concordância —	
ALBIANO				Arenitos e folhelhos abigarradas; folhelhos, alternadas com arenitos e conglomerados de arenitos. — Concordância —				
Inferior			APTIANO	Fm. Mara	Quarzitos brancos a cinza escuros e arenitos cuarcíticos de grão fino a medio. em na base arenitos quartzosos alternadas com níveis delgados de folhelhos pretos. — Concordância —			
			HAUTERIAVANO	Fm. Soraya				
			BERRASIANO					
JURASSICO			Superior	TITONIANO	Fm. Gramadal		Arenitos com fácies de argilas bem deformadas.	
		KIMMERIDGIANO		Fm. Labra	Arenitos e quarzitos alternados em camadas.			
		OXFORDIANO		Fm. Chuquibambilla	Folhelhos e arenitos alternados com fácies de argilas deformadas.			

Figura 4.3. Coluna estratigráfica da área de estudo modificada de INGEMMET (1981), adaptado por Mamani (2013).

Ao sul de Mollebamba observamos sequências de calcários e folhelhos alternados, pertencentes à Formação Chuquibambilla, afetados pela Falha Mollebamba (Figuras 4.1 e 4.4).

4.2.1.2. Formação Labra - Jurássico (Jsup-Chu/are)

Os afloramentos desta unidade são observados a sudeste de Mollebamba próximo aos povoados do Calcauso e Mollebamba (Figura 4.1).

É caracterizada pela presença de arenitos intercalados com níveis de folhelhos em camadas decimétricas. A base é composta por arenitos. Podemos destacar sua posição estratigráfica, posto que a Formação Labra é subjacente em concordância com a disposição das camadas da Formação Gramadal.

Sempere et al. (2002) propõem que a bacia do Arequipa foi originado por rifting provavelmente desenvolvido em um marco tectônico extensional do tras arco no começo do Oxfordiano – Kimmeridgiano. Nesse contexto, a Formação Labra se encontra posicionada e relacionada ao começo do aporte de sedimentos na bacia de Arequipa.

4.2.1.3. Formação Gramadal - Jurássico (Jsup-Chu/are)

As rochas sedimentares da Formação Gramadal são distribuídas predominantemente no sul da área de estudo, entre os povoados do Mollebamba e Calcauso (Figura 4.1). É representado predominantemente por arenitos intercalados com níveis de argilitos em camadas decimétricas. A base é composta por arenitos e calcários, já o topo possui mais folhelho que arenito.

Sempere et al. (2002) a partir dos resultados obtidos de Vicente et al. (1982), define um espesor do 300 m para na Formação Gramadal.

Sua posição estratigráfica é definida por estar sobreposta concordantemente pela Formação Soraya a nível regional, sendo atribuída ao Titoniano inferior.

4.2.1.4. Formação Soraya - Cretáceo Inferior (Kinf- So/are)

Na quadrícula de Antabamba ocorrem afloramentos importantes nas porções norte e oeste, entretanto na área de estudo se observam os litotipos na formação Soraya próximo ao povoado do Sabaino (Figura 4.1).

Essa sequência sedimentar apresenta comportamento frágil e mostra tendência a alta frequência de fraturamentos e consequentemente alta permeabilidade secundária. É constituída por uma sequência de arenitos quartzosos de granulação fina a média, estratificados em bancos médios a grossos (desde 1 a mais de 5 m).

Entre as camadas de arenitos quartzosos se intercalam escassos níveis delgados de folhelhos pretos e arenitos cinza, que formam a base, sendo que os folhelhos se apresentam em camadas delgadas formando pacotes de 10 cm de espessura que, por ação do intemperismo, adquirem coloração cinza chumbo a esbranquiçada. A cor varia de cinza esbranquiçada, branca amarelada a rosada no topo, com aproximadamente 700 m de espessura.

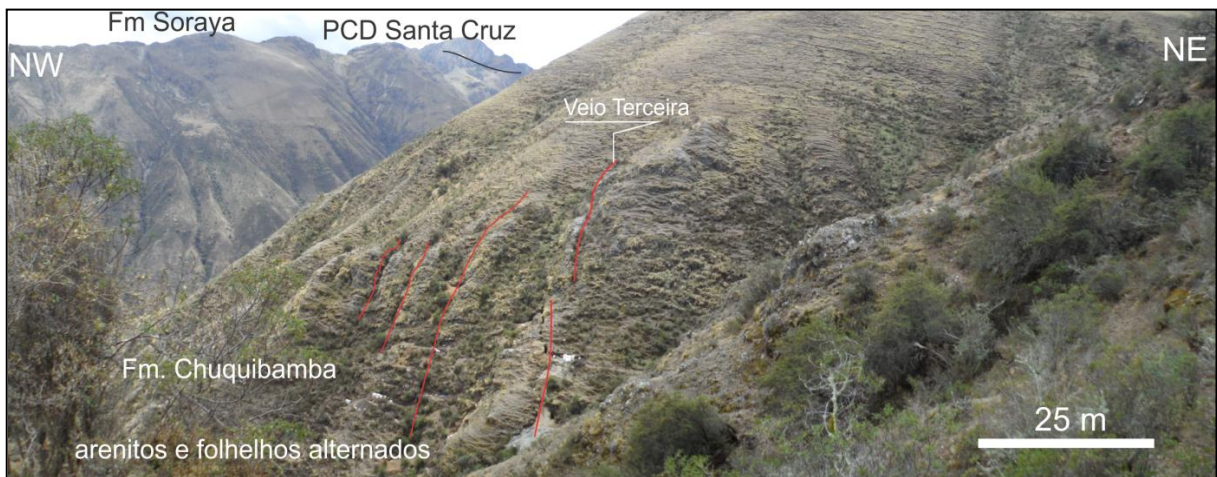


Figura 4.4. Olhando para o Norte, perto do povoado do Sabaino, se vêem estruturas mineralizadas de direção N-S, encaixadas em os arenitos da Formação Soraya com atitude do $N20^{\circ}W/25^{\circ}SW$, afetados por falhas que controlam os veios de quartzo paralelos de atitude $N10^{\circ}E/65^{\circ}SE$.

Segundo Pecho (1981) não se pode precisar a idade da Formação Soraya; entretanto pode-se inferir que como repousa sobre a Formação Chuquibambilla considerada de idade Jurássico superior e por estar coberta pela Formação Mara, de

idade Neocomiana superior- Aptiano, a idade seja neocomiana inferior para Formação Soraya (JENKS 1948; PECHO, 1981).

4.2.1.5. Formação Mara - Cretáceo Inferior (Kinf- Ma/ lut)

Na zona de estudo foi reconhecida entre as imediações do setor Huaychulo e o povoado do Antabamba (Figura 4.1). É conformada por três membros: o membro Inferior, que se caracteriza pela predominância de arenitos, o membro Médio pelos folhelhos com algumas intercalações de arenitos e conglomerados com clastos de quartzito e o membro Superior constituído por arenitos, folhelhos diversificados e termina em direção ao topo, em alguns lugares, com calcários amarelados.

A cor predominante das rochas da Formação Mara é vermelha a marrom avermelhada. Localmente estão metamorfizadas, apresentando hornfels e hospedam importante mineralização em vênulas de quartzo e calcopirita.

Próximo da quebrada Chancara tem 214 m de espessura e próximo ao povoado de Sañayca, 160 m (PECHO, 1981).

A idade desta formação é considerada Aptiana, tendo em conta suas relações estratigráficas, principalmente com a Formação Soraya de suposta idade Neocomiano inferior (PECHO, 1981).

4.2.1.6. Formação Ferrobamba - Cretáceo Médio (Kmd- Fe/cal)

Segundo Jenks (1951) a Formação Ferrobamba caracteriza-se por uma espessa sequência calcária, que aflora no entorno do Projeto Mineiro de Ferrobamba. É constituída por calcários pretos e cinza escuros e, em certos níveis, apresenta bancos calcários de cor amarelada. Os calcários são maciços, bastante compactos, estratificados em bancos de 0,30 a 2,0 metros.

No topo, geralmente se observam calcários arenosos de cor cinza claro com tons avermelhados e na base níveis de folhelhos carbonosos, que contêm nódulos de chert.

A estrutura é maciça, ocorrendo localmente alguns estratos de 10 cm de espessura que apresentam laminação. Os calcários se encontram intercalados com

arenitos, que ocorrem em menor quantidade, geralmente formando a base e o topo dos estratos, exibindo forma lenticular ondulada.

Porém as feições das rochas sedimentares da formação Ferrobamba descritas por Jenks (1951), são observadas em a zona central no morro Cercabamba a 4500 m e a nordeste entre os Cerros Condori e Uchuyco, a 4700 m, bem dobrados no morro Alpamarca, a 4600 m de altitude.

A Formação Ferrobamba sobrepõe a Formação Mara concordantemente, e está sotoposta às rochas vulcânicas do Grupo Tacaza (Figura 4.1).

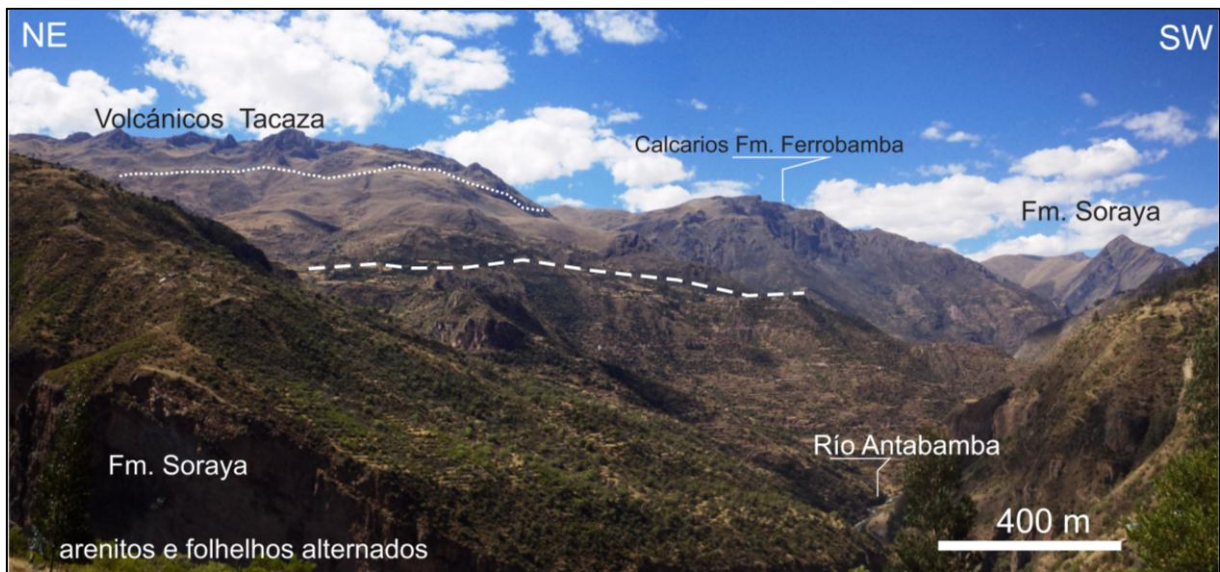


Figura 4.5. Olhando ao sudeste próximo a povoado de Antabamba, observa-se a disposição de Afloramentos, das sequências calcárias da Formação Ferrobamba do Cretáceo Médio sotoposta em discordância pelas rochas vulcânicas do Grupo Tacaza do Oligoceno.

Jaillard e Soler (1996) sugerem a correlação da Formação Ferrobamba com a Formação Acurquina desde um nível mais regional, atribuindo idade Albiano-Cenomaniano através de fósseis (moluscos).

A idade é atribuída a partir de seu conteúdo fossilífero, como *Exogira squamata* DORB, *Neithea tenow Klensis* COQUAND de idade Cenomaniano y *Pracal Veolina* cf. *P. tenuis* REICHEL do Albiano - Turoniano e indica idade Albiano-Cenomaniano.

4.2.2. Cenozóico

No Cenozoico começa o ciclo vulcânico da região, constituído por sequências vulcânicas que se sobrepõem em discordância angular sobre as sequências calcárias do Cretáceo Inferior.

Dentro das sequências vulcânicas Cenozóicas, o Grupo Tacaza, do Oligoceno, se apresenta subjacente do Grupo Barroso (Figura 4.1), constituído por tufos vulcânicos do Mioceno, também através de discordância angular.

O final da atividade vulcânica é representado pela série de rochas do Grupo Barroso, que corresponde à idade mais moderna do edifício estratigráfico Vulcânico (Mio-plioceno). Ao longo da zona de estudo se observam depósitos fluviais e aluviais recobrindo as rochas vulcânicas.

4.2.2.1. Grupo Tacaza - Oligoceno (Pol- Ta/ Ltqa)

O Grupo Tacaza é constituído por rochas vulcânicas e piroclásticas de natureza andesítica, traquítica e traquiandesítica, com espessura de aproximadamente 300 m.

Nos setores Chama e Santo Domingo (Figura 4.1), os afloramentos são mais extensos e se encontram principalmente na parte sudeste.

Ocupam o fundo do rio Ichuni e se propagam em forma de uma estreita faixa em direção norte, até a altura do povoado de Mamara, onde estão cobertos por rochas vulcânicas mais jovens.

Outros afloramentos encontram-se na linha do cume do cerro Chilhuamarca, a uma altitude sobre os 4300 m, constituindo as partes mais altas desta área (Figuras 4.1). A base do Grupo Tacaza consiste de conglomerados, com clastos subangulosos de quartzitos e calcários.

Para o topo, apresentam 500 m de camadas grossas de conglomerados com clastos subarredondados de quartzitos e arenitos, sendo a matriz tufácea. Em toda a sequência se intercalam camadas de derrames andesíticos e brechas tufáceas.

Na zona de estudo, nas montanhas denominadas Pucajasa e Chihuamarca (aproximadamente 10 a 15 km, a leste de Mollebamba) se têm os afloramentos de maior espessura deste grupo, estimados em 700 a 800 m.

O Grupo Tacaza repousa em discordância angular sobre as rochas sedimentares da Formação Ferrobamba do Cretaceo Médio, próximo do povoado Utupara, e está coberto por tufos e lavas do Grupo Barroso do Mioceno.

A falta de informações e datações nas rochas vulcânicas deste Grupo não permite assinalar uma idade precisa. Entretanto, por repousar sobre a Formação Ferrobamba do Cretáceo Superior e estar por baixo da Formação Maure (Mio-Plioceno), se admite uma idade Oligocênica.

Datação coletada na montanha Ampatajo, de lava andesítica (14 km a oeste de Antabamba) fornece uma idade de $27,16 \pm 2,76$ Ma pelo método K/Ar (ROCHA e AMARAL, 1976), equivalente ao Oligoceno superior (PECHO, 1981).

4.2.2.2. Grupo Barroso (Npl- Ba/ Land)

Este grupo é constituído por rochas vulcânicas, principalmente por lavas e rochas piroclásticas de natureza andesítica, traquítica e traquiandesítica, com espessura de 200 m (Figuras 4.1 e 4.4).

Os trabalhos de Pecho (1981) diferenciam os membros: Vulcânico Nalmanya com lavas, na base, e vulcânico Vilcarani composto pelos tufos para o topo (Figura 4.3). Estes tufos apresentam cor cinza chumbo, composição ácida, granulação fina, e com a lupa se observam cristais de plagioclásio, quartzo, biotita. Por vezes mostram-se alterados, com tom pardo avermelhado por oxidação dos minerais ferromagnesianos. Acima ocorrem derrames de lava dacítica e andesítica pouco expressivos em espessura. Estas sequências se apreciam ligeiramente deformadas com pequenas ondulações com ângulos de mergulho muito baixos a sub-horizontais, sendo a idade da deformação atribuída ao Mioceno.

4.2.2.3. Depósitos Glaciais

Estes constituem os depósitos formados diretamente pelo gelo ou indiretamente, através das correntes originadas pelo degelo. Dada a cercania destas

morenas e as nevadas, se presume que os retrocessos destes glaciares devem corresponder aos últimos períodos de deglaciação com correntes aquosas ao produzir-se nos altos platôs e em forma de mantos que cobrem as rochas.

As morenas se constituem em depósitos geralmente de areias e argilas, em menor proporção conglomerados, em forma de pequenas colinas alongadas, ou meia-lua quando são frontais. No mapa geológico (Fig. 4.1 e 5.2) são apresentadas sob o nome de cobertura são apresentadas sob o nome Coberturas, juntamente com a unidade Depósitos Aluvionares e Flúvio-Glaciais.

4.2.2.4. Depósitos Aluvionares e Flúvio-glaciais

Os depósitos aluviais são constituídos por cascalho, areia e outros elementos arredondados e angulosos, dentro de matriz areno-argilosa. Apresentam estratificação variada, e, em geral, se acunham entre camadas de areias e argilas. A espessura desta unidade é estimada em desde alguns metros até 150 metros.

Apresentam-se nos leitos de drenagens antigas e recentes e nas encostas de vales, formando respectivamente terraços e cones aluviais. Alguns terraços se encontram a mais de 150 metros sobre o nível dos leitos atuais, como consequência do soerguimento recente dos Andes e o rejuvenescimento dos rios que esculpiram profundos vales em forma de “V”. Na zona de estudo se apresentam em grandes antiplanícies e fornecem pastos naturais.

4.2.2.5. Rochas Intrusivas do Batólito de Abancay Eoceno médio

Regionalmente foi denominado por Perello et al. (2003) como Batólito de Andahuaylas-Yauri ocorrendo ao longo de 300 km. Na área de trabalho é denominado de unidade plutônica Batólito de Abancay, intrudido na bacia sedimentar do Cretaceo Inferior a Médio (Figura 4.1).

O Batólito de Abancay na área de estudo é representado por três corpos maiores de granodiorito e tonalito (Figura 4.6b), localizados na zona central da área, a oeste do río Mollebamba e a leste da Quebrada Jajantía setor Cocorpiña.

Na zona de estudo ocorrem pequenos *stocks* de diorito que conformam o último estágio da intrusão do batólito (Figura 4.1), localmente associadas com

mineralização estilo pórfiro. As intrusões da etapa intermediária são cinza claro, de granulação média a grossa, texturas ligeiramente porfíricas a equigranulares e mineralogicamente são constituídos por anfibólio > biotita, como as fases ferromagnesianas dominantes.

Estas intrusões estão distribuídas na zona central da área de estudo e constituem intrusões concomitantes durante o alojamento do batólito no Eoceno Médio a Oligoceno Inferior, e geram auréolas de contato dentro das rochas encaixantes que são extremamente irregulares em forma, tamanho e composição.

Nas rochas calcárias, os *skarns* apresentam granada (Fm. Ferrobamba correlacionável com a Fm. Arcurquina) e nas formações mesozóicas de fácies mais pelíticas, são encontrados *hornfels* de biotita e piroxênio (SANCHEZ, 1995).

A idade do batólito é assinada pela relação estratigráfica regional e dados geocronológicos. O batólito intrude, na sua maioria, estratos marinhos e continentais mesozóicos. Várias datações K-Ar reportadas por Carlier et al. (1996), e Perelló et al. (2003), confirmam uma idade Eoceno médio a Oligoceno Inferior (48 – 32 Ma).

Os dados geocronológicos apoiam a ideia de Bonhomme e Carlier (1990) defendendo uma classificação de idade entre os 48 e 43 Ma para o agrupamento de rochas intrusivas consideradas dentro da etapa inicial e uma idade entre os 40 e 32 Ma para as rochas de composição intermediária caracterizada por tonalito e dioritos para uma segunda etapa de intrusão. Também se sugere que existiu um tempo considerável entre a superposição de intrusões Máficas antigas e mais félsicas do grupo mais jovem.

4.2.2.6. Rochas Subvulcânicas (Dioritos)

Estas rochas afloram em forma e dimensão muito variada, intrudindo indistintamente os corpos plutônicos. Assim se têm cartografadas pequenas apófises e *stocks* de forma irregular que são os que predominam, bem como diques e soleiras.

As rochas hipoabissais estão representadas na sua maioria (80%) por andesitos e dacitos e, em porcentagens menores, por microdioritos, microgranitos, monzogranitos, adamelitos e também quartzo-latitos e latitos afaníticos (Figura 4.1).

Ao sudeste da localidade de Mollebamba sobre o morro Huamahuiri, ao longo de 25 km da Falha Mollebamba, com um comprimento de 4 a 6 km tem-se colocado um corpo hipoabissal de natureza subvulcânica classificado como um andesito porfirítico associado a uma inversão tectônica, intrudindo as rochas sedimentares (Figura 4.1).

Os corpos subvulcânicos têm originado uma ampla zona de metamorfismo de contato. Não obstante, no setor Cocorpiña (Figura 4.1), onde a Falha Pisco controla a ascensão de um pórfiro dacítico de tons cinza claro, granulação média, com cristais de quartzo subhedral, alongado segundo a direção NE, o qual intrude um diorito de granulação fina a média.

Ao sudeste do povoado Mollebamba os arenitos da Formação Labra são intrudidos por um corpo granodiorítico alongado em su eixo maior N-S, associado a um corpo subvulcânico andesítico com mineralizações de tipo pórfiro do cobre (ver item 5.2.4).

4.2.2.7. Intrusões Indiferenciadas

Estas intrusões ocorrem o longo da zona leste e parte média da zona central. localmente observados nos setores de trabalho (item 5.2), como no setor Santo Domingo, onde ocorrem diques andesíticos associados a um regime de distensão na direção N45°W (Figura 4.1) que cortam as sequências finais do Grupo Barroso, pelo que lhes atribuímos ao Mioceno Superior. Neste setor tais diques cortam mineralizações pré-existentes (de idade desconhecida) alojadas no Grupo Barroso, marcando assim uma das fases magmáticas mais jovens da região.



Figura 4.6 Unidades litoestratigráficas no setor Sabaino. A) ao longo da linha da cume na margem direita do rio Antabamba se apreciam seqüências de arenitos bem estratificados da Formação Soraya, mergulhando para sudoeste, que por sua vez são intrudidas pelo granodiorito do Batólito de Abancay do Oligoceno Inferior (B).

CAPITULO V GEOLOGIA ESTRUTURAL

A configuração estrutural da área é marcada por estruturas dúcteis, representadas por sistemas de dobras, e rúpteis, caracterizadas por expressivos sistemas de falhas (Figura 5.1 e 5.2).

As dobras ocorrem em escala quilométrica e são bem identificadas em mapa através das atitudes dos planos de estratificação primária.

Algumas falhas se estendem por mais de 30 km, por vezes associadas a deslocamentos quilométricos dos estratos sedimentares. Os sistemas de falha têm grande importância posto que estão relacionadas com as mineralizações de Cu-Au, que ocorrem na área. Por isso, foram selecionadas cinco localidades com ocorrência desses depósitos para caracterização geométrica e cinemática das falhas associadas. Correspondem aos setores Chama, Huaychulo, Cocorpiña, Mollebamba e Santo Domingo para os quais são descritos os principais sistemas de falha, enfatizando-se aqueles relacionados ao controle da mineralização (Figura 5.2).

Nesse capítulo são apresentadas as principais estruturas da área, em seguida são descritos os cinco setores, fazendo-se uma análise da geometria e cinemática dos sistemas de falhas e, finalmente, são comparados os controles estruturais das mineralizações dos referidos setores.

5.1. Estruturas

As principais estruturas que se destacam na área são: Anticlinal Chapi Chapi, Sinclinal Huillullu (ao Sul do Anticlinal Chapi Chapi), Falha Mollebamba, Falha Matara e falhas menores antitéticas nos setores em menção (Figura 5.1 e 5.2).

São identificados dois sistemas de dobramentos, que geraram dobras de escala quilométrica. O primeiro observa-se nas porções Norte e Central da área, sendo caracterizado por apresentar plano axial vertical N-S indicando encurtamento E-W. O segundo evidenciado na porção central representado pelo Anticlinal Chapi Chapi e Sinclinal Cerro Huillullu com planos axiais subverticais na direção WNW e linhas de charneira com caimento suave para SE (Figura 5.2). No presente trabalho serão denominados de Sistemas NS e Chapi Chapi.

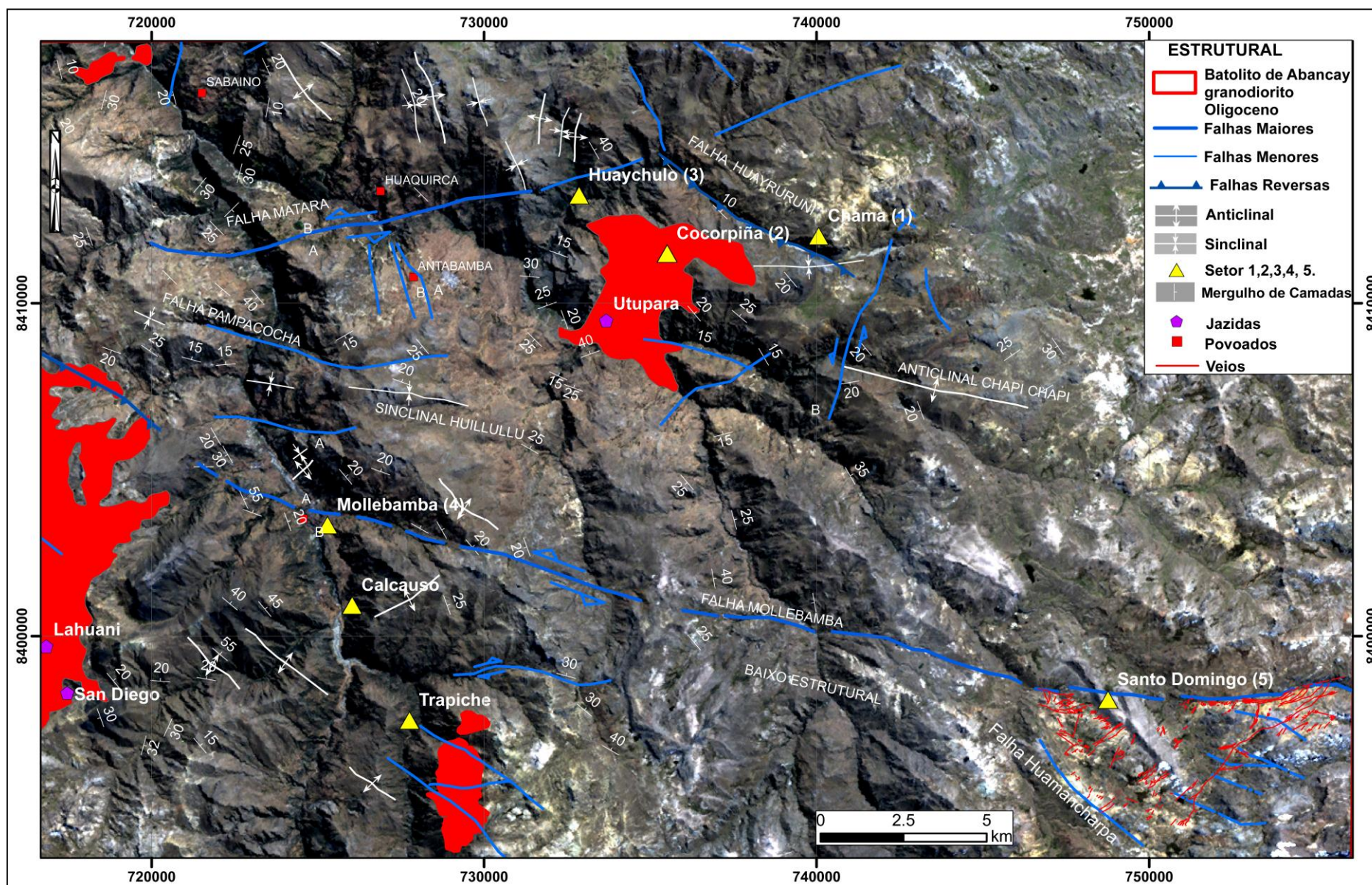


Figura 5.1. Imagem satélite, mostrando os principais elementos estruturais da área de estudo: Falha Mollebamba, Falha Matara, Anticlinal Chapi Chapi, Sinclinal Huillullu.

5.1.1. Sistemas de Dobras

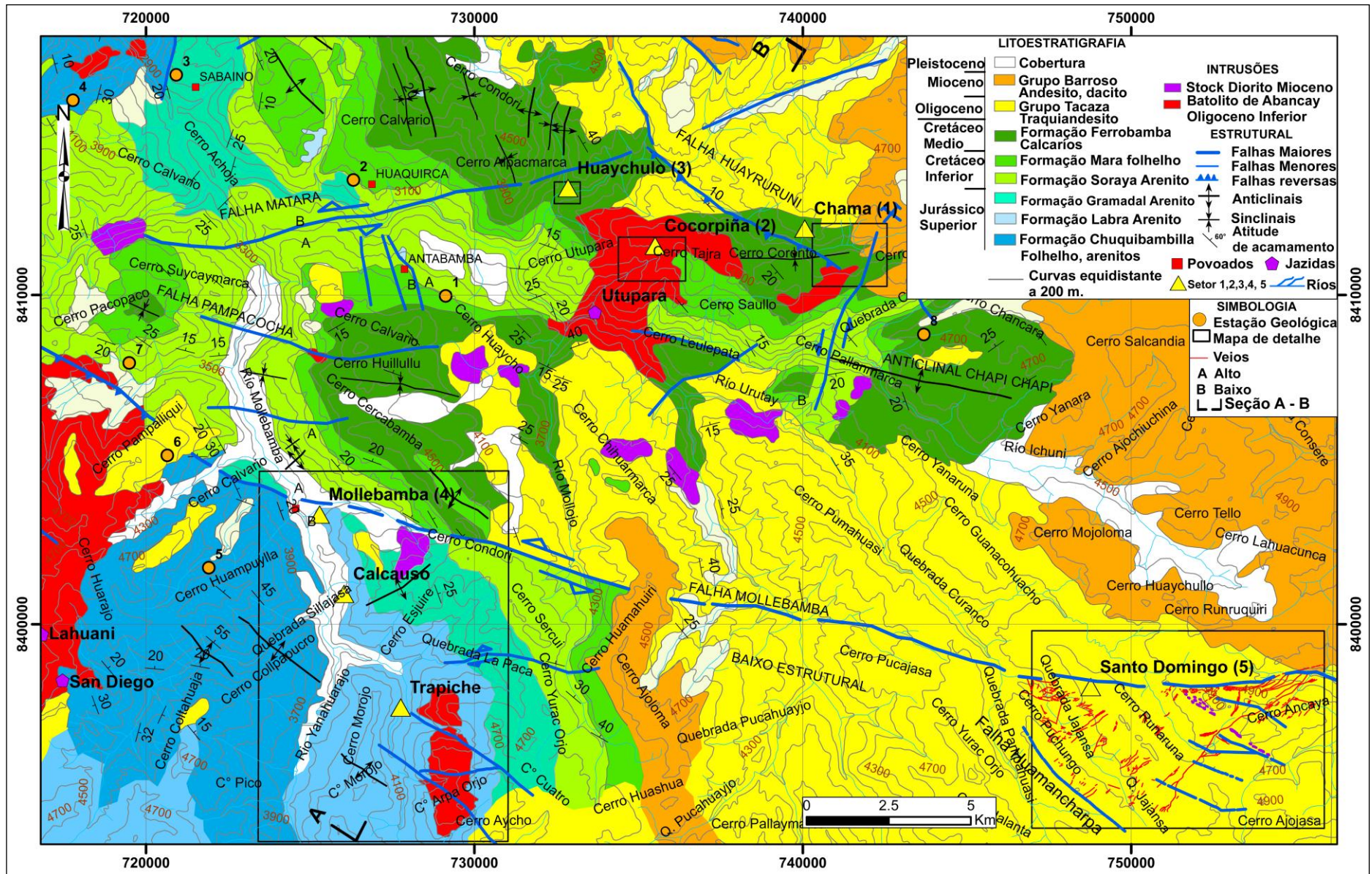
Os sistemas de dobras podem ser facilmente identificados através da variação das atitudes dos planos de estratificação primária, conforme pode ser visto na figura 5.2. A área de estudo é caracterizada por sequências sedimentares jurássicas-cretácicas sobrepostas discordantemente por rochas vulcânicas dos Grupos Tacaza (Oligoceno) e Barroso (Mioceno). As rochas cretácicas mostram grande variação de seus planos de estratificação primária definindo dobras de diversas escalas. Entretanto, apesar de também terem sido dobradas, é evidente que as sequências vulcânicas mostram-se menos deformadas, caracterizando uma discordância angular com as rochas sedimentares.

O Sistema de Dobras NS mostra-se bem desenvolvido na porção entre Saibano e Cocorpiña, onde ocorrem diversas sucessões de antifomas e sinformas afetando claramente as rochas cretácicas. Essas dobras possuem eixos com caimentos sub-horizontais, planos axiais verticais, com direções que variam de N30W a N10E, exibindo comprimentos de onda em torno de 1 km.

A norte de Haychulo (Figura 5.2), são observadas três dobras que apresentam planos axiais N5E a N10. Os flancos apresentam direções NNE com mergulhos de 20° a 50°, para NW ou SE. As rochas dos Grupos Tacaza e Barroso, não devem ter sido afetadas por este dobramento pois, como pode ser observado na estrutura antiformal mais a Leste, as rochas do Grupo Tacaza exibem mergulho suave (10-12°) e constante para ENE, enquanto as camadas cretácicas adjacentes definem a antiforma.

A norte e a nordeste de Huaquirca as dobras associadas a esse sistema exibem planos axiais de direção N10W a N30W, com flancos de direção NW mergulhando em tona de 20° a 35° para SW ou NE.

A orientação indica encurtamento principal EW, sugerindo que resultam de esforços compressivos nessa direção, que seria o esperado para a convergência da Placa de Nasca contra a Placa Sulamericana.



O Sistema de Dobramentos Chapi Chapi é representado principalmente por duas grandes dobras que ocorrem na porção central da área, apresentando planos axiais NNW e eixos com caimentos suaves para ESE.

A dobra situada mais a norte corresponde ao Anticlinal Chapi Chapi, definido por uma sucessão de antiformas e sinformas caracterizando assim um anticlinório. O flanco norte apresenta direção preferencial N60W e localmente ocorrem mergulhos de até 60°, sendo que o mergulho preferencial deste flanco se situa entre 30° e 40° para NE. O flanco sul possui direção preferencial N70W, com mergulhos mais suaves, em torno de 20° para SW. Na porção Leste, próximo à zona de charneira e seguindo o alinhamento do córrego Colcabamba, o flanco sul encontra-se cortado por falha com direção aproximadamente paralela ao plano axial com mergulho íngreme para SW, causando uma separação com abatimento do bloco SW (Fig. 5.3).

A dobra situada mais a sul é uma sinclinal, aqui denominada de Sinclinal Cerro Huillullu, que compartilha o flanco norte com o Anticlinal Chapi Chapi. O flanco sul possui direção preferencial N40W a N60W, com mergulhos em torno de 30° a 40° para NE. As medidas dos planos de acamamento lançados em estereograma revelam que a atitude do eixo do sinclinal é 110/10. O flanco sul é truncado pela falha Mollebamba, de direção NNW e caráter sinistral. A orientação das falhas que cortam as dobras do sistema Chapi Chapi, subparalela ao plano axial, sugere que devem ser contemporâneas ao dobramento. A orientação das dobras e associação com a falha sinistral sugere campo de esforços com Sigma 1 horizontal de direção WSW, Sigma 2 vertical e Sigma 3 NNW, horizontal.

A seção geológica ilustrada na figura 5.3 mostra bem essas dobras do sistema Chapi Chapi e suas relações com as falhas. Na Anticlinal Chapi Chapi nota-se que as unidades mesozoicas (Formação, Soraya, Mara e Ferrobamba) desenham a estrutura com mergulhos dos planos de acamamento em torno de 20° NE no flanco sudoeste e de aproximadamente 40° NE no flanco nordeste. É interessante notar que as rochas da sequência cenozoica também definem a estrutura antiformal, porém, exibindo mergulhos mais suaves.

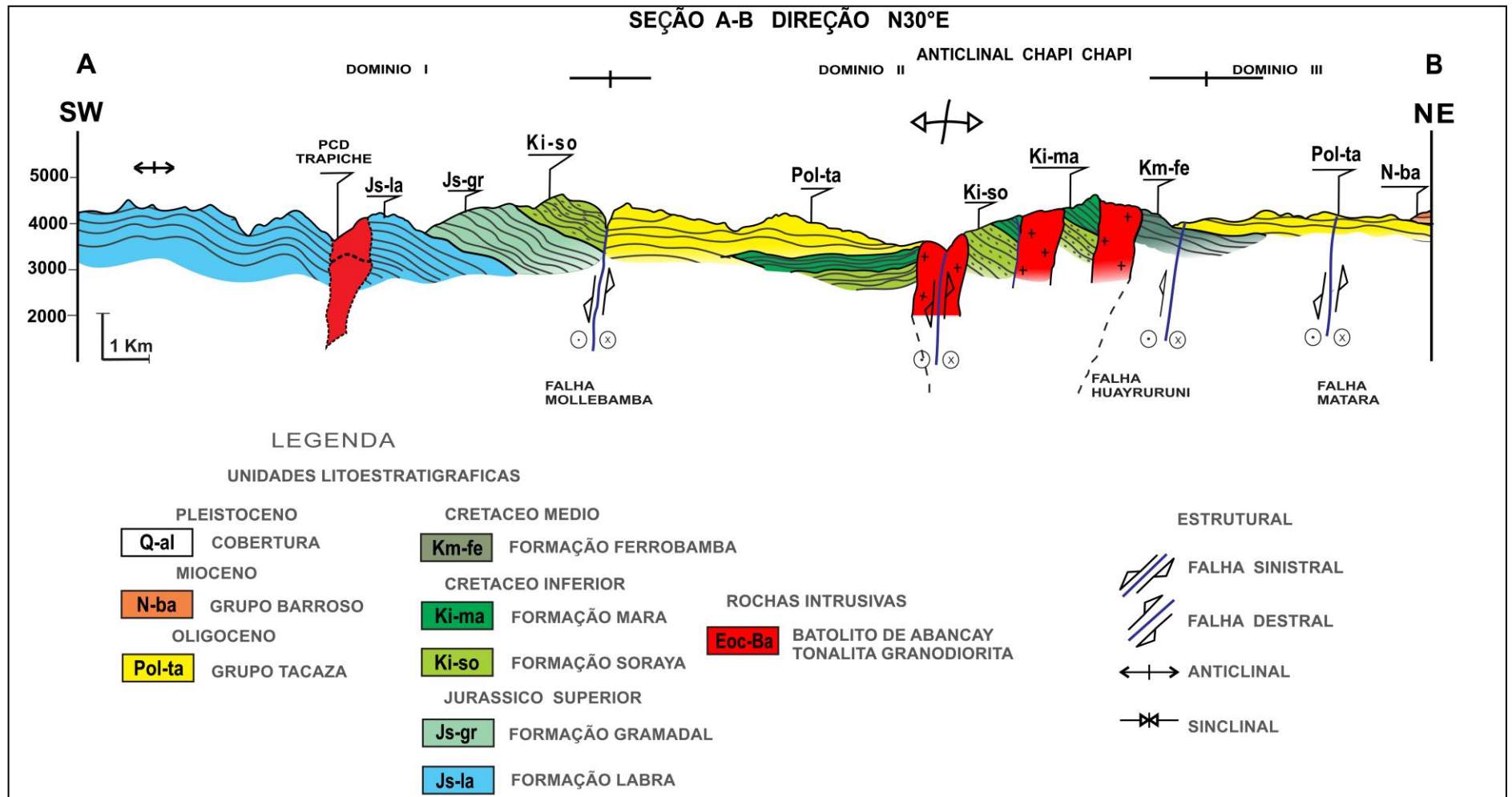


Figura 5.3 Seção geológica transversal A-B (Localização no mapa da Fig. 5.2) Mostrando o estilo do dobramento na zona central e a relação entre as camadas do cretáceo em discordância angular com as formações vulcânicas do Mioceno Fonte (Este trabalho).

Indicando que a deposição destas rochas ocorreu nos estágios tardios dobramento do Cretáceo Médio, marcando assim uma discordância angular com as unidades mesozoicas.

A relação entre os dois sistemas de dobras é indicada pelo comportamento das dobras do sistema NS nas proximidades da Falha Mollebamba. À NE da localidade de Mollebamba observa-se que as dobras do sistema NS têm os traços axiais rotacionados, passando da direção NNW para NW. Assim, interpreta-se que o Sistema NS é mais antigo que o Sistema Chapi Chapi.

5.1.2. Falhas Maiores

Na área são identificadas várias falhas de expressão em mapa (Figura 5.1), dentre as quais se destacam: Falha Mollebamba, Falha Matara, Falha Huamancharpa. A Falha Matara é truncada na sua extremidade oeste por um corpo de diorito relacionado ao Batólito de Abancay (Figura 4.1).

Das três estruturas, a Falha Mollebamba é a mais destacada e que apresenta rejeito mais expressivo (Figura 5.2).

5.1.2.1. Falha Mollebamba

Essa falha é identificada pelo truncamento das camadas visto em mapa (Figura 5.2), por feições lineares vistas em imagens (Figura 5.1) e por observações diretas em afloramentos. É uma falha que se estende por mais de 45 km, desde a parte oeste até o extremo SE da área. Ao longo de seu traçado são encontrados alguns afloramentos com exposição do plano de falha, mas por vezes se encontra coberta por unidades litológicas recentes.

A Falha Mollebamba possui orientação preferencial WNW com mergulhos íngremes para SW, chegando a ser quase vertical, e as estrias observadas são predominantemente subhorizontais. Desloca os estratos das rochas sedimentares, colocando o topo da Fm. Gramadal em contato com as o topo da Fm. Mara (Figura 5.2). Em função desse deslocamento e das estrias sub-horizontais essa falha é interpretada como essencialmente sinistral (PECHO, 1981).

Na porção oeste da área a Falha Mollebamba tem atitude N60W/75SW e a partir da localidade de Mollebamba assume atitude N70W/75SW. O traço da falha e

os deslocamentos dos estratos são expressivos nas rochas cretácicas, porém na sequência oligocênica (porção Leste da área), são fracamente representados. Dessa forma, entende-se que trata-se de uma falha já estabelecida no Cretáceo que foi reativada no período oligocênico. As rochas do Grupo Barroso, parecem não ter sido afetadas pelo movimento da falha indicando que não foi reativada desde o Mioceno.

Ao longo da falha, foram caracterizados dois setores (Mollebamba e Santo Domingo, Figura 5.2). Localmente foi elaborada a análise de paleoesforços, que será melhor abordada no capítulo 5.2.5, onde a direção e movimento das falhas

menores têm sido relacionados com a direção geral do traço da falha Mollebamba.

Adicionalmente, nas proximidades da Falha Mollebamba ocorrem falhas menores (Figura 5.4) que podem representar as componentes R1 e R2 do sistema de Riedel (RIEDEL, 1929). Por exemplo, na localidade de Mollebamba se registram falhas com atitude de N70E/65SE, de caráter sinistral que afetam os folhelhos com atitude de N40E/35SE da Formação Chuquibambilla, estas podem corresponder às falhas sintéticas (R1). No setor Calcauso se registram falhas menores, comparando à Falha Mollebamba, de atitudes N20E/45SE, que podem ser interpretadas como as falhas antitéticas (R2) (Figura 5.5).



Figura 5.4. Calcários em Camadas da Formação Chuquibambilla deformadas, localizadas sobre o traço da falha Mollebamba, na localidade de Mollebamba. A atitude dos planos da falha são N60E/45NW e N70E/50NW, com estrias 30° normal sinistral.

No setor Santo Domingo, a falha Mollebamba WNW se intercepta com a falha Huamancharpa (de direção NW), a oeste de Cerro Runa Runa, formando um ângulo de 50° (Figura 5.2). Além disso, ocorrem nesse setor um conjunto de fraturas/falhas, de direção N45E e mergulhos íngremes, às quais associa-se um enxame de veios mineralizados. Como será descrito em maior detalhe na seção 5.2.5, esse conjunto de fraturas apresenta geometria e cinemática compatível com fraturas de extensão relacionadas ao sistema Mollebamba. Conforme discutido adiante (item 5.2.4), pode-se inferir que essas estruturas foram geradas em decorrência de cisalhamento transcorrente sinistral.

A movimentação da Falha Mollebamba foi definida nos trabalhos de Pecho (1981) que analisou a geometria das estruturas e as relações estratigráficas determinando de seu movimento lateral sinistral e a magnitude de seu deslocamento em 8 a 10 km. Tomou-se como base os contatos da unidades cretácicas, já que em ambos os blocos desta falha mostram-se nitidamente deslocadas (Figura 5.2). O que sugere que o primeiro movimento com deslocamento sinistral foi pré Oligoceno (Figura 5.2).

Analisando-se o mapa se nota o deslocamento da base da Formação Soraya, ao longo da Falha Mollebamba (Figura 5.2) indicando separação sinistral em torno de 15 km. Tendo em vista que a atitude das estrias medidas ao longo da zona de falha Mollebamba é de baixo ângulo, pode-se assumir que o rejeito total deva ser aproximadamente igual à separação.

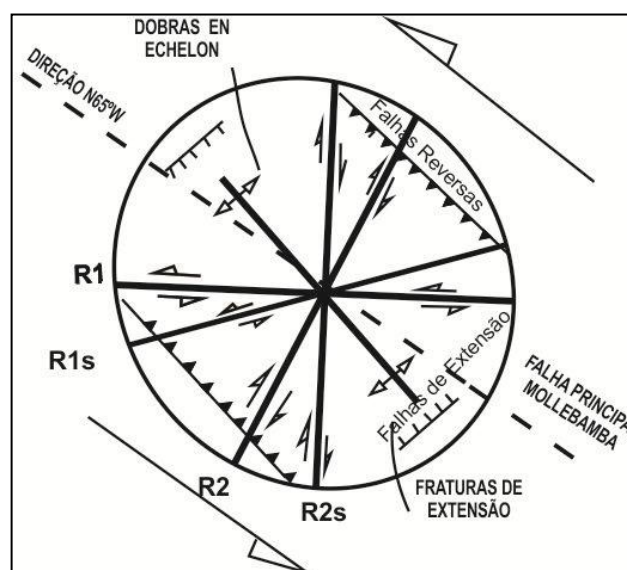


Figura 5.5. Orientações de planos de falhas, que podem ocorrer associados à zona de Falha Mollebamba, considerado-se vetores compressivos ao modelo de Riedel (1929).

Nosso estudo, conforme apresentado na seção 5.1.1, indica que a deformação que gerou essas falhas também foi responsável pela formação do Sistema de Dobras Chapi Chapi, associado à compressão WNW-ENE, com eixos de direção da orogenia Andina.

5.1.2.2. Falha Matara

Foi identificada na porção Noroeste da zona de estudo e se estende por aproximadamente 18 km atravessando o Río Antabamba, projetando-se para NE sobre a Qda. Sajuara e Qda Llavin (Figura 5.1 e 5.2). O traço da falha afeta arenitos da Formação Soraya, Mara e calcários do Ferrobamba Figura (5.2).

A falha Matara apresenta orientação ENE, com atitude geral $N70^{\circ}E/75^{\circ}SE$, a relação espacial segundo o paralelismo da orientação geométrica da falha Matara e a falha Mollebamba sugere que pode interpretar-se a cinemática como um evento com uma movimentação concomitante.

5.1.2.3. Falha Huamancharpa

Esta estrutura situa-se no setor de Santo Domingo, onde se realizou a coleta dos dados, e se estende ao longo da Qda. homônima (Figura 5.2).

A falha Huamancharpa foi identificada por Candiotti (1985), apresenta extensão aproximada de 5 km com direção preferencial de $N40W$ e mergulhos variando de 60 a 70 para SW.

A orientação e cinemática dessa falha foi observada ao longo de seu traço: i) $N45W/50SW$ com estrias 30° para NW, destal normal e ii) $N50W/70SW$ com estrias de 20 NW, destal normal (item 5.2.5) com orientação geral apresentada com a atitude $N40W/70SW$, associado a uma componente de movimentação principal destal.

5.1.3. Falhas Menores

Na área ocorrem falhas menores denominadas também de secundarias, em relação ao modelo cinemático (Figura 5.27), cuja orientação apresenta similitude com o principal sistema da Falhas da direção NW.

5.1.3.1. Falha Huayruruni

Encontra-se na zona central de estudo em Cerro Huarango (Figura 5.6). Sanchez (1995) propõe um deslocamento de tipo reverso que põe em contato os arenitos e folhelhos da Formação Mara em contato com os calcários da Formação Ferrobamba (Figura 5.2). Tem atitude geral N60W/70SW com vergência para NE, associado a uma componente sinistral. A terminação NE dessa falha se dá em um o corpo intrusivo alongado NE-SW.

5.1.3.2. Falha Pisco

A falha Pisco se localiza na porção meridional no setor Cocorpiña (Figura 5.12) com uma extensão de 1500 m. e tem atitude geral de N30E/75SE. Esta falha e estudada em relação a uma intrusão diorítica.

Ao longo do traço da falha Pisco se coletou 10 medidas com indicação de estrias marcando a movimentação sinistral (Figura 5.12).

Embora sua orientação corresponda a uma falha tipo antitética (R2) para o sistema Mollebamba, a cinemática sinistral é incompatível com tal interpretação. Possivelmente está relacionada a uma outra fase de deformação.

5.2. Detalhamento Estrutural de Áreas Mineralizadas Seleccionadas

As ocorrências de mineralizações nos depósitos Chama, Cocorpiña, Huaychulo, Santo Domingo, Mollebamba mostram a relação espacial e temporal com corpos graníticos isolados que correspondem ao Batólito de Abancay (Figura 5.2).

Evidenciam-se estruturas tipo dobras e falhas mesoscópicas. A deformação nos setores é heterogênea caracterizada por zonas lineares de ocorrência de falhas, que se alternam com porções menos deformadas.

O presente item trata de análise geométrico/cinemática da região onde ocorrem as mineralizações de tipo metassomatismo de contato e do tipo filoneanas. Além dos dados obtidos pelo autor (Figura 2.2) do presente trabalho são incluídos também dados modificados sobre a base de trabalhos anteriores Bravo (1985), Abril (2000); Carpio (1997) (Figura 5.2).

Procurou-se enfatizar o problema sob o ângulo das configurações geométricas do sistema, representando uma entidade estrutural definida por lineamentos de diferentes idades, *trends*, densidades e intensidades que controlam os depósitos auríferos, e que definem um padrão estrutural particular.

Estes dados foram utilizados e interpretados em conjunto com as informações litológicas e estratigráficas para a definição dos sistemas estruturais propostos.

Com base nas relações estruturais e mineralizações, foi coletado um total de *119 medidas* de planos de falhas principais e menores (Anexo I), assim como as estrias (em superfície), nos cinco setores de trabalho (Figura 2.2).

Estas áreas foram selecionadas por apresentar boas exposições e facilidade de acesso. Além disso, são locais de ocorrência de depósitos minerais, cuja importância fomenta a realização de levantamentos geológicos mais detalhados. As idades relativas das estruturas, em cada setor, foram estabelecidas a partir dos estudos de Benavides-Cáceres (1999).

Para isto as estruturas foram separadas em três grupos em função de seus lineamentos e sua relação temporal com a mineralização em: pré-mineralização, sin-mineralização e pós-mineralização em relação a os critérios de (ROBERT e POULSEN, 2001).

5.2.1. Setor Chama

O setor Chama se situa na porção central da área de estudo (Figura 5.2), O mapeamento de Sanchez (1995) se restringe a zona norte do mapa geológico (Figura 5.6), tomando em conta os litotipos, mas não apresenta relações de integração da geologia estrutural. Por estas razões, foi modificado por trabalhos de mapeamento geológico completando o mapeamento da área mostrado na Figura 5.6, modificado por Mamani (2013).

A área é conformada por arenitos das Formações Soraya e Mara, ambos do Cretáceo Inferior, sotopostos em concordância à Formação Ferrobamba composta por calcários do Cretáceo Médio, Além disso, identifica-se uma intrusão tonalítica com seu eixo maior na direção N45°E e seu eixo menor N45°W (Figura 5.6). O conjunto é discordantemente sobreposto pelas rochas vulcânicas do Grupo Tacaza que apresentam acamamento com mergulhos suaves.

Do ponto de vista estrutural, o setor Chama se localiza no flanco Norte do Anticlinal de Chapi Chapi, tendo como principais estruturas os sistemas de falhas Huayruruni NW e Cullimayoc ENE (Figura 5.6). Outro conjunto de falha situa-se na borda E do contato entre o tonalito e a Fm. Ferrobamba, sendo importante por controlar a mineralização.

A Falha Huayruruni, identificada no morro Huarango põe em contato os arenitos da Formação Mara com os calcários da Formação Ferrobamba evidenciando uma falha inversa subvertical com vergência para NE (Figura 5.6). Esta apresenta atitude preferencial N45W/75SW, com movimento reverso, cortando a intrusão tonalítica, levantando os calcários da formação Mara acima dos 4600 m.

A outra falha identificada nesse setor é denominada de falha Cullimayoc, possui atitude preferencial N75E/65SE, de caráter cinemático destrai evidenciado pelas observações de campo (Figura 5.6).

As rochas sedimentares são concordantes e a atitude da direção preferencial das camadas dos calcários é de N60E/25NW no morro Chicoronte. Próximo ao contato com o corpo de tonalito exibem mergulhos mais íngremes.

No setor Chama, as estruturas com preenchimento hidrotermal se encontram em dois pontos, denominados cerros Japutane e Toronto (Figura 5.6).

As principais estruturas mineralizadas ocorrem próximo à zona de intersecção das Falhas Cullimayoc e Huayruruni, 1 km a leste do morro Toronto e associam-se a corpo silicificado com conteúdo de ferro, denominado Annie. Este veio se desenvolveu ao longo do contato falhado, na borda W do tonalito, se estendendo por um comprimento de 750 m.

Os veios Tentadora e Juliana localizados na porção central do corpo silicificado Annie, apresentam direção N50 a 60E e mergulhos de 70 a 85 ao SE. As espessuras dos veios têm fortes variações de 0.10 m a 2.50 m. Do ponto de vista econômico, essa mineralização dos skarn Chama (Fe-Cu-Au) apresentam recurso indicado de 250,000 TM com 2.5 g/t Au e 0.38% Cu.

No setor Chama os planos de falhas dos sistemas NW-SE se encontram cortados por falhas N75E relacionadas ao sistema de falha Cullimayoc (Figura 5.6), direcionando deslocamentos E-W indicando movimento destrai, com indicadores cinemáticos tipo lúnulas de compressão e recristalização de calcita nos planos de falha.

Figura 5.6. Geología do projeto Chama retirado de Sanchez (1995), Modificado por este trabalho.

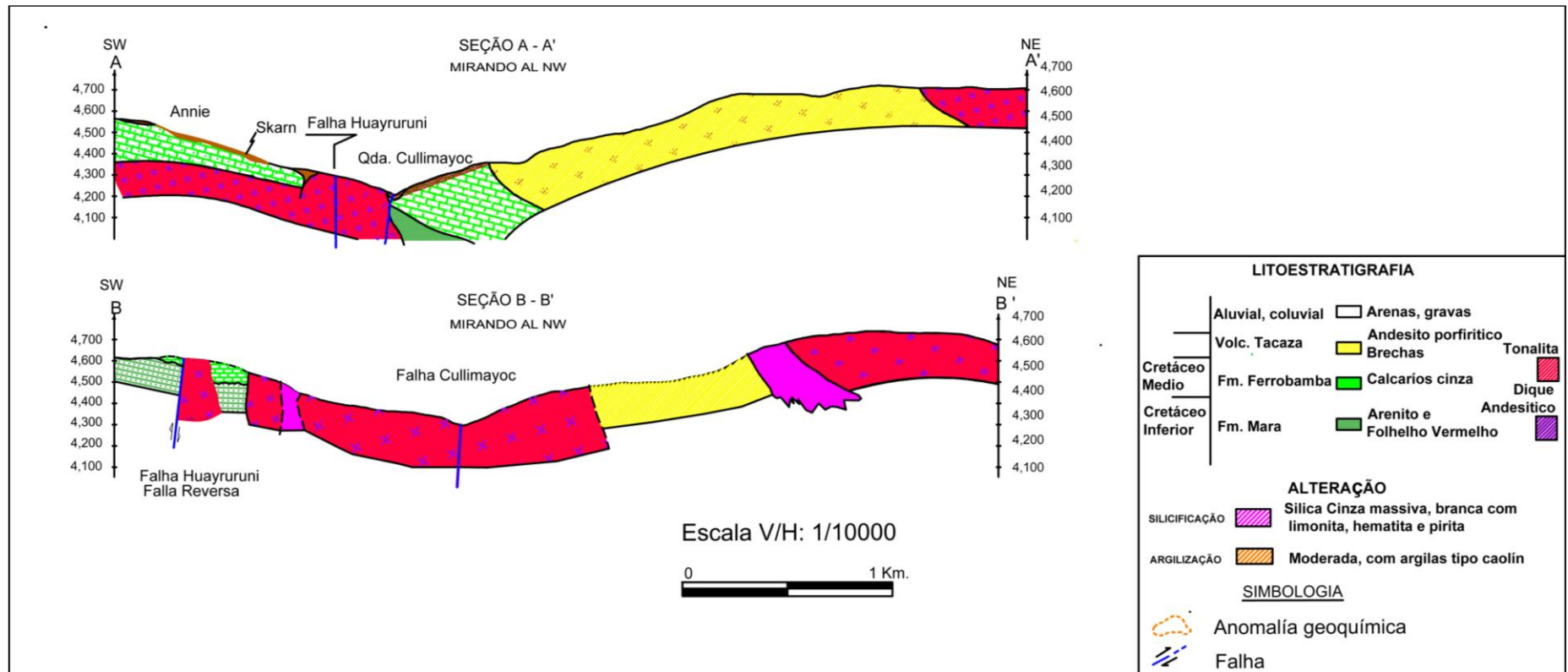


Figura 5.7. Seção transversal ao depósito de skarn Chama, Fonte: Modificado de Sanchez, 1995.

O estudo de detalhamento das falhas buscou caracterizar o sistema de falhas sin-mineralização, que ocorre ao longo do contato SW da intrusão tonalítica, e a Zona de Falha Huayruruni. Para tal, a partir de falhas mesoscópicas de superfície, ao longo da falha que controla as ocorrências de mineralização (contato SW do tonalito) foram coletadas 16 medidas representativas do sistema sin-mineralização NE. Para a falha Huayruruni (Figura 5.7) coletou-se sobre a zona central do traço da falha 12 medidas de falhas e respectivas estrias, representativas deste sistema NW (Figura 5.6).

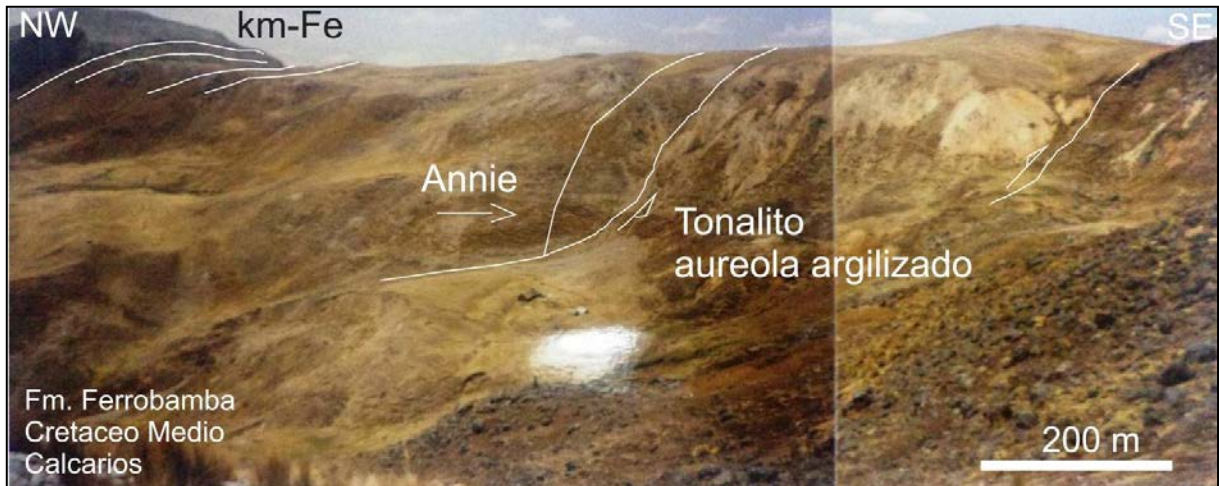


Figura 5.8. Vista olhando para NE. Observa-se o corpo central mineralizado Annie, seguindo direção NE-SW, ao longo do contato tonalito e a Formação Ferrobamba ocorre argilização.

As falhas que controlam as mineralizações (Figura 5.8), correspondem a um sistema de direção NE com atitude preferencial de $N30^{\circ}E/65^{\circ}SE$ e são relacionadas com estágio sin-mineralização (ROBERT e POULSEN, 2001).

O corpo de tonalito faz parte da suíte intrusiva do Batólito de Abancay e gerou mineralizações do tipo metassomatismo de contato (PALACIOS, 1995) formando skarn de Fe-(Cu-Au-Ag), com ascensão hidrotermal com mineralizações associadas com falhas (Figura 5.9) que se encontram nas cotas de 4700 m (SANCHEZ, 1995).

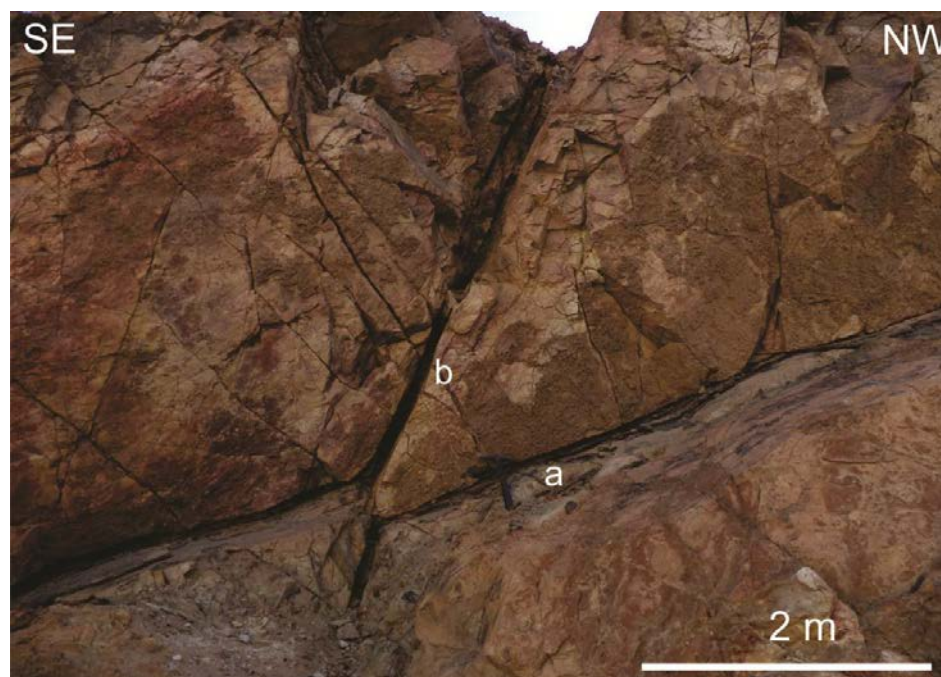


Figura 5.9 Observando ao Sul. Afloramento de tonalito afetado pela falha contemporânea com quartzo nos planos de a) $N30W/45SE$ cortado por b) $N30E/60SE$ Fonte: Este trabalho.

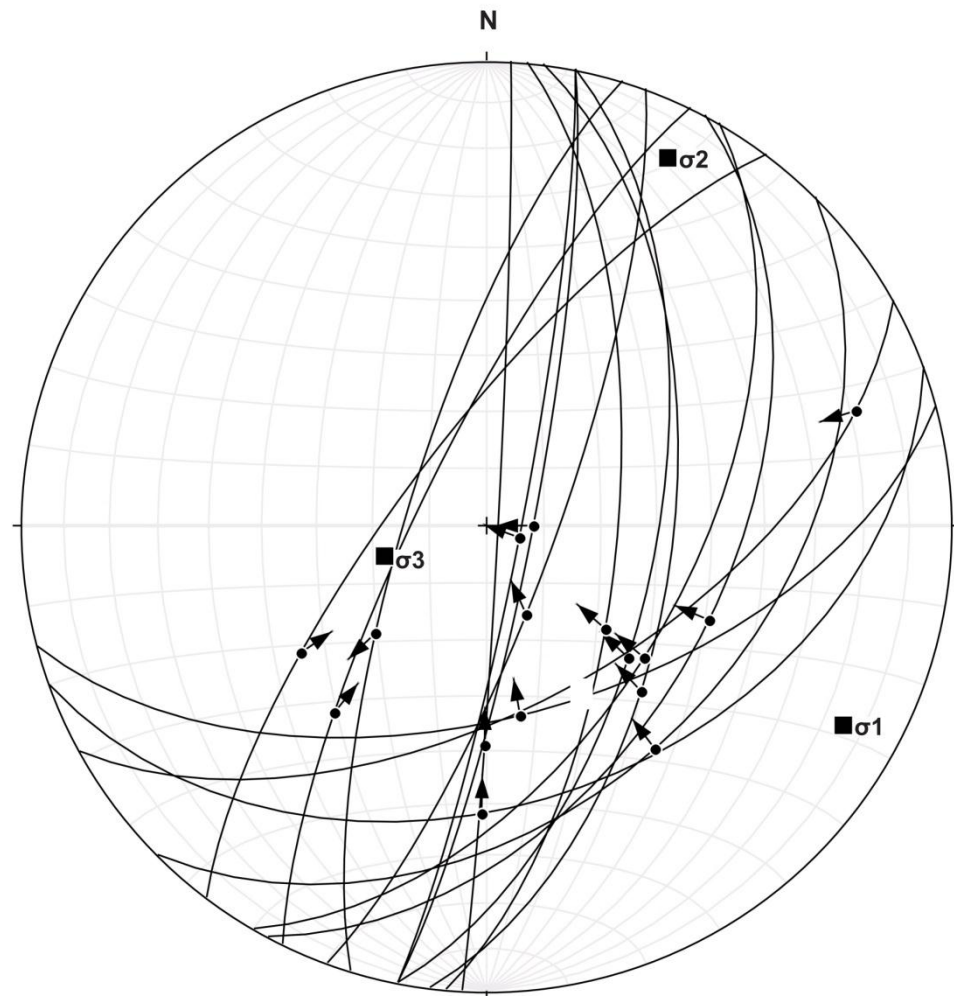


Figura 5.10 Projeção estereográfica de 16 medidas da falha do sistema NE, sin-mineralização, com indicação dos eixos principais de paleotensão σ_1 , σ_2 e σ_3 ; dados plotados estão listados na tabela do Anexo 1. Rede equiárea, hemisfério inferior.

As estrias apresentam predominância de alta obliquidade e os indicadores cinemáticos evidenciam movimentação reversa. A análise de paleotensores para essas falhas indica atitude subvertical para σ_3 ($253^\circ/71^\circ$) e subhorizontal para σ_2 ($026^\circ/12^\circ$) e σ_1 ($119^\circ/13^\circ$), definindo um sistema contracional com compressão principal na direção WNW-ESE, com o caráter predominantemente reverso, com pequena componente sinistral (Fig. 5.10).

Considerando-se o conhecimento tectônico regional e que o corpo tonalítico deve corresponder ao segundo estágio de intrusão do Batólito de Abancay (40 a 32 Ma., PERELLO et al., 2003), é provável que esse sistema compressivo obtido para as falhas sin-mineralização seja correlacionável à fase compressiva Incaica III (30 Ma – 27 Ma) (ver Fig. 5.28).

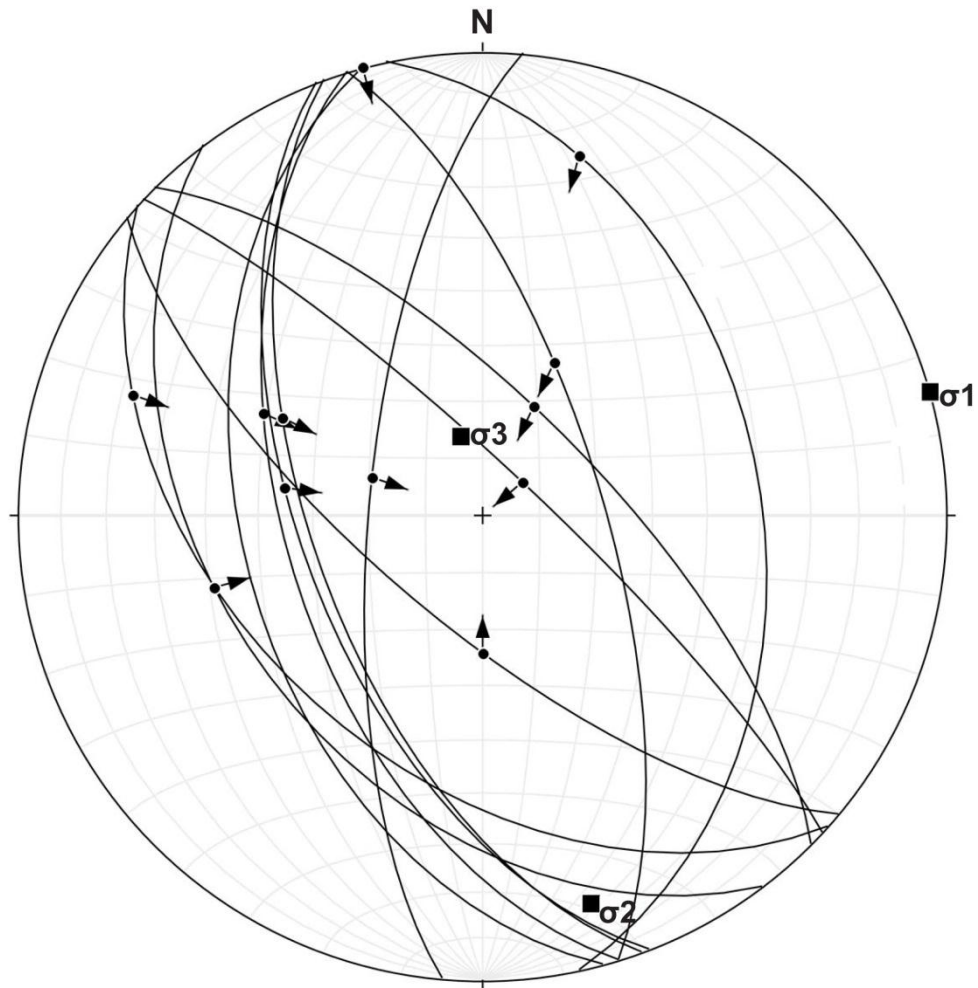


Figura 5.11. Projeção estereográfica do sistema de falhas Huayruruni NW Pós-mineralização, com indicação eixos de esforço σ_1 , σ_2 e σ_3 . Número de falhas plotadas: 12. Rede equiárea no hemisfério inferior.

Para o sistema de Falhas Huayruruni as medidas obtidas na porção central do traço de falha (pontos indicados na Figura 5.6) evidenciam direção preferencial N40°W e mergulhos que variam de 60 a 70° dominantemente para SW, em geral com estrias com obliquidade maior que 45° (Figura 5.11). A análise de paleotensores para essas falhas fornece σ_3 sub-vertical (344°/75°), e σ_2 (164°/14°) e σ_1 (074°/horizontal) sub-horizontais marcando uma movimentação essencialmente reversa com vergência para NE, acompanhada de pequena componente sinistral.

Os resultados obtidos para o sistema Falhas Huayruruni corroboraram a interpretação de Bravo (1985) que, com base no deslocamento das unidades estratigráficas, interpretou essa falha como reversa.

5.2.2. Setor Cocorpiña

A área do setor Cocorpiña se encontra na parte meridional da zona de estudo (Figura 5.2), entre os Cerros Pisco Orjo e Tajra, apresenta lineamentos de direção transversal NE. No mapa foram aproveitados os dados de Abril (2000) relacionados com a porção central da área, além disso, nosso trabalho através do mapeamento geológico completa a geologia da zona norte.

O substrato é conformado por calcários da Formação Ferrobamba, com camadas de atitude N40W/20NE, intrudidos pelo diorito de caráter porfirítico, localmente sobrepostos por coberturas sedimentares recentes. A intrusão do corpo diorítico provavelmente aproveitou antigas zonas de fraqueza. Posteriormente ocorreu a intrusão do dacito porfirítico que produziu uma auréola de alteração à qual se associa a mineralização de cobre disseminado (Figura 5.12).

A principal estrutura da área é a falha Pisco com direção preferencial de N45E e mergulhos que variam de 60 a 65 para SE. Apresenta extensão de 1000 m (Figura 5.12), cortando o stock diorítico e controla na porção central desse corpo uma rocha hipoabissal que corresponde ao dacito porfirítico. Trata-se de um dacito de tom cinza escuro, textura porfirítica de grão médio com 60% de plagioclásio de 2-4 mm, 2% de turmalina de 2-3 mm, 10% de quartzo anhedral a subhedral de 2-3 mm, 10% de hornblenda, 5% de biotita e 20% grãos de piroxênio de 2 mm.

Associado a esse dacito ocorre uma alteração filica (quartzo-sericita), com presença de vênulas de quartzo 3-5 mm tipo stockwork, dentro de uma auréola desenvolvida e associada contemporaneamente e distribuído no corpo de dacito porfirítico, com seu eixo maior NE de 140 m e eixo menor NW de 120 m.

Para caracterização da falha Pisco foram obtidos registros de 23 medidas de planos de falha e respectivas estrias ao longo do traço da falha na zona mineralizada (Figura 5.12).

As falhas com orientação paralela ao corpo de dacito (NE) que gerou o halo mineralizado são interpretadas como relacionadas ao estágio de deformação sin-mineralização. Já as falhas que cortam essas estruturas são interpretadas como pós-mineralização.

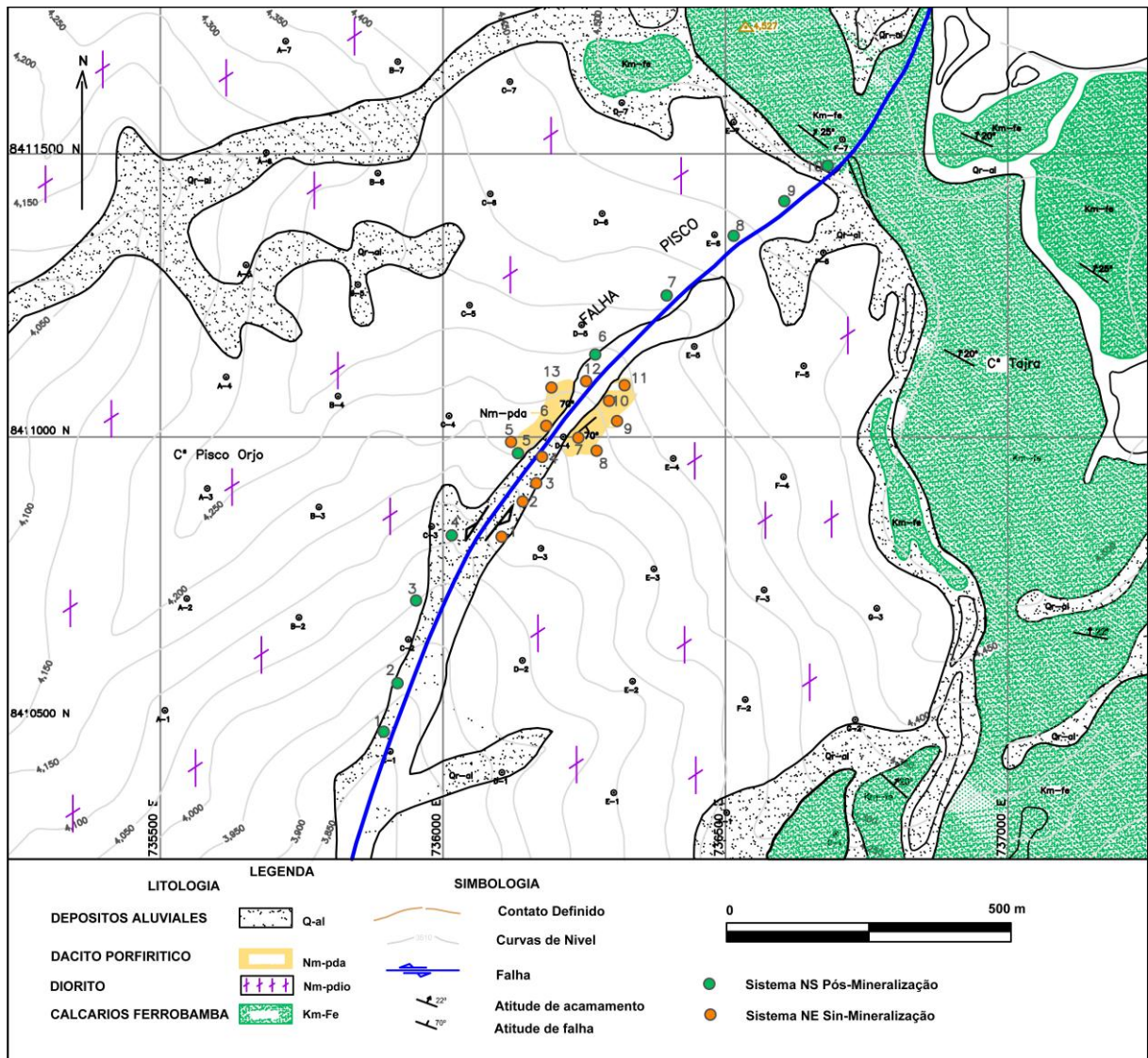


Figura 5.12. Mapa Geológico do prospecto Cocoripá escala 1/5000 tomado de Abril (2000), modificado por este trabalho. Os pontos indicam os locais de coleta das medidas de falhas.

Em relação ao estágio sin-mineralização coletamos 13 medidas e para a fase pós-mineralização, 10 medidas.

A direção preferencial para falhas sin-mineralização apresenta atitude N20E/60SE. A determinação dos paleotensores feita para as 13 medidas ao longo da falha Pisco (Figura 5.13) indica posição subvertical para σ_3 (256°/69°) e subhorizontal para σ_2 (16°/10°) e σ_1 (110°/17°), correspondendo a falhas essencialmente inversas com vergência para NW.

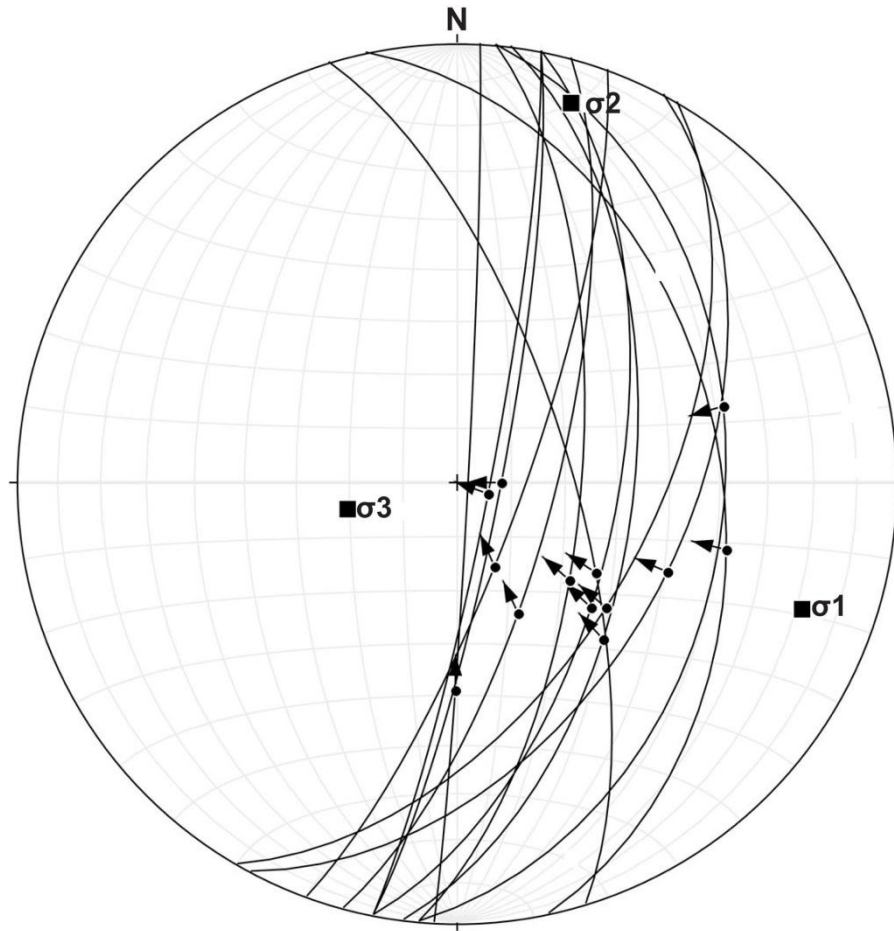


Figura 5.13. Projeção estereográfica das falhas sin-mineralização, medidas ao longo do traço da falha Pisco com indicação dos eixos de esforço σ_1 , σ_2 e σ_3 . Número de medidas: 13. Rede equiárea, hemisfério inferior.

A intrusão diorítica é relacionada ao segundo estágio de intrusão do Batólito de Abancay (40 a 32 Ma., PERELLO et al., 2003), o que sugere que para a movimentação das falhas sin-mineralização pode-se interpretar idade menor ou igual ao segundo estágio da intrusão do Batólito de Abancay. Posteriormente estas estruturas são cortadas por falhas normais na direção N20°E-S20°W (Figura 5.14) e provavelmente relacionadas à fase compressiva Incaico III TC_{E-W} (30 - 27 Ma), Noble (1998) e Benavides-Cáceres (1999).

Também é possível que parte dessas falhas sejam devidas à reativação das falhas reversas.

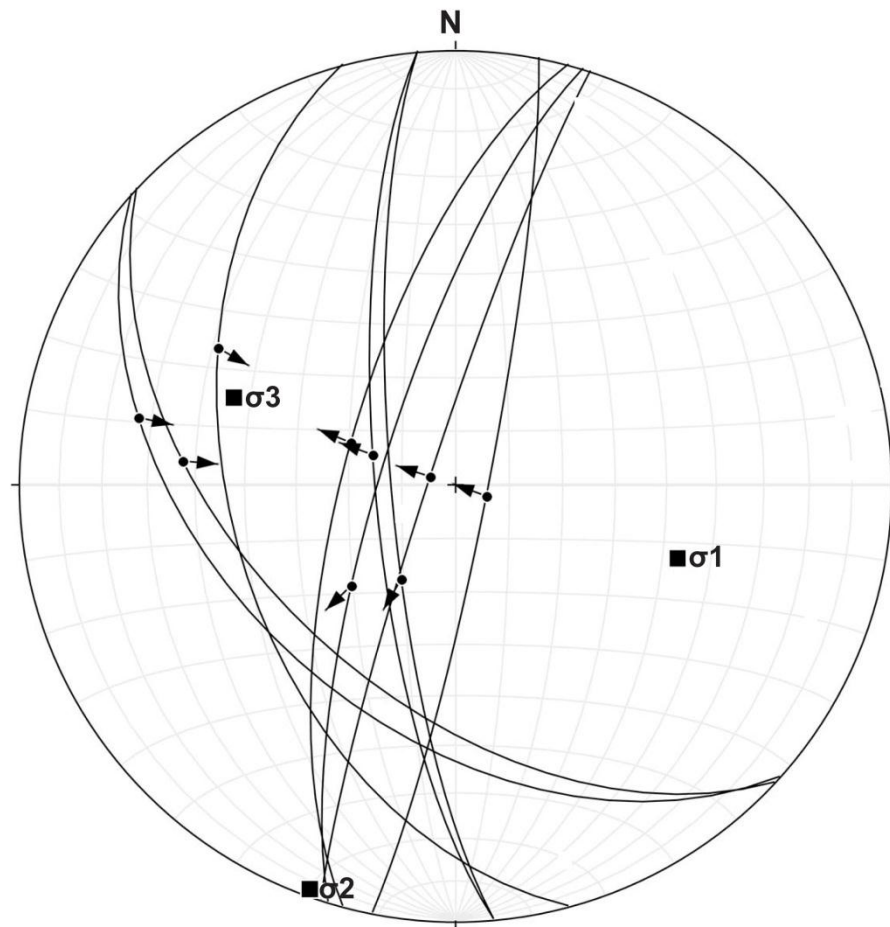


Figura 5.14. Projeção estereográfica de planos de falhas Pós-mineralização e respectivas estrias medidas nas proximidades da falha Pisco. São indicados eixos calculados para o paleotensor (σ_1 , σ_2 e σ_3). Número de medidas: 10. Rede equiárea, hemisfério inferior.

Obtivemos 10 medidas de falhas, ao longo do traço da falha Pisco, representativas do sistema pós-mineralização e com suas respectivas estrias (Figura 5.14). A análise de paleotensores mostra esforço principal na vertical, σ_1 ($108^\circ/45^\circ$), eixo modelado de extensão; e eixo intermediário σ_2 ($199^\circ/01.7^\circ$) e σ_3 ($291^\circ/44^\circ$), eixo de encurtamento, ambos aproximadamente sub-horizontais. (Figura 5.14), definindo um regime essencialmente distensivo, com uma movimentação essencialmente normal.

Os dados coletados para as falhas revelam uma movimentação reversa para o período sin-mineralização, configurando regime tectônico compressivo de direção WNW (Figura 5.13), e cinemática predominantemente normal para as falhas pós-mineralização, caracterizando sistema distensivo com extensão principal na direção WNW (Figura 5.14).

Além das falhas sin e pós-mineralização, também foram identificados alguns planos de falha N10W/70SW com movimento destal, que se encontram limitados por outras falhas de direção NNW, subverticais, com estrias de baixo ângulo e movimento sinistral. Entretanto, não se registrou deslocamento relativo entre estes dois conjuntos e tampouco sua relação temporal com as falhas sin e pós-mineralização descritas acima. Podem representar pares conjugados associados a sistema compressivo de direção aproximadamente NNW, ou estruturas reativadas.

5.2.3. Setor Huaychulo

A jazida Huaychulo ocorre nas imediações da linha de cume do Morro Alpamarca (Figura 5.2). O mapa geológico na Figura 5.15, baseado em Carpio (1997), mostra a distribuição litoestratigráfica, conformada por calcários da Formação Ferrobamba que são intrudidos por um stock de diorito porfirítico associado ao segundo estágio (40-32 Ma) das intrusões do Batólito de Abancay.

As camadas de calcário que apresentam orientação preferencial de atitude N30W/20NE, são intrudidas pelo diorito controlado por falha no contato W, que por sua vez hospeda um corpo minério.

O corpo mineralizado apresenta na porção central uma alteração tipo silicificação semipervasiva de substituição no calcário na Figura 5.15.

No setor Huaychulo a falha reversa de direção N-S, controla o processo de hidrotermalização na zona de contato com o diorito. Gerou um corpo mineralizado rico em ferro, de 250 m de comprimento por 50 m de largura ao longo da falha N-S (Figura 5.15). É constituído por magnetita, goetita e hematita especular, produzido a partir da intrusão diorítica relacionada a processo metassomático.

O corpo mineralizado se encaixa nos calcários com teores de 1924 ppm Cu, 224 ppb Au e 109 ppm Zn (CARPIO, 1997).

No setor Huaychulo a principal estrutura é uma falha que tem direção N05°E e mergulha 75° para SE, mostra dois movimentos definidos: primeiro um normal destal e segundo um movimento reverso sinistral.

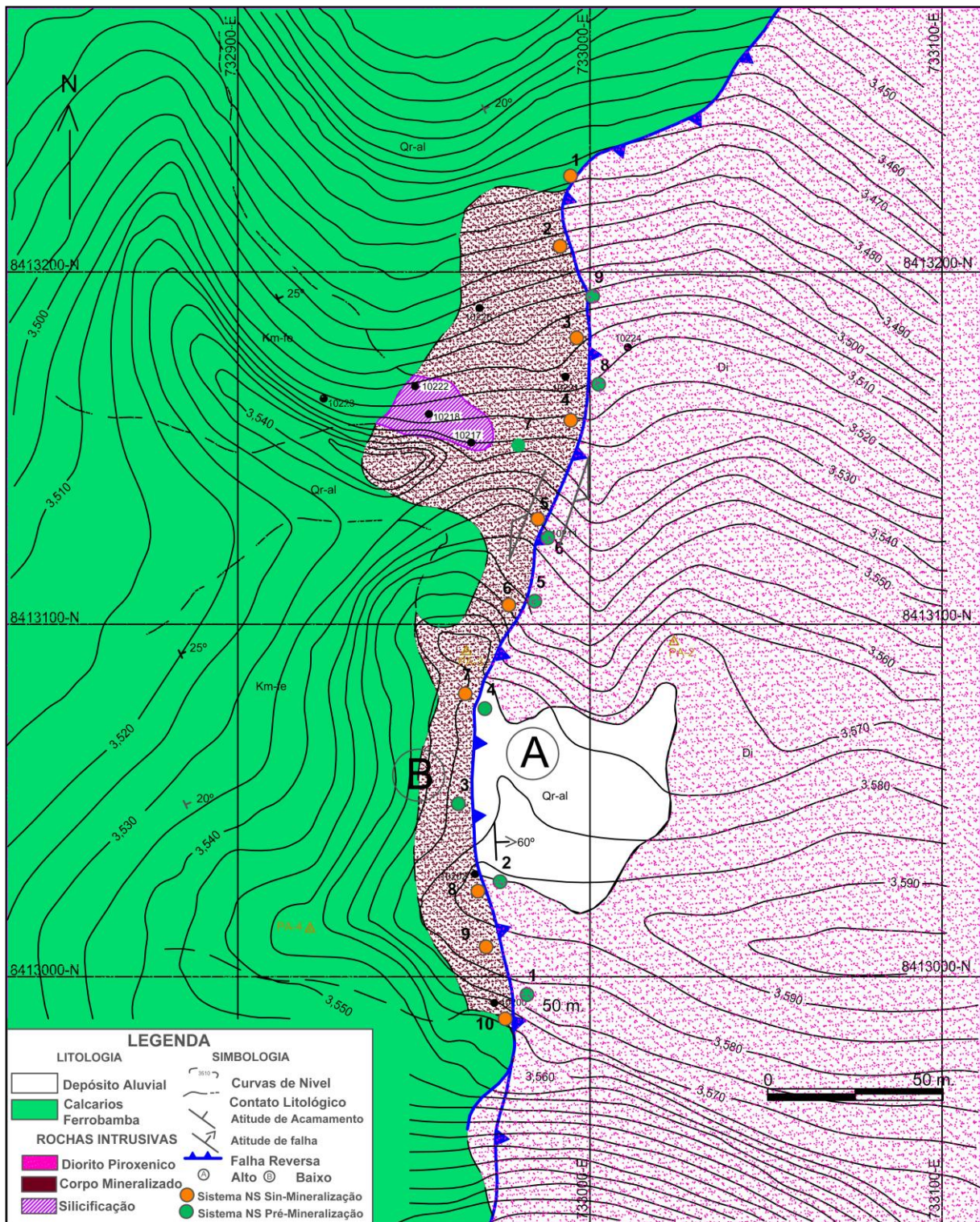


Figura 5.15. Mapa Geológico do prospecto Huaychulo a escala 1/1000, tomado de Carpio (1997), adaptado por este trabalho.

As falhas relacionadas com a o estágio pré-mineralização apresentam direção preferencial de atitude N5W/60SW.

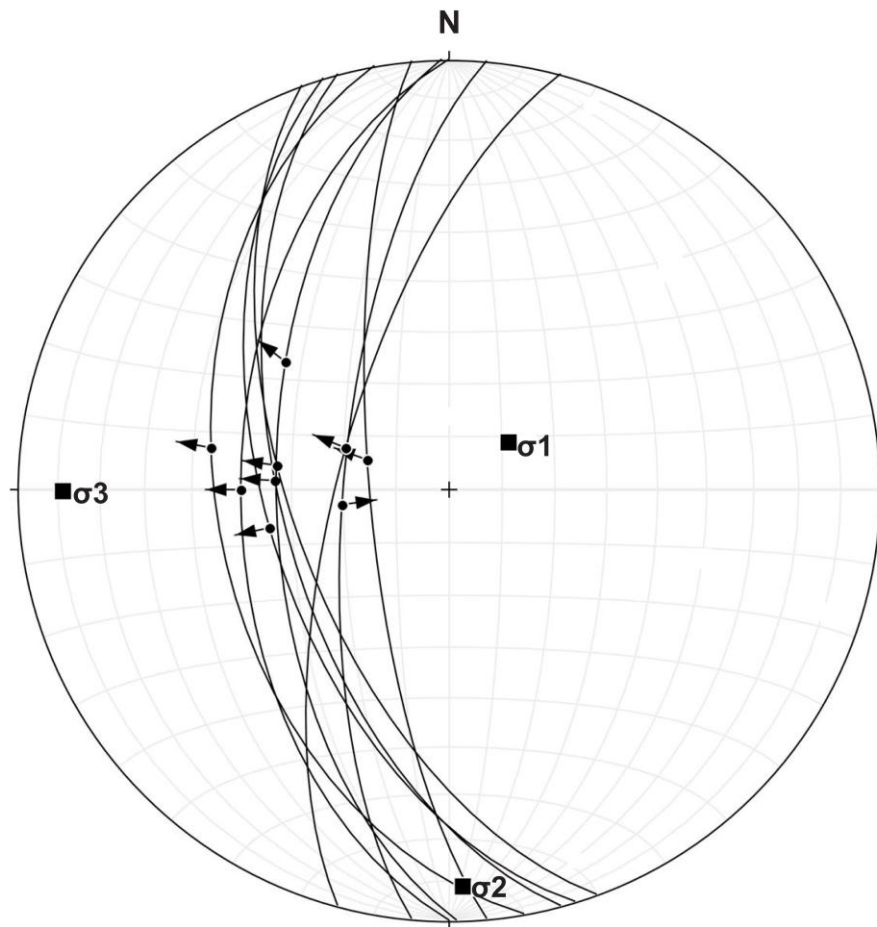


Figura 5.16. Projeção estereográfica da falha NS pré-mineralização com indicação eixos de esforço σ_1 , σ_2 e σ_3 . Número de medidas: 9. Rede equiárea, hemisfério inferior. Jazida Huaychulo.

Para o estágio pré-mineralização, se obteve 9 medidas de falhas normais ao longo do seu traço, associado a estruturas de falha na direção N-S em domínio extensivo sin-intrusão do corpo diorítico e não apresentam relações da textura interna ao longo das falhas o que assume uma relação espacial com a geração da falha durante a intrusão e o estágio pré-mineralização, (Figura 5.16). A análise de paleotensores (Allmendinger, 2014) mostra os eixos de esforços principais: σ_1 subvertical ($50^\circ/75^\circ$), σ_2 ($178^\circ/08^\circ$) e σ_3 ($269^\circ/11^\circ$) sub-horizontais (Figura 5.16), definindo um regime de extensão na direção $83^\circ/44^\circ$ perpendicular ao plano σ_1 - σ_2 , relacionado com uma movimentação normal, com pequena componente dextral, correspondendo a uma extensão E_{E-W} .

Os dados estruturais para o estágio sin-mineralização foram coletados ao longo da falha N-S, totalizaram 10 medições de planos de falha NNE (pontos indicados na Figura 5.15), com respectivas estrias.

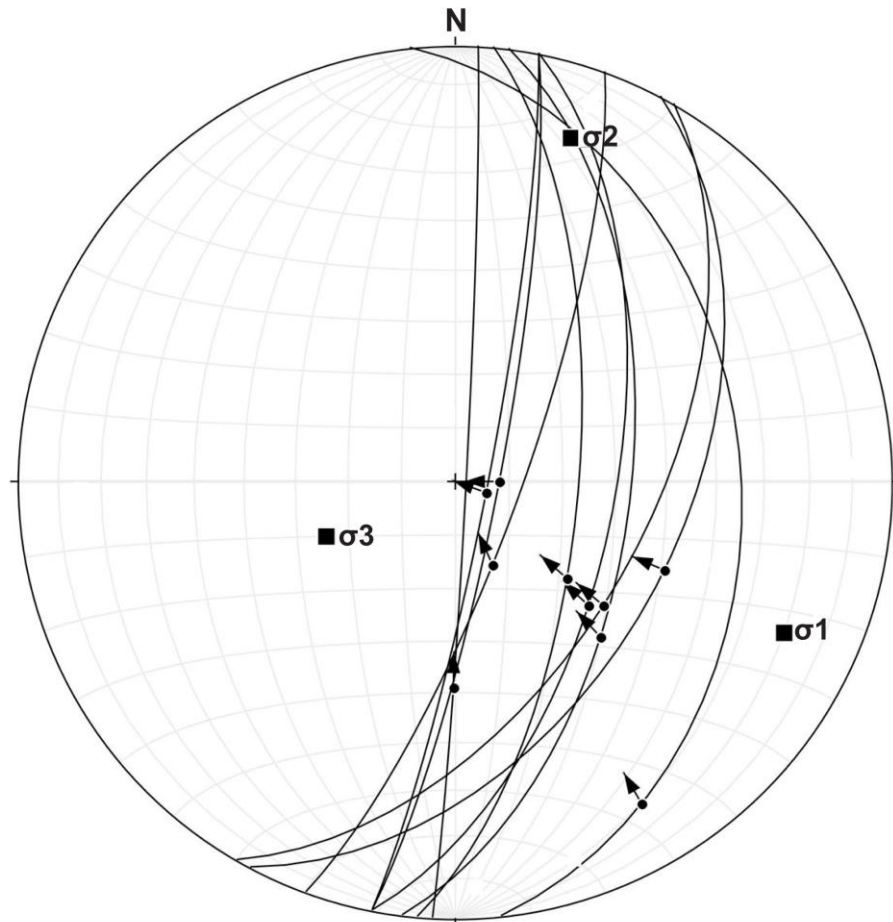


Figura 5.17. Projeção estereográfica da falha NS sin-mineralização com indicação eixos de esforços σ_1 , σ_2 e σ_3 . Número de medidas: 10. Rede equiárea, hemisfério inferior. Jazida Huaychulo.

As falhas sin-mineralização apresentam direção preferencial de atitude N20E/60SE. A análise de paleotensores para as falhas sin-mineralização fornece eixo de menor esforço na vertical, σ_3 ($247^\circ/63^\circ$), eixo de maior esforço σ_1 ($114^\circ/18.5^\circ$) sub-horizontal e eixo intermediário sub-horizontal, σ_2 ($18^\circ/18^\circ$) (Figura 5.17). Configura-se assim um estágio de regime compressivo de direção WNW, com estrias de alta obliquidade marcando movimento essencialmente reverso, com pequena componente sinistral e com vergência para NW.

Ademais se consideramos o conhecimento tectônico regional, o diorito deve corresponder ao segundo estágio de intrusão do Batólito de Abancay (40 a 32 Ma., PERELLO et al., 2003) e, por isso, é provável que esse sistema compressivo obtido

Para as falhas sin-mineralização seja correlacionável à fase compressiva da orogenia Inca III, a fase TC_{E-W} (30 - 27 Ma) (ver Figura 5.26) de Benavides-Cáceres (1999). A presente fase compressiva se associa com encurtamento na direção E-W,

(Figura 5.15). Em relação espaço tempo, e a direção da aureola ao contato sugere-se uma compressão E-W pós-intrusão, refletida nos eixos de dobras N-S das rochas calcárias ao noroeste Figura 5.2.

5.2.4. Setor Mollebamba

Localizado na porção sudoeste da área de estudo (Figura 5.2) nesse setor ocorrem sequências alternadas de folhelhos e limonitas pretas da Formação Chuquibambilla do Jurássico superior, sobrepostas discordantemente pelos arenitos das Formações Gramadal e Mara do Cretáceo Inferior, seguidos por calcários e margas da Formação Ferrobamba do Cretáceo Médio. A sudeste do povoado de Mollebamba ocorre um stock diorítico encaixado em rochas da Fm. Gramadal. Na porção sul da área, no Cerro Arpa Orjo, tem-se um pluton de granodiorito, todas essas rochas intrusivas correspondem ao segundo estágio de intrusões do Batólito de Abancay ao Oligoceno, entretanto Llosa et al. (2013) data o granodiorito em 29,88 Ma, que por sua vez é intrudido pela rochas hipoabissais do monzonito que alberga mineralizações de tipo cobre porfíritico, encaixado nas rochas da Fm. Labra. As sequências sedimentares e as rochas intrusivas são cobertas discordantemente pelas rochas vulcanoclásticas compostas pelas lavas andesíticas do Grupo Tacaza. Ao longo das drenagens principais ocorrem coberturas aluvionares recentes (Figura 5.18).

Quanto à geologia estrutural, destaca-se a Falha Mollebamba, de atitude N60W/75SW que desloca os estratos das rochas sedimentares, colocando o topo da Fm. Gramadal em contato com as o topo da Fm. Mara (Figura 5.18). Em função desse deslocamento e da presença de estrias sub-horizontais essa falha é interpretada como essencialmente sinistral Pecho (1981).

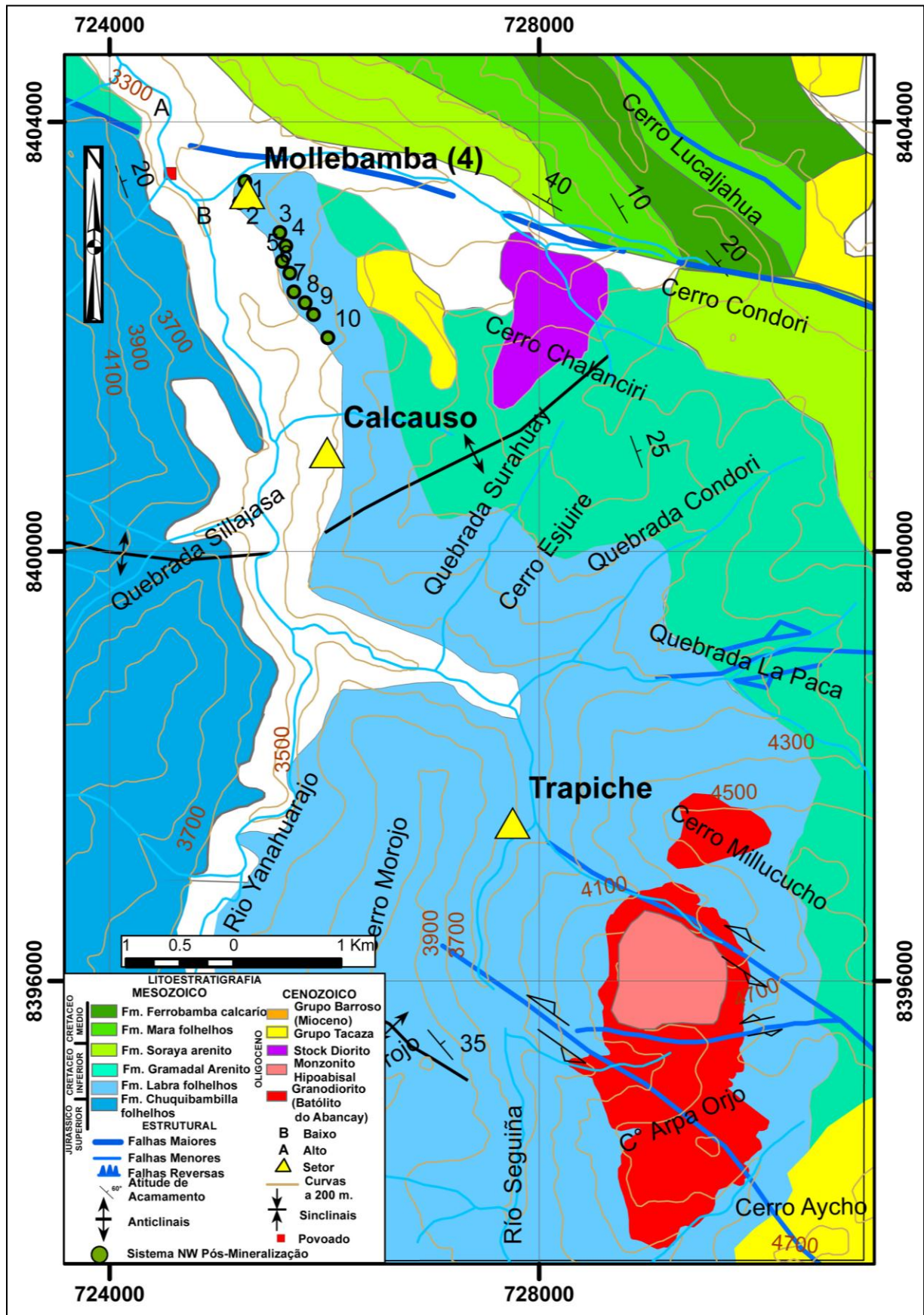


Figura 5.18 Mapa geológico do setor Mollebamba, mostrando o corpo de granodiorito associado com rochas hipoabissais com mineralização de tipo cobre porfírico.

Falhas menores, também sinistrais, são registradas nas proximidades do pluton granodiorítico e uma falha destal é encontrada a leste de Trapiche Casaverde (2004). Na região de Calcauso é conhecida uma ocorrência de mineralização, bem restrita, associada com vênulas decimétricas de sílica cinza maciça, de diferentes orientações, encaixadas nos folhelhos da Fm. Chuquibambilla.

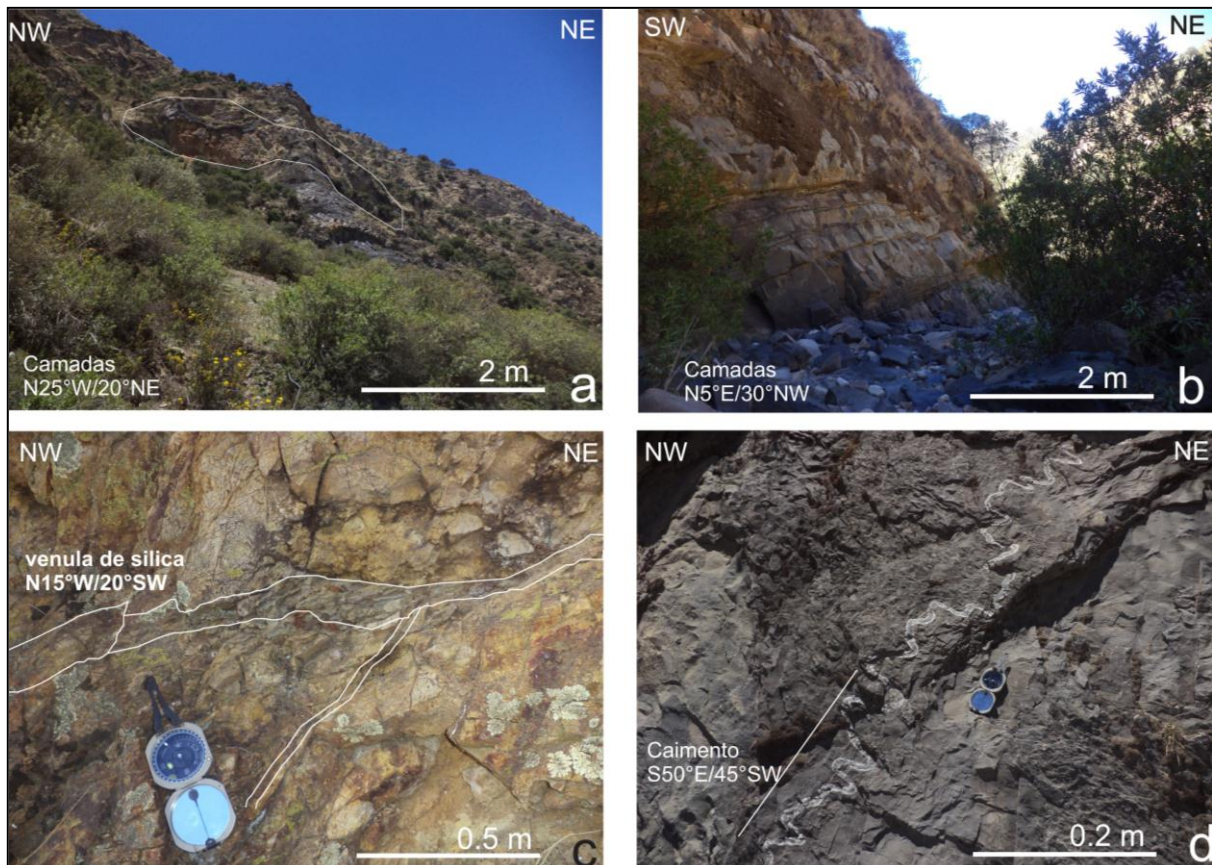


Figura 5.19. Afloramentos de folhelho da Formação Chuquibambilla relacionados com uma ocorrência de mineralização em forma de vênulas de quartzo dessimétricas no ponto Calcauso. a) afloramentos com oxidação do ferro, b) estratos do arenitos (rochas de caixa) da Formação Labra Cretáceo Inferior. c) granodiorita com silicificação pervasiva em vênulas, d) vênulas de cuarzo sinuoso corresponde a etapas tempranas de intrusão do ambiente.

Para a caracterização das falhas mesoscópicas na região de povoado de Mollebamba, foram coletadas medidas de 10 falhas (pontos indicados na Figura 5.18) com vênulas de calcita e quartzo leitoso interpretadas como pós-mineralização posto que não apresenta evidência de óxidos de fe e sílica, o que si é observado no ponto Calcauso como uma ocorrência tipo sin-mineralização, outro aspecto e que a calcita se apresenta preenchendo fraturas o que evidência su relação temporal tardío com respecto ao sistemas hidrotermales próximos tipo Trapiche.

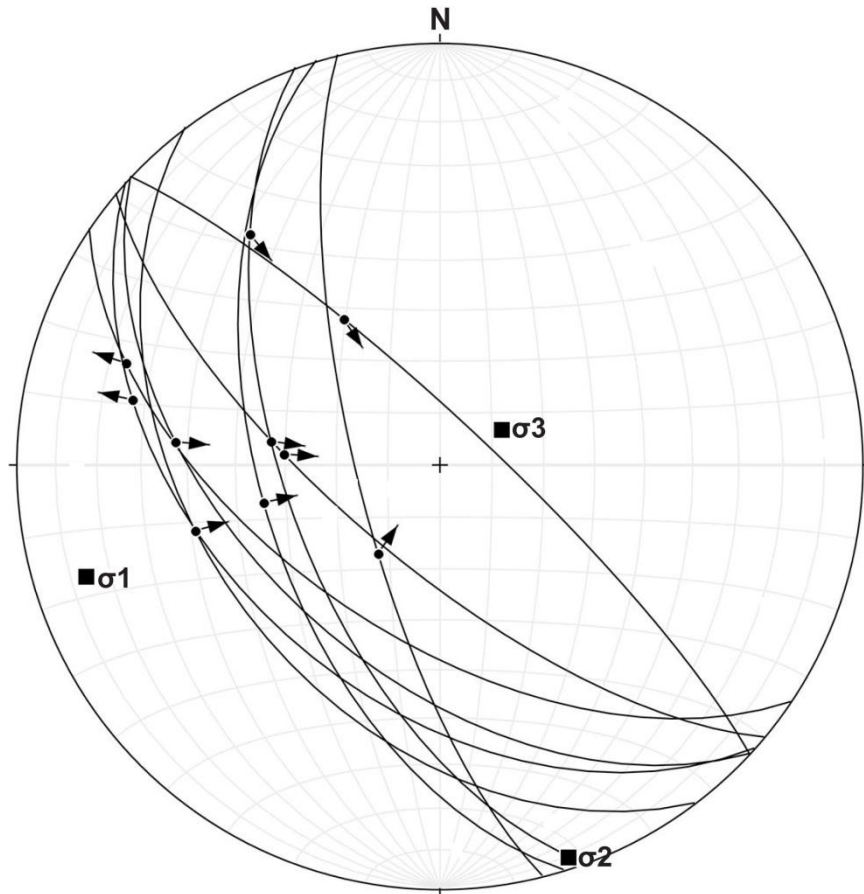


Figura 5.20. Projeção estereográfica da falha NW pós-mineralização com indicação eixos de esforço σ_1 , σ_2 e σ_3 . Número de medidas: 10. Rede equiárea, hemisfério inferior. Setor Mollebamba.

As falhas pós-mineralização mostram atitude preferencial N55W/65SW com estrias oblíquas a de mergulho e indicadores cinemáticos mostrando movimentação sinistral reversa.

A análise cinemática mostra a direção de esforço σ_3 subvertical ($59^\circ/76.4^\circ$), eixo intermediário σ_2 horizontal ($161^\circ/03^\circ$) e σ_1 também sub-horizontal ($252^\circ/13^\circ$). Definindo um sistema compressivo na direção WSW com estrias e degraus marcando movimentação predominantemente sinistral reversa e vergência para NE (Figura 5.20).

A relação da geologia estrutural até sul o falhamento dominante apresenta i) sistema Andino NW-SE considerado o mais importante tem direção andina N65°W e apresenta em corredores movimento sinistral (item 5.1.3.1) ii) o falhamento andino vai gerar um regime extensivo tensional N45°E e N-S, que vá ser aproveitado por intrusões com aporte do fluidos mineralizantes (Figura 5.18).

O que evidencia uma movimentação de inversão no bloco sul, em quadrado em falhas de tercer ordem com respecto ao traço da falha Mollebamba, próximo na Qda. Millucucho (Figura 5.18).

O segundo no ponto Trapiche sequências sedimentares são intrudidas pelo stock granodiorítico alongado em 3 km na direção N-S, relacionado com falhas NW que controlam rochas hipoabissais com actividad hidrotermal entre 29.17 ± 0.39 até 28.53 ± 0.27 Llosa et al. (2003) Figura 5.18, o que sugere reactivação para Oligoceno sobre um domínio extensional que será aproveitado pelo plutonismo do corpos isolados que correspondem a segundo estágio de intrusões do Batólito de Abancay.

No setor trapiche Casaverde (2004) registra estruturas com estrias, obtendo resultado para 4 eixos de compressão principais: $N120^{\circ}$ - 150° , $N175^{\circ}$, $N40^{\circ}$ - 60° y $N85^{\circ}$. Das relações espaciais e temporais obtidas em terreno deduzimos que o primeiro eixo de deformação registrado nas estrias do $N120^{\circ}$ - 150° , que só afeta a rochas sedimentares presente na zona.

Além disso, em falhas e vênulas com mineralização se registram estrias que amostram um eixo de compressão $N175^{\circ}$ E, também medidas registradas em stockwork e sheeting de vênulas preenchidas com quartzo e sulfetos Casaverde (2004).

Estas estruturas e estrias são cortadas por outras que apresentam um eixo de compressão $N40^{\circ}$ - 60° E que se observam tanto em falhas presentes no Batólito de Andahuaylas-Yauri como em as rochas sedimentares.

Finalmente se têm estrias correspondentes ao eixo compressão $N85^{\circ}$ E que cortam todas as de mais estrias mencionadas.

Em *Trapiche* observam-se sistemas de falhas com direções: N-S, $N120^{\circ}$ - 150° E, $N40^{\circ}$ - 60° e E-W. Também vênulas com mineralização, de direção predominante N-S paralelo ao eixo maior do stock intrusivo, além disso, segundo os estudos Geofísica de MAG Llosa et al. (2013), definem os lineamentos estruturais dominantes E-W e NW-SE que se corrobora com as traças de falha em superfície com presencia de mergulhos íngremes para Este (Figura 5.18).

O movimento da falha andina NW geraria as falhas de distensão N-S associado a falhas compressivas conjugadas E-W, que seriam substituídos por material hidrotermal estendendo-se a partir da zona de contato desde as camadas, o que antecede ao evento de ascensão de soluções hidrotermais e o evento

compressivo E-W (Figura 5.18). Posterior ao evento compressivo Inca III (30 - 27 Ma) de Benavides-Cáceres (1999) (Figura 5.26). Esta fase pode ser relacionada com o evento do encurtamento NE e E-W que sugiro Soulas (1977) no centro do Perú.

O setor Mollebamba apresenta uma relação do espessamento crustal, por sua vez na região ao sul da Deflexão de Abancay (Figura 3.3), indica uma zona de debilidade estrutural que é relacionada com o contato do Alojamento do Batólito de Abancay (Figura 6.1), que apresenta uma faixa estrutural ao longo do traço da falha Mollebamba Marocco (1978) de domínio extensivo ao longo do sul da região que é apropriado para o alojamento dos corpos porfiriticos referido a os paralelos 15°10' (Figura 6.2).

Segundo os trabalhos de Fukao (1999) e Mamani (2009) a reposta das medições de pontos da gravidade, para o setor em estudo fica enquadrada dentro de valores de 0 – 150 mGal de anomalias transicionais proporcional ao engrossamento da crosta de 30 a 60 km, o que é apropriado para hospedar corpos porfiriticos segundo as condições estruturais do (RICHARD, 2003, p.1515).

5.2.5. Setor Santo Domingo

O setor Santo Domingo se situa no extremo sudeste da zona de estudo (Figura 5.2), os trabalhos de campo foram direcionados para complementar as informações geológicas da área a partir do mapa geológico de Villegas (2000).

A geologia da área é representada por sequências vulcânicas e vulcano-sedimentares do Grupo Tacaza e Grupo Barroso do Mioceno, que se sobrepõem às sequências sedimentares cretácicas, representadas pelas Formações Soraya, Mara e Ferrobamba. Na porção nordeste da área ocorrem diques de andesito cortando rochas do Grupo Barroso.

Observam-se dois sistemas principais de falhas direcionais principais: a Falha Mollebamba, de direção WNW, e a Falha Huamancharpa, de direção NW (Figura 5.21). Estes dois sistemas se interceptam a oeste de C° Runa formando ângulo de 50° aproximadamente; Nas proximidades dessa região ocorrem diversas falhas de direção NE, de caráter normal, interpretadas como estruturas secundárias que acomodam a extensão associada aos sistemas direcionais. Essas falhas secundárias propiciaram a presença de um enxame de veios mineralizados (CANDIOTTI,1985).

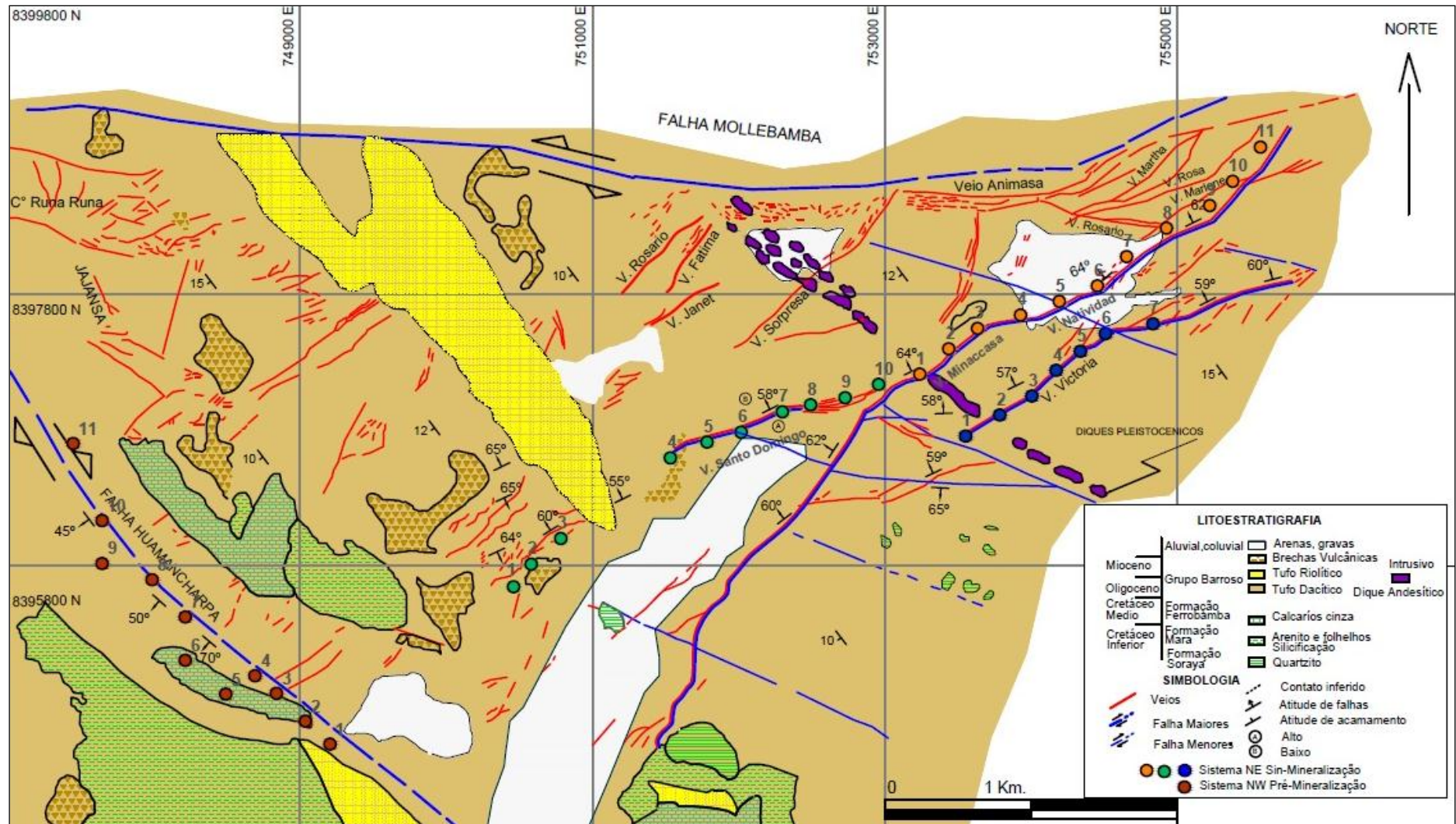


Figura 5.21. Mapa Geológico da zona mineralizada de Santo Domingo, segundo Villegas (2000), adaptado por Mamani, (2012). Mostra as principais falhas (em azul) e os diversos veios e fraturas mineralizadas (em vermelho) destacando os veios Minacasa, Santo Domingo e Vitória, onde foram coletadas as medidas de falhas apresentadas e discutidas para esse setor.

Esta zona de extensão é definida por falhas normais de direção N45°E a N60E, que alojam veios, dentre os quais destacam-se os veios Minacasa, Santo Domingo, Victoria, Natividade, com espessura de até 2,5 m (Figura 5.21).

Os trabalhos se centraram nas estruturas denominadas Minacasa, Santo Domingo e Victoria, todos com predomínio na direção NE tipo fratura de extensão transandina NE, hospedadas em rochas vulcânicas do Grupo Barroso (Figura 5.21), posto que estas reportam maior importância da mineralização econômica (VILLÉGAS, 2000).

O veio Santo Domingo é localizado na porção central do setor com direção preferencial de N58°E e mergulho de 60° para NW. A falha que controla o veio Minacasa também se situa na porção central e tem uma atitude preferencial de N45E/65NW. O Veio Victoria se encontra no extremo nordeste do setor e apresenta orientação geométrica geral N35E/60NW, cortado por uma evidente falha de atitude N30W/60SW na porção nordeste Figura 5.21.

Foram medidos 39 planos de falhas principais e secundárias com estrias e considera-se a relação genética com respeito aos veios de quartzo que alojam.

Então as primeiras estruturas são relacionadas com a fase pré-mineral da zona em estudo determinando por 11 medidas ao longo da falha Huamancharpa. Relacionado com o estágio sin-mineralização foram coletados dados das falhas ao longo dos veios Santo Domingo, Minacasa e Vitoria.

Foram medidas 11 falhas com estrias ao longo da Zona de Falha Huamancharpa, com atitude preferencial N50W/60SW, que corresponde ao sistema de falhas NW que delimita a ocorrência dos veios de direção NE no bloco este, posto que tais veios não ocorrem no bloco oeste da falha. Além disso, ao longo do plano da falha não se identificou a presença da mineralização (Figura 5.21). Devido a essa configuração interpretamos a falha Huamancharpa como relacionada a um estágio pré-mineralização.

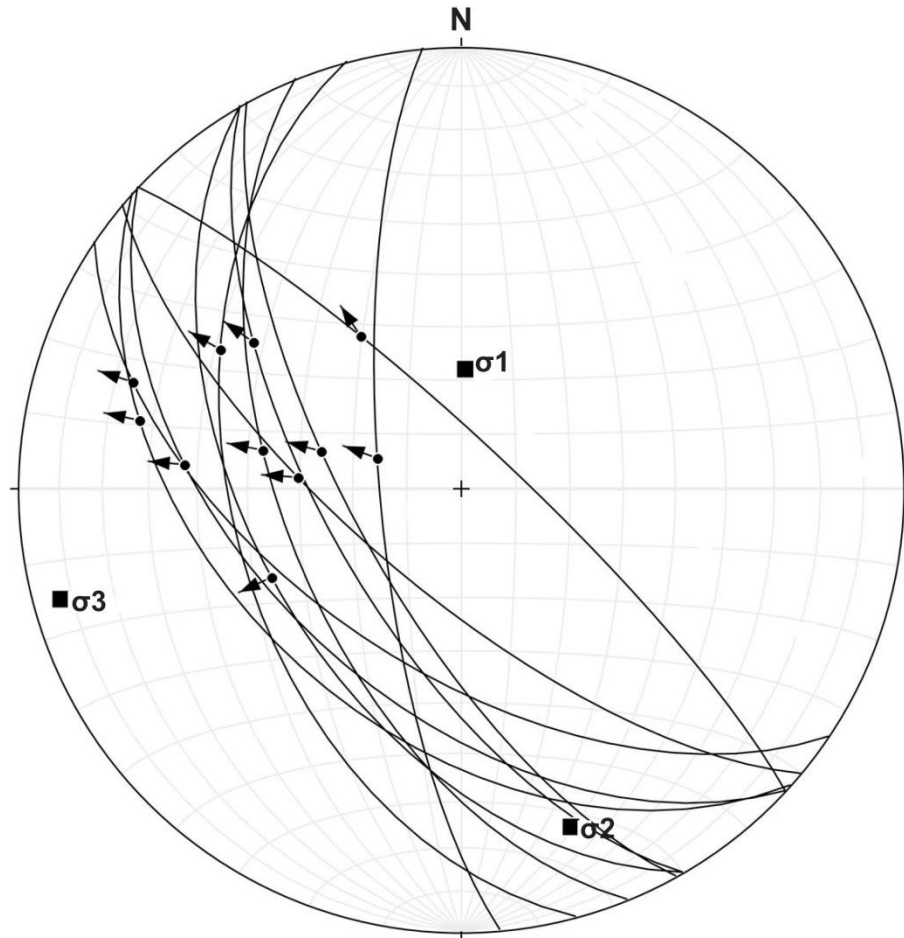


Figura 5.22. Projeção estereográfica das falhas NW pré-mineralização com indicação eixos de esforço σ_1 , σ_2 e σ_3 . Número de medidas: 11. Rede equiárea, hemisfério inferior. Jazida Santo Domingo.

O resultado da análise de paleotensores, apresentada na Figura 5.22, revela σ_1 ($1^\circ/67^\circ$) subvertical e σ_2 ($162^\circ/21^\circ$) e σ_3 ($254^\circ/06^\circ$) na sub-horizontal, indicando sistema oblíquo, com movimento normal destral.

Para caracterização da fase sin-mineralização foram coletados dados seguindo o critério de conexão da falhas e veios Blenkinsop (2008) do sistema de veios-falha NE, na zona Leste do setor Santo Domingo, abrangendo os três veios mineralizados já citados: Santo Domingo, Minacasa e Vitória. Os veios auríferos são bandados com assembleias de quartzo-baritina-pirita e sulfetos de prata, exibindo três tipos de textura: i) quartzo leitoso massivo, ii) quartzo bandado crustiforme, iii) quartzo substituindo pseudomorfos de calcita lamelar e quartzo massivo a drúsico.

Veio Santo Domingo aflora descontinuamente ao longo de aproximadamente 2 km a SW do povoado Santo Domingo desde sua intersecção com o veio Minacasa,

cruza a drenagem (quebrada) Malopampa e o Morro Runa Runa e parece ser o mesmo veio Natividade segundo o alinhamento da estrutura (Figura 5.21).

No veio Santo Domingo foram coletadas 10 medidas de falhas que controlam o alojamento do veio. Possuem direção predominante N58°E e mergulho de 60° para NW ao longo de uma extensão de 1.5 km. A análise de paleotensores (Figura 5.23A) indica eixo σ_1 (149°/82°) subvertical e σ_2 (31°/03°) e σ_3 (301°/06°) ambos sub-horizontais.

O veio Minacasa, tem direção N35° a 50°E, mergulho de 50° a 85° para NW e espessura que varia de 1,00 m a 2,5 m. Ao longo da estrutura, sobre uma extensão de 800 m, se coletou 11 falhas com respectivas estrias, cuja análise de paleotensores apresentada na Figura 5.23B, resultou em σ_3 (158°/66°) subvertical, σ_1 (293°/17°) eixo de extensão e σ_2 (28°/15°) ambos na sub-horizontais.

O veio Vitoria possui orientação N45E/65NW e temos registros de 7 falhas sin-mineralização ao longo do veio, sobre uma extensão de 1000 m. O estudo de paleotensores (Figura 5.23C) apresenta σ_1 subvertical (143°/60°), σ_2 (31°/11°) e σ_3 (295°/26°) sub-horizontais, definindo um sistema distensivo, com extensão principal NW-ESSE, durante o levantamento de dados têm-se identificado planos de falha N20° a 80°W, com estrias de alto ângulo (*estrias* entre 55° e 80°) e com mergulhos para SW que cortam o veio vitória na porção nordeste.

O eixo de esforço principal vertical σ_1 , sugere um marco tectônico extensional geral durante a formação dos veios.

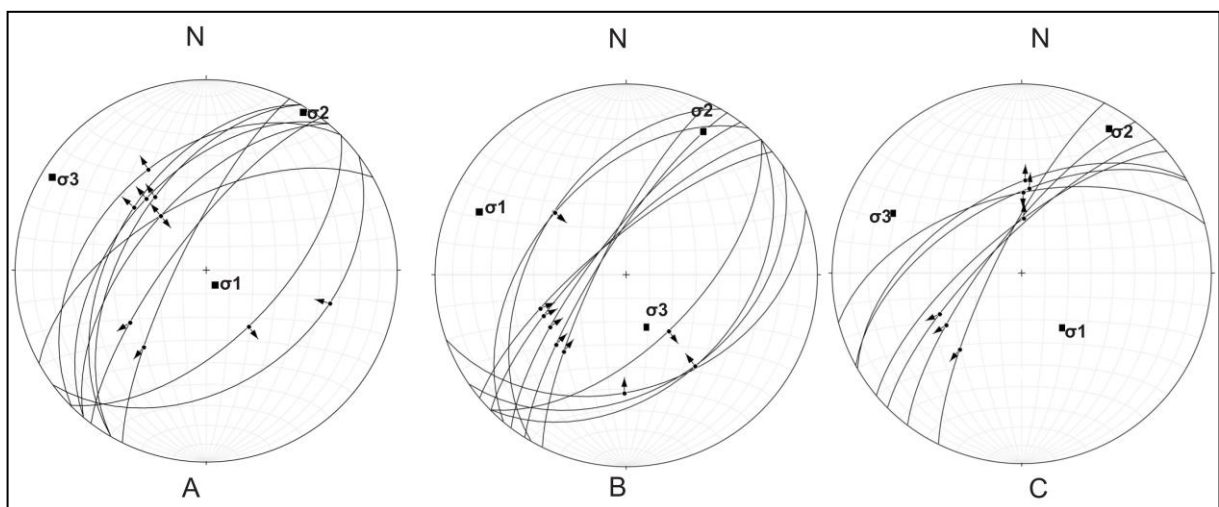


Figura 5.23. Projeção estereográfica sin-mineralização da jazida Santo Domingo. A: veio Santo Domingo 10 medidas, B: veio Minacasa 11 medidas e C: veio Vitoria 7 medidas, apresentam predomínio sistema NE. Fonte: Este trabalho.

Os resultados obtidos para os veios Santo Domingo, Minacasa e Vitoria, em conjunto, evidenciam extensão NW-SE. A orientação NE dos veios, o caráter extensivo, e sua localização, adjacente à Zona de Falha Mollebamba, sugerem que devem representar estruturas secundárias que acomodam a extensão associada à ao sistema direcional sinistral principal da Falha de Mollebamba.

Pode-se então admitir uma mesma idade de geração do controle estrutural de falhas da atitude N45E/60NW e a movimentação da Falha Mollebamba.

Sobre na base dos registros de falhas medidos, pode-se interpretar as seguintes feições:

No setor Minacasa tem-se registrado algumas falhas normais de direção NW, posteriores a mineralização, com preenchimento de calcita e estrias de alto ângulo no veio, que evidenciam a reativações pós-mineralização; herdadas sobre planos de falha NW-SE.

Na localidade próxima ao povoado Santo Domingo observam-se dobras normais abertas com eixos de direção N20° a 40°W em rochas vulcânicas do Mioceno médio - superior; que permitem interpretar uma compressão N45° a 70°E. É possível que estas dobras correspondam ao encurtamento associado à Zona de Falha Mollebamba. Assim, o campo de tensão com direção de σ_1 aproximadamente NE, horizontal, associado à Zona de Falha Mollebamba, deve ter sido responsável pelo encurtamento NE que produziu as dobras e também pela extensão NW acomodada pelo conjunto de falhas normais (e veios) descritas acima. O das estruturas pode ter sido concomitante ou subsequente (por exemplo, primeiro dobras e em seguida as falhas normais).

Considerando que essas estruturas se desenvolveram sobre rochas do Mioceno (Grupo Barroso), é provável que correspondam à fase TC_{NE-SW}, fase compressiva Quechua I (17 Ma), de Benavides-Cáceres (1999).

No setor Santo Domingo os andesitos do Grupo Barroso alojam os veios de orientação N45E com assembléia de quartzo-baritina-pirita que posteriormente são cortados pelos diques andesíticos em direção N45W/60SW (Figura 5.21, 5.24). Que pode ser interpretado como uma reativação durante o estágio pós-mineralização.

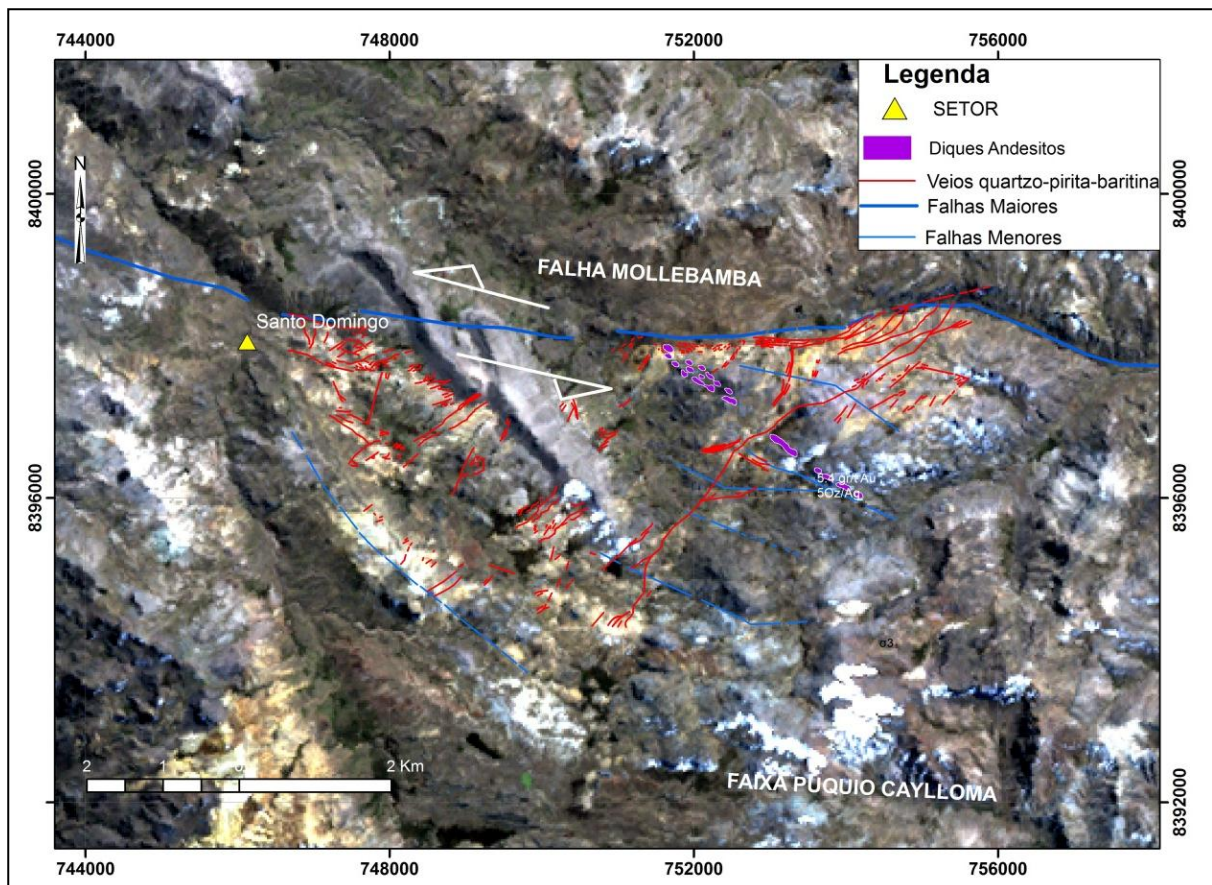


Figura 5.24. Mapa de lineamentos estruturais mostrando a Zona de Falha Mollebamba (ZFM), com componente sinistral, e a localização dos veios mineralizados, de orientação NE (N45E/65NW), evidenciando sistema extensional coerente com o movimento sinistral da ZFM no Mioceno.

A análise da ZFM ao longo da área (Fig. 5.2) mostra deslocamentos importantes nas rochas cretáceas, porção W da área, porém pouco expressivos nas rochas mais jovens dos Grupos Tacaza (Oligoceno) e Barroso (Mioceno), como pode ser visto na porção Leste da área. Tal situação permite interpretar que o desenvolvimento da ZFM se deu em, pelo menos, dois estágios, sendo o primeiro anterior ao Grupo Tacaza e o segundo após o Grupo Barroso, indicando reativação no período do Mioceno de um sistema de falhas movimentadas no cretáceo. Este período de reativação seria responsável pela geração das estruturas extensionais NE que alojaram as mineralizações do sistema filoneano Au-Ag do setor de Santo Domingo.

Assim mesmo, observa-se variações de espessura e o mergulho oposto do veio Minacasa (Figura 5.21, 5.23B), em comparação com todo o sistema de veios do corredor Santo Domingo-Utupara.

A 35 km a SW do setor Santo Domingo se encontra o Sistema de Veios Selene que apresenta orientação semelhante à dos veios auríferos descritos acima para esse setor. Suas propriedades internas e a geometria das zonas mineralizadas,

com certa elongação WSW-ENE, sugere que são da mesma geração dos veios de Santo Domingo. A idade dos veios Selene foi determinada por Palácios et al. (2008) em 14.62 ± 0.05 Ma, através de datação $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, em alunita. Assim admite-se que esta também seja a idade dos veios de Santo Domingo. Assim, o sistema de veios de Santo Domingo deve ter se desenvolvido durante a orogenia Quéchu II (17-7 Ma).

5.3. Comparação do Controle Estrutural das Mineralizações nos Setores

O padrão estrutural geral da área (Figura 5.2) é representado pelos dois sistemas de dobras, o mais antigo representado por traços axiais aproximadamente NS e o mais novo, Sistema Chapi Chapi, representado por traços axiais WNW com mergulhos íngremes para SW associados a grandes falhas de direção NW a WNW, como por exemplo, a Falha Mollebamba.

Nos cinco setores estudados são encontradas estruturas relacionadas com esse quadro regional, sendo que todas as zonas mineralizadas apresentam evidente controle estrutural através de falhas que condicionam a formação de veios, a migração dos fluidos mineralizantes e/ou alojamento de corpos ígneos diretamente associados com a mineralização.

Na Tabela 5.1 é apresentada uma síntese dos principais aspectos estruturais, litológicos e estratigráficos relacionados à mineralização nos cinco setores. Com base nesses dados apresenta-se a seguir uma comparação das feições desses depósitos.

Tabela 5.1. Síntese das principais feições estruturais das mineralizações dos setores.

Descrição	Detalhamento	Setores				
		Chama	Cocorpiña	Huaychulo	Mollebamba	Santo Domingo
Encaixante da Mineralização	Formação	Ferrobamba	Batolito II intrusão	Ferrobamba	Batolito II intrusão	Grupo Barroso
	Idade	Cretáceo Médio	Eoceno medio	Cretáceo Médio	Oligoceno Superior	Mioceno
	Rocha	Calcarios	Diorita	Calcarios	Granodiorito	Lavas Dacíticas
Camadas	Atitude	N60E/25NW	N40W/20NE	N45W/20NE	N40W/25NE	N45W/20NE
Controle Estrutural	Estrutura	Falha NE	Falha NE	Falha NE	Falhas NW 3º ordem	Falha NE
	Atitude	N30E/65SE	N10E/60SE	N20E/60SE	N35W/70SW	N45E/65NW
Sin-mineralização	Cinematika	Reversa sinistral	Reverso sinistral	Reversa sinistral	Sinistral reversa	Extensional/Normal sinistral
	Tensores	$\sigma_2(26/12); \sigma_3(253/71)$	$\sigma_2(16/10); \sigma_3(256/69)$	$\sigma_2(18/18); \sigma_3(247/63)$	$\sigma_2(161/03); \sigma_3(59/76)$	$\sigma_1(149/82); \sigma_2(31/03)$ Santo Dom.
Associação Mineral	Forma de ocorrência	Substituição	Diseminada	Corpos, Substituição	Diseminada	Veios Au
	Assambleia	quartzo-pirita-magnetita	quartzo-sericita	silice-magnetita-ilimolita	quartzo-sericita-pirita	quartzo-pirita-bastina-pirargirita
	Dimensões	250 x 500 m.	150 x 500 m	225 x 25 m.	500 x 500 m	2 km. de comprimento
Intrusiva relacionada a mineralização	Rocha	Tonalito	Diorito porfírico	Diorito porfírico	Granodiorito	Não reconhecida
	Associada/Idade	II estágio do BA	II estágio do BA	II estágio do BA	II estágio do BA	
Estrutura Associada		Falha Huayruruni	Falha Pisco	Falha Inversa	Falha Mollebamba	Falha Mollebamba
Idade da mineralização	Pós II estágio do BA	(~42-38 Ma)	(~42-38 Ma)	(~42-38 Ma)	29.17 Ma	14.62 Ma
Modelo Genético		Skarn Cu (Fe-Ag)	Pórfiro de cobre	Skarn Fe (Cu-Ag)	Pórfiro de Cu-Mo	Epitermal de baixa sulfatação

BA: Batólito de Abancay, Pós II: Pós segundo estágio de intrusão. Fonte: Este trabalho.

5.3.1. Orientação, Encaixante, Tipo Genético.

A orientação das rochas encaixantes nos calcários da Formação Ferrobamba do Cretáceo Médio, que alojam mineralização nos setores apresentam atitudes de N60E/25NW para Chama e N45W/20NE para Huaychulo e são do tipo escarnito, relacionados a metassomatismo de contato.

No setor Cocorpiña e Mollebamba as camadas de calcário com atitude N40W/20NE são afetadas pelas intrusões, portanto Cocorpiña e Mollebamba apresentam mineralização tipo pórfiro de Cu, encaixados em diorito e granodiorito respectivamente.

No setor Santo Domingo, rochas vulcânicas do Grupo Barroso do Mioceno com atitudes N50W/10SW, alojam veios de quartzo epitermal de baixa sulfetação.

Nos cinco setores as mineralizações desenvolvidas estão relacionadas a falhas que serviram de controle para alojamento das rochas intrusivas, como é o caso dos setores Cocorpiña e Mollebamba, ou ascensão de fluidos como ocorre em Chama, Huaychulo. Também para o alojamento de veios, como em Santo Domingo.

Nos setores: Chama, Cocorpiña, Huaychulo a mineralização é controlada por falhas reversas, de direção NNE, e no setor Santo Domingo, por falhas normais, de direção NE.

No setor Mollebamba as sequências da Formação Chuquibambilla do Jurássico Superior são intrudidas por granodiorito com seu eixo maior NS, que por sua vez aloja o monzonito hipoabissal mineralizado, cortado pelas falhas N45W/70SW de movimento sinistral (Figura 5.18).

Em todos os setores as mineralizações são associadas com intrusões, a exceção do setor Santo Domingo. As intrusivas são diorito em Cocorpiña e Huaychulo, tonalito em Chama e monzonito em Mollebamba, o que sugere que as composições dioríticas devem ter sido mais efetivas para formação de depósitos do tipo escarnito (Tabela 5.1).

Os trabalhos efetuados a partir da coleta de dados da orientação das falhas e suas respectivas estrias permitiram a determinação dos paleotensores responsáveis pela formação das falhas relacionadas ao controle das mineralizações (Tabela 5.2). Os resultados obtidos indicam que para os setores Chama, Cocorpiña, e Huaychulo o regime associado às falhas sin-mineralização é reverso sinistral, em falhas de orientação aproximadamente NNE. Já as ocorrências de Santo Domingo

estão associadas a falhas que acomodam extensão, cuja geometria sugere relação com a movimentação sinistral da Falha Mollebamba. Dessa forma as mineralizações estudadas nos cinco setores estão relacionadas a dois tipos cinemáticos principais: 1) Falhas Reversas de direção aproximadamente NNE; 2) zonas de extensão relacionadas ao movimento sinistral da Falha Mollebamba.

Tabela 5.2. Dados medidos e a direção de esforços principais para as falhas observadas nos cinco setores.

Setor	Evento	Falha		Tensores			Direção do esforço principal		Descrição
		n	Atitude	σ_1	σ_2	σ_3	Vertical	Horizontal	Componente
Chama	Sin-mineralização	16	N30E/65SE	119/13	026/12	253/71	σ_3	σ_1 - σ_2	Reversa Sinistral
	Pós-mineralização	12	N45W/75SW	74/00.1	164/14	344/75	σ_3	σ_1 - σ_2	Reversa Sinistral
Cocorpiña	Sin-mineralização	13	N20E/60SE	110/17	16/10	256/69	σ_3	σ_1 - σ_2	Reversa Sinistral
	Pós-mineralização	10	N10W/70SW	108/45	199/01	291/44	σ_1	σ_2 - σ_3	Normal Sinistral
Huaychulo	Pré-mineralização	9	N5W/60SW	50/75	178/08	269/11	σ_1	σ_2 - σ_3	Normal Destral
	Sin-mineralização	10	N20E/60SE	114/18	18/18	247/63	σ_3	σ_1 - σ_2	Reversa Sinistral
Mollebamba	Pós-mineralização	10	N55W/65SW	252/13	161/03	59/76	σ_3	σ_1 - σ_2	Sinistral Reversa
	Pré-mineralização	11	N50W/60SW	1/67	162/21	254/06	σ_1	σ_2 - σ_3	Normal Destral
Santo	Sin-mineralização								
Domingo	veio Santo Domingo	10	N58E/60NW	149/82	31/03	301/06	σ_1	σ_2 - σ_3	Normal Destral
	veio Minacasa	11	N45E/70NW	293/17	28/15	158/66	σ_3	σ_1 - σ_2	Reverso Destral
	veio Vitoria	7	N45E/65NW	143/60	31/11	295/26	σ_1	σ_2 - σ_3	Normal Destral
		119							

Sigma ($\sigma_{1,2,3}$). Fonte: Este trabalho.

5.3.2. Idades das mineralizações.

As Mineralizações nos cinco setores estudados apresentam três tipos de modelos genéticos:

i) o primeiro nos setores Chama e Huaychulo, observados na zona setentrional está caracterizado pela presença de skarn Fe-(Cu-Ag) relacionado com o processo de metassomatismo de contato (Figura 5.26, 5.27).

ii) o segundo nos setores Cocorpiña e Mollebamba apresenta mineralização do tipo pórfiro de cobre (Trapiche) Figura 5.25.

Estes dois modelos genéticos se encontram associados ao segundo evento de intrusão do Batólito de Abancay (PERELLO et al., 2003).

Mamani (2010) e Rivera et al. (2010) relacionam estas mineralizações com uma atividade hidrotermal entre ~42 e 30 Ma Perello et al. (2003) (Figura 4.1, 5.28).

No setor Mollebamba, Llosa et al. (2013) datam a mineralização em pórfiro de quartzo monzonito entre 29.88 $\pm$ 0.39, 29.17 até 28.53 $\pm$ 0.27 (Figura 5.28). Este

evento de intrusão evidencia uma tectônica ativa ao sul da Falha Mollebamba durante o período do Eoceno a Oligoceno (Figura 6.1).

iii) O terceiro tipo de ocorrência da mineralização é observado no setor Santo Domingo, apresenta um sistema de veios crustiformes, com quartzo-barita-pirargirita-proustita-miargirita, com direção N45E.

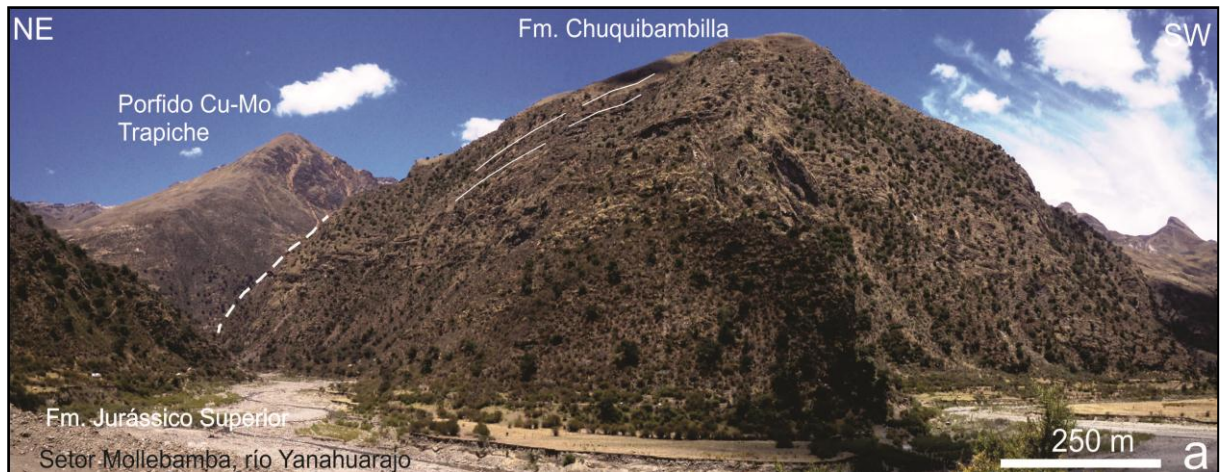


Figura 5.25. Alojamento do Pórfiro Trapiche Cu-Mo em rochas da Formação Chuquibambilla, associado a falhas menores do tipo antitéticas em relação a ZFM. Onde há evidência de atividade tectônica para o Oligoceno.

A idade da mineralização dos veios de ouro do Santo Domingo é sugerida na Figura 5.26, posto que Palácios et al. (2008) datam 14.62 ± 0.05 Ma em alunite, uma mineralização na localidade de Selene, uma jazida também com veios de ouro na direção NE, a 35 km ao SW de Santo Domingo (Figura 5.21).

Considerando as informações da Figura 5.26 mostra a idade das orogenias associados com as mineralizações para cada um dos cinco setores. Assim, no setor Huaychulo a mineralização é mais antiga (~42 Ma.), enquanto nos setores Chama, Cocorpiña e Mollebamba a mineralização situa-se entre 27 e 30 Ma. Já os depósitos de Santo Domingo são mais jovens 17 a 22 Ma.

Além disso, entre Sabaino, Ayahuay e Huaquirca no extremo noroeste da zona de estudo (Figura 5.2) especificamente na porção Leste da margem direita do río Antabamba; se apresenta outro estilo de mineralização de veios auríferos a escala decimétrica controlados pelas falhas, e brechas de falhas com uma assembléia de quartzo-calcopirita-pirita-argentita, com teor de 15 g/t – 1 oz/t de ouro, próximo a borda das rochas granodioríticas.

SETORES					REGIME DE ESFORÇO			IDADE	
CHAMA	COCORPIÑA	HUAYCHULO	SANTO DOMINGO	MOLLEBAMBA	PREDOMÍNIO	EXTENSÃO	CONTRAÇÃO		
					fC E-W		→○←	Pleistoceno Inferior 5 Ma - 4 Ma	Orogenia Quechua 17 Ma Pleistoceno
			POS MIN M		fTC NE-SW fTC E-W	↺○↻	→○←	14.6 Au-Ag (BS) 17 Ma - (8-7) Ma 22 Ma	
POS MIN M	POS MIN M		PRE MIN	POS MIN M	fTC NE-SW	↺○↻	→○←	30 Ma - 27 Ma	Orogenia Inca 59 - 22 Ma
PRE MIN	PRE MIN	POS MIN M	PRE MIN	PRE MIN	fTC NW-SE fTC NS		→○←	~32-28 Cu-Mo (PCD) 43 Ma ~42 Ma	
		PRE MIN						Començo a Deformação I-II	
—				—	fE E- W	↺○↻		59 Ma - 55 Ma	I-I
				—	fTC NW-SE		→○←	Cretáceo tardio- Paleoceno	Orogenia Peruana 84-79 Ma

Figura 5.26. Correlação dos estágios de mineralização e eventos deformacionais sugeridos. *PRE MIN*: Pré-Mineralização, *M*: mineralização relativa, *POS MIN*: Pós Mineralização, durante o ciclo Andino sobre a base de trabalhos de Benavides-Cáceres (1999) Fonte (Este trabalho).

5.4. Cinemática e Evolução Estrutural

Considerando a análise cinemática do conjunto das grandes estruturas encontradas na área e das descritas nos cinco setores analisados, pode-se destacar alguns aspectos principais relativos à evolução estrutural.

1) O Sistema de Dobras NS indica uma fase compressiva envolvendo encurtamento aproximadamente E-W, com a orientação do maior esforço podendo ser WSW a EW.

2) As falhas inversas de direção aproximadamente NS, encontradas ao longo da área e nos setores Chama, Huaychulo e Cocorpiña, também indicam um encurtamento aproximadamente EW, e devem estar relacionadas à mesma fase compressiva que gerou o sistema de Dobras NS.

3) As duas grandes dobras registradas na área, Anticlinal Chapi Chapi e Sinclinal Huillullu (Figura 5.27), possuem planos axiais paralelos à Falha Mollebamba e provavelmente estão relacionadas com o evento responsável pela formação dessa falha. A orientação e caráter sinistral dessa zona rúptil indicam um sistema compressivo, com componente principal (sigma 1) WNW, que poderia

também, simultaneamente ou como uma progressão da deformação passando de estágio dúctil a rúptil, gerar as grandes dobras, dentro de um regime provavelmente transpressivo.

4) As rochas cretáceas mostram as dobras do Sistema Chapi Chapi mais apertadas do que nas rochas oligocênicas, igualmente os deslocamentos dos contatos das rochas cretáceas ao longo da Falha Mollebamba, são maiores do que os registrados nas rochas oligocênicas.

Tais feições indicam que o regime compressivo responsável pela formação dessas estruturas teve longa duração, com movimentação importante entre o final do Cretáceo Médio e antes do Oligoceno, e continuação durante o Mioceno, pelo menos até 14,62 Ma que é a idade interpretada para as fraturas extensionais relacionadas à Falha Mollebamba, identificadas no Setor Santo Domingo (ver seção 5.2.5).

Análise das falhas mesoscópicas foi restrita ao estágio sin-mineralização dos setores e estão relacionadas a um sistema de direção NNE. São mais definidas na zona setentrional (Chama N30E/65SE, Cocorpiña N10E/60SE e Huaychulo N20E/60SE) guardando regime compressional, sendo a cinemática predominantemente reversa para Chama, Huaychulo e Cocorpiña. No setor Santo Domingo o enxame de veios mineralizados se encaixa em fraturas com atitude preferencial N45E/65NW, com cinemática predominantemente normal, associada a extensão para NW.

Assim pode-se dizer que a orientação das falhas associadas à mineralização é, em geral, NNE, com exceção do setor Mollebamba onde a mineralização é associada a um corpo granodiorítico alongado na direção N-S que aloja a rocha hipoabissal monzonítica mineralizada pórfiro Trapiche (Figura 5.28).

Os resultados em relação aos tensores para o estágio sin-mineralização para os setores Chama ($\sigma_3 = 253/71$), Cocorpiña ($\sigma_3 = 256/69$) e Huaychulo ($\sigma_3 = 247/63$) indicam σ_1 WNW, subhorizontal e σ_3 subvertical. Já para Santo Domingo, σ_1 (149/82) é subvertical e σ_3 sub-horizontal na direção NW. Entretanto os campos de esforços das mineralizações do setor Mollebamba σ_3 (59/76) e Huaychulo σ_3 (247/63), apresentam esforço σ_3 na vertical definindo um eixo de encurtamento para NW, indicando mineralizações associadas com corpos intrusivos controladas com falhas reversas [WEISE, 2006], com pequenas componentes sinistrais.

A partir das falhas e veios estudados no setor Santo Domingo, definiu-se um regime de esforço de extensão para NW, decorrente da falha Mollebamba. Pode se

sugerir que σ_1 (149/82) é associada durante a formação da mineralização no plano σ_1 - σ_2 em na direção NE.

No setor Santo Domingo dois dos tres veios mostram σ_1 na vertical e o tercer veio apresentam σ_3 na vertical (Figura 5.23), o que sugere mudanças episódicas no esforço possivelmente debido a reactivações durante o estágio sin-mineralização.

Os sistemas de falhas perduram ao nivel da região evidenciando uma intensa atividade tectônica associado com intrusões durante o oligoceno, evidências de campo no são claramente estabelecidas para a idade de formação, se sugere movimentações ativas pre Cretaceo Medio, pero por inferência de falhas foram ativos durante os pulsos de Eoceno a Oligoceno, tanto como eventos mais juvenes. estas falhas cortan o dobramento de rochas Mesozoicas e batólito na figura 5.27.

Os movimentos dos sistemas de falhas NW podem ser caracterizados como o maior pulso tectônico em na região relacionado com idade do alojamento dos corpos porfíricos.

Veios Santo Domingo direção N45E, generalmente preenchen aperturas tectônicas tem uma clara evidencia de deslocamento lateral. A conexão dos veios de cisalha na direção N45E sugere associação de fracturas de extensão.

A representação diagramática de fraturas de tensão e falhas reversas NW, na figura 5.27 mostram eixos de compressão N60E.

As forças de compressão mostram, que existe em a bacia regional falhas tectônicas que implica dominância paralelo ao orogeno NW que atraves do comportamento transcorrente sinistral geran estruturas NE.

A Figura 5.28 mostra a sequencia de eventos inferidos de disponível K-Ar datações, onde destacamos as principais movimentações durante o ciclo andino.

O transporte tectônico associado da placa de Nazca baixo a placa sudamericana pode explicar a presença da direção do eixo dobramento andino NW e seu subsequente conexão com falhas NW.

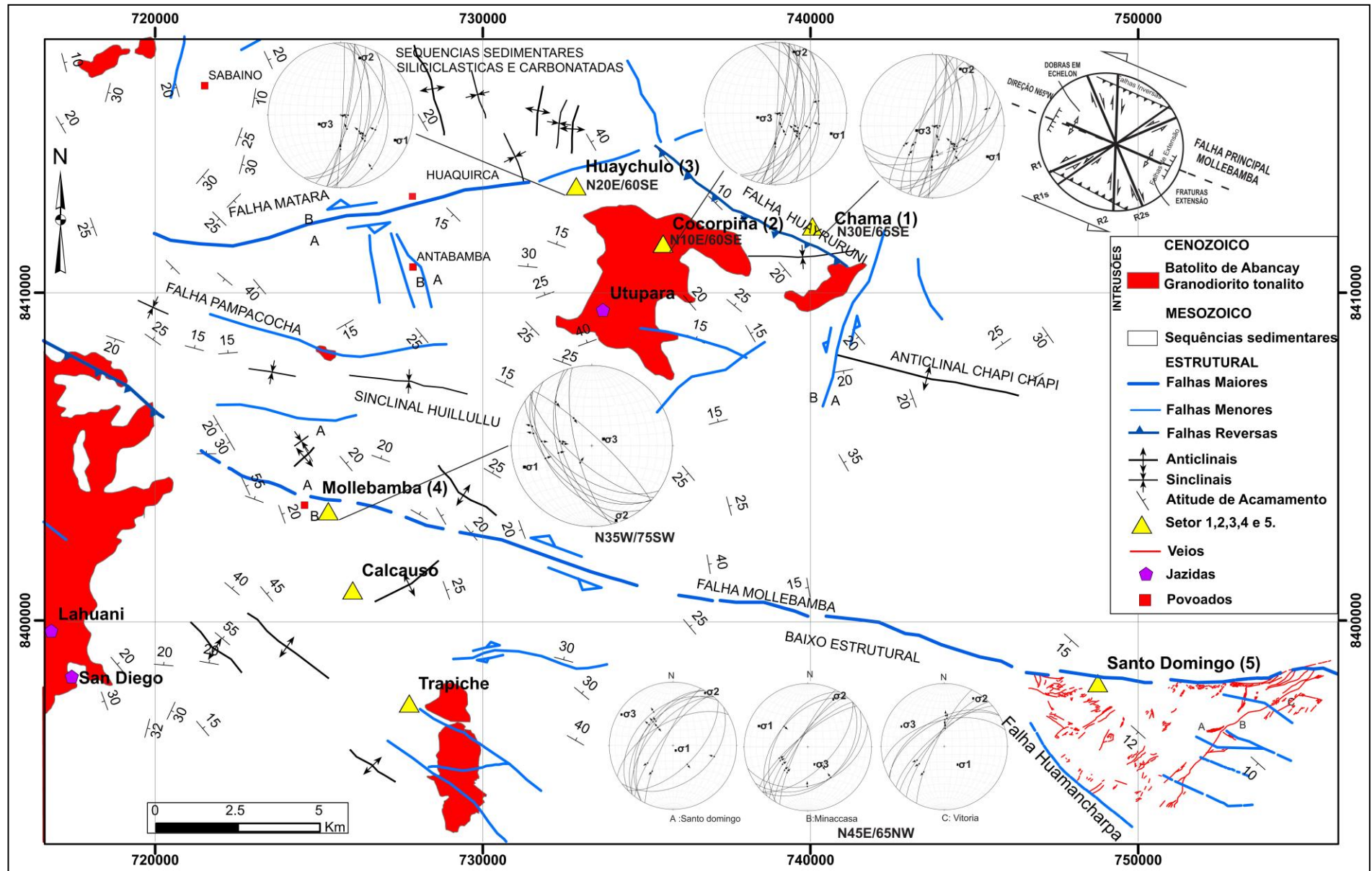


Figura 5.27. Modelo Cinemático com a orientação das principais estruturas associadas como as mineralizações do Eoceno Medio a Oligoceno.

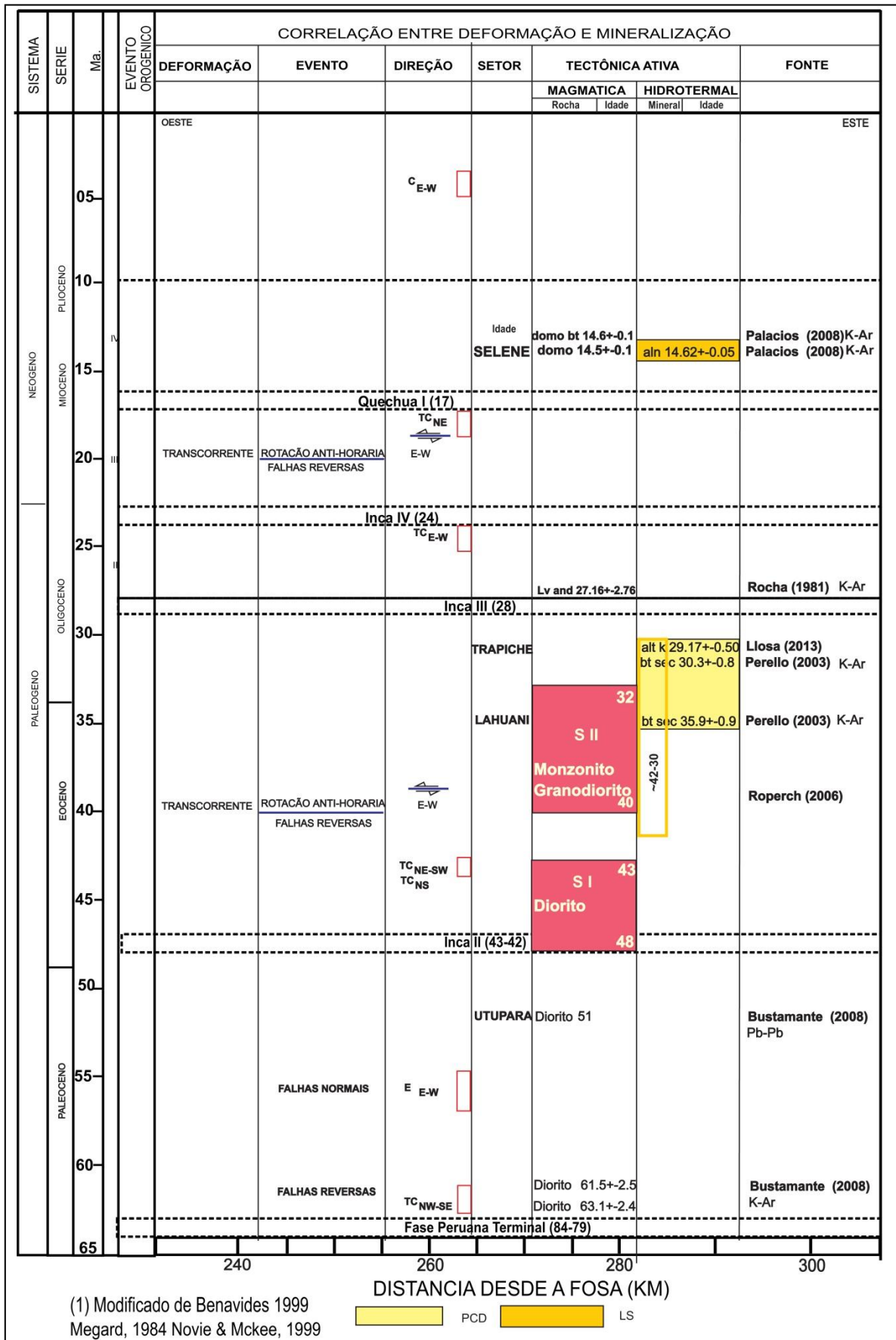


Figura 5.28. Correlação da deformação e mineralização durante o ciclo Andino ao sul da Deflexão de Abancay limitado pela (ZFM), Depósitos de pórfiro de cobre (PCD), baixa Sulfuração (LS), estágio I (SI), estágio II (SII) Mamani (2013), (Este trabalho).

CAPÍTULO VI DISCUSSÃO

A análise das estruturas indica evolução estrutural na área de estudo envolvendo uma sucessão de eventos de deformação que incluem, pelo menos:

- 1) Período de encurtamento aproximadamente EW, gerando o sistema de dobras NS, e algumas das falhas inversas de direção aproximadamente NS, como as estudadas nos setores Chama, Huaychulo e Cocorpiña.
- 2) Período de compressão de direção aproximadamente WSW-ENE, dando origem ao sistema de cisalhamento direcional, representado principalmente pela falha Mollebamba, associado ao desenvolvimento do sistema de dobras Chapi Chapi.
- 3) Reativação do Sistema da Falha Mollebamba conduzindo a zona de extensão registrada no Setor Santo Domingo.

A área de estudo encontra-se na porção Sul da Inflexão de Abancay, que representa importante deslocamento do eixo principal da Cadeia Andina, associado à feição oroclinal do orógeno (Fig. 3.3 e 6.1). Assim, as estruturas encontradas na área devem, pelo menos em parte, refletir os processos de rotação das estruturas associadas a essa megaestrutura.

Roperch et al. (2006), através de estudos paleomagnéticos, mostram rotação de cerca de 55° para as rochas e estruturas anteriores ao final do Oligoceno, atribuindo a rotação ao processo de encurtamento entre o final do Eoceno e início do Oligoceno, provavelmente entre 45-35 Ma (GOTBERG et al., 2010). Ainda segundo os referidos autores, essa rotação diminui progressivamente do final do Eoceno para o final do Oligoceno no se mostra evidencia de rotação.

Para a área, propomos um modelo baseado no estabelecimento de dois corredores estruturais: o corredor Sistema Falha Limatambo Ayaviri (a norte); e Sistema Falha Mollebamba (a sul), ambos sinistrais (Figura 6.1), que controlaram o alojamento dos corpos intrusivos durante o Eoceno médio e Oligoceno Inferior (PERELLO et al., 2003). Nesse contexto, o Sistema Sinistral da Falha Mollebamba e Dobras Chapi Chapi devem representar as principais estruturas relacionadas à rotação antihorária da inflexão de Abancay. Provavelmente a movimentação foi coeva com as intrusões relacionadas ao batólito de Abancay. Assim, propomos que

a Falla Mollebamba controlou e limitou a atividade magmática hidrotermal entre o Eoceno médio e Oligoceno Inferior (Figura 6.2). Considerando-se as idades das rochas intrusivas que correspondem ao Batólito de Abancay (42-38 Ma., PERELLO et al., 2003) e que estão associadas às mineralizações, interpreta-se que o período de mineralização corresponde às fases de orogenia Inca II e III 43 - 27 Ma.

Gotberg et al. (2010) apresentam estimativas de 40% encurtamento para a porção ocidental dos Andes Peruanos, parte desse encurtamento deve ter sido acomodado em estágios de deformação precoces. Interpreta-se que o sistema de dobras NS e falhas inversas associadas, registradas na área de estudo, esteja relacionado a esse período precoce de encurtamento crustal. A atitude das falhas inversas estudadas em mais detalhe na área (ex. Setores Chama, Huaychulo e Cocorpiña) apresentam mergulhos relativamente íngremes (60 a 70). Considerando-se o princípio de Anderson (1951), os mergulhos de falhas no sistema compressivo deveriam ser menores. Assim, é possível que representem reativação de falhas da fase extensional relacionadas à abertura da bacia sedimentar. Alternativamente podem representar falhas originalmente de baixo ângulo de mergulho, rotacionadas durante o processo compressivo [WEISE, 2006].

Roperch et al. (2006), sugere que as estruturas andinas NW participaram do alojamento magmático ao longo de 300 km de comprimento e 30 km de espessura, provavelmente com movimentações ativas durante o magmatismo evidenciadas no setor Utupara (BUSTAMANTE, 2008, 63.1+-2.4 Ma) prévios as datações do Perello et al. (2003) do batólito de Abancay (~42-38 Ma) na porção central na figura 6.2, direção NW-SE como a falha de Mollebamba tipo (shear zone), que controla o alojamento magmático, por sua vez, o que sugere uma relação com a atividade magmática hidrotermal do Eoceno Médio a Oligoceno Inferior ao longo de seu traço observaram entre setor Mollebamba (Figura 5.1) e Santo Domingo devido aos veios estudados, evidenciam que pode existir uma conexão relacionada à faixa metalogenética suprajacente com mineralizações tipo epitermal de baixa sulfetação Puquio – Caylloma Echavarria (2006) de idade 27.16+- 2.76 Ma. Sobre a base dos estudos feitos, as relações geométricas do sistema de falhas Mollebamba (ZFM), provavelmente foi responsável pela abertura de fraturas (de direção NNE).

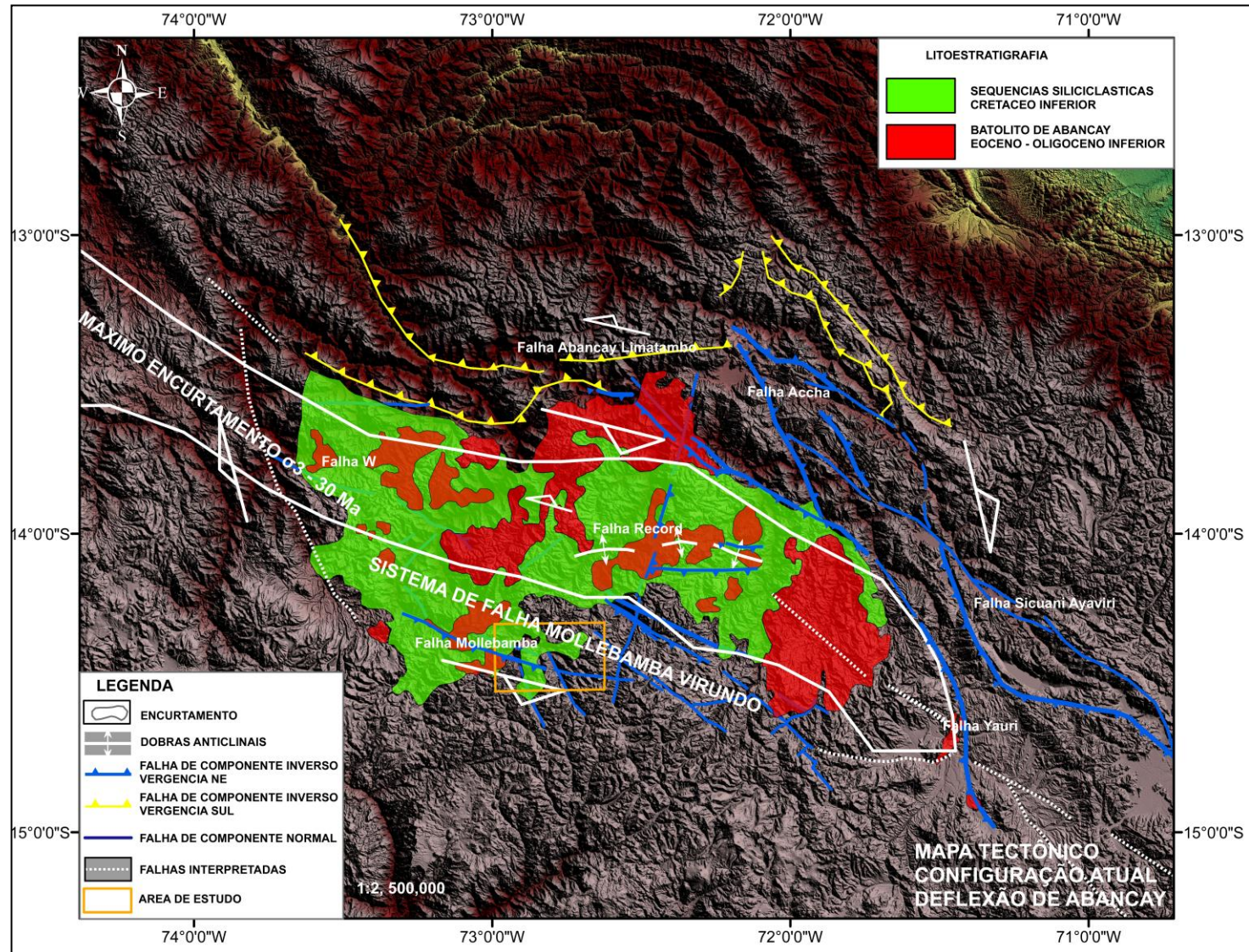


Figura 6.1. Mapa Tectônico de Perello (2003), adaptado por Mamani (2013), onde se caracteriza um corredor estrutural limitado a Sul pela Zona de Falha Mollebamba e a Norte pelo sistema de falhas Abancay-Limatambo/Sicuani-Ayaviri, que control as intrusões relacionadas ao Batólito de Abancay, durante o Eoceno médio e o Oligoceno Inferior.

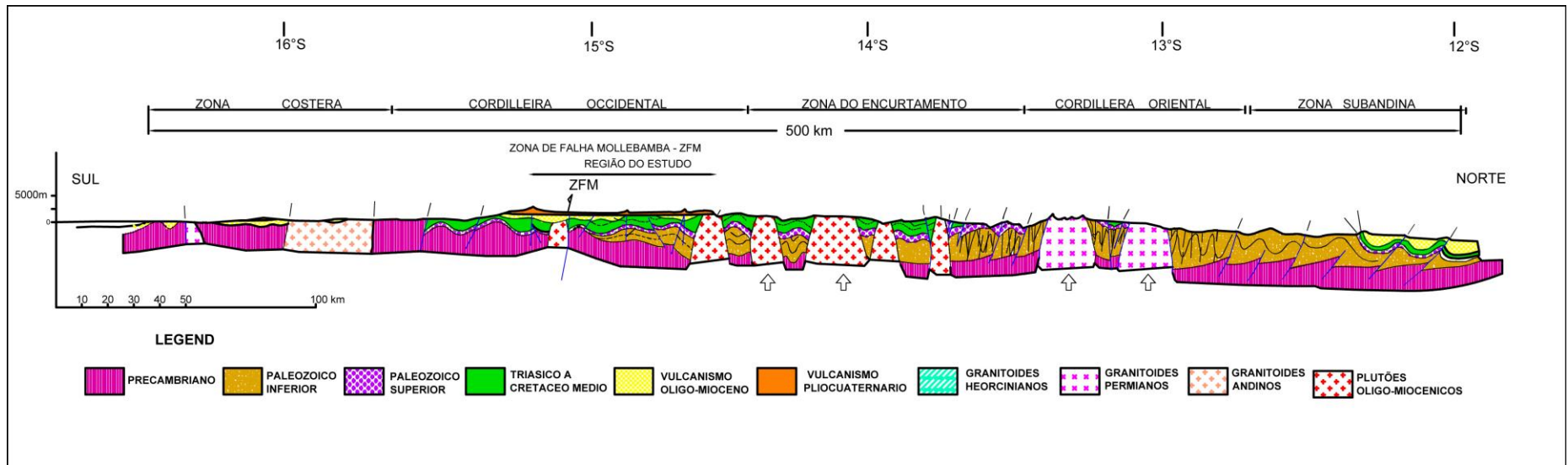


Figura 6.2 Seção transversal na zona de alojamento plutônico durante o Eoceno médio e Oligoceno Inferior, tomado de Marocco (1978), adaptado por este trabalho. O norte e adjacente à Zona de Falha de Mollebamba (ZFM) percebe-se o predomínio de rochas intrusivas oligo-miocênicas, o que sugere que essa debilidade estrutural deve ter favorecido a ascensão desses corpos intrusivos.

CAPITULO VII CONCLUSÕES

As análises efetuadas nesse trabalho, considerando-se a geologia da área de estudo e os levantamentos feitos nos setores Chama, Cocorpina Huaychulo, Mollebamba e Santo Domingo, permitem tecer as seguintes considerações:

- 1) A análise das unidades litoestratigráficas em mapa e do padrão deformacional registrado em suas rochas revela a presença de importante discordância angular separando as rochas sedimentares cretácicas (Formações Soraya, Mara e Ferrobamba) das sequências vulcânicas oligocênicas Grupos Tacaza e Barroso.
- 2) Em relação à distribuição da deformação área de estudo apresenta um primeiro sistema de dobras com encurtamento aproximadamente EW, representado pelo Sistema de Dobras NS e falhas reversas, relacionado ao processo de convergência de placas decorrente da subducção da placa de Nazca sob a Placa Sul Americana.
- 3) A análise da geometria e cinemática da Zona de Falha Mollebamba (ZFM) indica desenvolvimento em regime transpressivo, responsável pela geração da ZFM, com movimentação principal sinistral, e formação do sistema de dobras Chapi Chapi, que possui planos axiais de direção WNW, com mergulhos íngremes para SW e eixos com caimentos suaves para ESE.
- 4) Os cinco setores estudados mostram mineralizações de Cu e Au, estruturalmente controladas, associadas a falhas. Em três deles (Chama, Cocorpiña) e Santo Domingo estão associadas a falhas de direção NNE, com componente de rejeito principal reverso. Em Santo Domingo os veios mineralizados estão condicionados por falhas NE com cinemática normal. Tal situação indica que o controle estrutural destes depósitos não é homogêneo, implicando em processos tectônicos diversificados na formação das mineralizações.
- 5) A geometria e cinemática das falhas do setor Santo Domingo mostram boa compatibilidade com sistema extensional relacionado à reativação da Falha Mollebamba, enquanto as falhas reversas identificadas nos setores Chama,

Cocorpiña e Huaychulo devem estar relacionadas ao processo de encurtamento precoce, responsável pela geração das dobras NS.

6) A geometria da zona de falha Mollebamba e das fraturas mineralizadas no setor Santo Domingo, sugere que a ZFM exerceu controle estrutural durante os processos de mineralização nesse setor.

7) Para a idade da mineralização nos Setores Chama, Cocorpiña e Huaychulo pode se assumir o período de 40 a 32 Ma (segundo estágio de intrusão do Batólito de Abancay). No setor Mollebamba a mineralização está associada a pórfiro de Cu-Au, (Ponto Trapiche) cuja idade deve corresponder a 29.17 Ma. No setor Santo Domingo os veios auríferos provavelmente são contemporâneos aos veios da jazida Selene que tem com idade de 14.62 Ma.

8) A área de estudo situa-se na porção sul da Inflexão de Abancay que é uma importante feição tectônica dos Andes Centrais relacionada ao deslocamento do eixo da cadeia orogênica e rotação antihorária das estruturas, ocorrida predominantemente após o cretáceo e antes do final do Oligoceno. A Falha Mollebamba e o Sistema de Dobras Chapi Chapi apresentam geometria, cinemática e idade compatíveis com esse processo deformacional e devem ser as principais estruturas relacionadas com esse evento tectônico.

REFERÊNCIAS

ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ANDERSON, E. M. **The Dynamics of faulting**: 2nd ed., Oliver and Boyd, Edinburgh, 1951. 206 p.

ALLMENDINGER, R. J. et al. The evolution of the Altiplano- Puna Plateau of the Central Andes. Annual, **Reviews Earth Planetary Sciences**, v. 25, p. 139-174, 1997.

ALLMENDINGER, R. **Structural Geology Algoritms**, 2014. Programa da análise cinemática das falhas com tensores Faultkin 7, Cornell University . Disponível em: <<http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs/faultkin.html>>. Acesso em: 1 Abr. 2014.

ABRIL, H. **Geología, Mineralización y Alteraciones hidrotermales del Prospecto Cocorpiña Apurimac**. 2000. 56 p. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Geológica) - Universidade Nacional San Agustín, Arequipa, 2000.

ARRIAGADA, C., P.; ROPERCH, C.; MPODOZIS; COBBOLD, P.R. Paleogene building of the Bolivian Orocline: Tectonic restoration of the central Andes in 2-D map view. **Tectonics**, 27, TC 6014, 2008.

ASCUE, C. Posible evolución tectónica de la deflexión de Abancay e implicancias Neotectónicas en la región Sur Oriental del Perú, Lima, Perú. In: CONGRESO PERUANO DE GEOLOGÍA, 9., 1997, Lima. **Anais...** Lima: Sociedad Geológica del Perú, 1997, Vol. Esp. 1, p. 245-247.

BENAVIDES-CACERES, V. Orogenic Evolution of the Peruvian Andes: The Andean Cycle, **Economic Geology**, Special Publication n.7, p. 61-107, 1999.

BLINKINSOP, T.G. Relationships between faults extension fractures and veins and stress, **Journal of structural Geology**, v.30, p. 622 – 632, 2008.

BRAVO, R.Y. **Estudio Geológico y Posibilidades Económicas del Proyecto Huanzo Antabamba – Apurimac**. 1985. 49 p. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Geológica), Universidade Nacional San Agustín, Arequipa, 1985.

BONHOMME, M.G.; CARLIER, G. Relations entre magmatisme et minéralisations dans le Batholite d'Andahuaylas-Yauri (Sud Pérou): Données géochronologiques: **2nd International Symposium on Andean Geodynamics**, Grenoble, France, p. 329–331. 1990.

BUSTAMANTE, A. **Geocronologia, Petrografia, Alteraciones e Isótopos de Pb y Sr del Complejo Porfirítico (Cu-Au) Utupara- Aplicaciones a la Exploración Minera** Bustamante A. 2008. 126 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais)

RED DESIR, Lima, 2008. Disponível em:
<<http://www.ingemmet.gob.pe/inftecnicos/ListarFichas.aspx?Opcion=118>>. Acesso em: 06abr. 2014.

CANDIOTTI, H. Evaluación Geológica del Proyecto Bravo, Hoschild Mining, **Informe Interno**, 1985.

CARPIO, A. R. **Estudio Geológico, Mineralización y Alteraciones del Prospecto Huaychulo Huaquirca-Apurimac**. 1997. 50 p. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Geológica) - Universidade Nacional San Agustín, Arequipa, 1997.

CASAVARDE, J. **Geología y Metalogénesis del Proyecto Pórfido Cuprífero Trapiche (Mollebamba – Apurimaca-Peru)**. 2004. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Geológica) - Universidade Nacional de Ingeniería, Lima, 2004.

CASTILLO, M.J.; BARREDA, J. A. **Geología de los cuadrángulos de Laramate y Santa Ana 29-n, 29-ñ**. INGEMMET. Bol. 45, Serie A. 1973. 69 p.

CARLIER, G.; LORAND, J. P.; BONHOMME, M.; CARLOTTO, V. A reappraisal of the Cenozoic Inner Arc magmatism in southern Peru: consequences for the evolution of the Central Andes for the past 50 Ma. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANDEAN GEODYNAMICS, 3., 1996, St. Malo, France. **Extended Abstracts**. St. Malo, France: [s.n], 1996. p. 551–554.

CLOSS, H. Experimente zur inneren Tektonik. **Zentralblatt fur Mineralogie Geologie und Palaontologie**, p. 609-621. 1928.

CORDANI, U.G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.G.; BASEI, M.A.S. Crustal Evolution of the South American Platform. In: **TECTONIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICA IGC**. 31 st, 2000, Rio de Janeiro, Brazil; ed IGC, CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; FILHO, A.T. THOMAZ F. A.; CAMPOS, D.A., [A summarization of the crustal evolution of the South American Platform], Rio de Janeiro, Brazil, Spec. Publ. 2000, 850 p.

COBBING, E.J.; PITCHER, W.S.; WILSON, J.J.; BALDOCK, J.W.; TAYLOR, W.P.; MACCOURT, W.; SNELLING, N.J. The geology of the Western Cordillera of Northern Peru, **Overseas Mem.** 5, Inst. Geol. Sciences, Londres, (1981), 143 p.

DAVIS, G.H.; REYNOLDS, S.J. **Structural Geology of Rocks and Regions**, 2nd Edition (Univ. of Arizona--Tucson), Arizona State, 1996. 800 p.

DE LA CRUZ, N. **Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azangaro**, INGEMMET. Bol. 58, Serie A. 1995. 144 p.

DEWEY, J.F.; BIRD, J.M. Plate Mountain belts and the new global tectonics, **J. Geophys. Res.**, 75, p. 2625-2647. 1970.

DALMAYRAC, B.; LAUBACHER, G.; MAROCCO, R. **Caracteres generales de la evolución geológica de los Andes peruanos**. France, O.R.S.T.O.M. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, p. 313, 1978. Disponível em: <http://books.google.com.br/books/about/Caracteres_generales_de_la_evoluci%C3%B3n_ge.html?id=OdBOAQAIAAJ&redir_esc=y>. Acesso em: maio14.

ECHAVARRIA, L. et al. Geologic Evolution of the Caylloma Epithermal Vein District, Southern Perú, Colorado, **Economic Geology Inc.**, v. 101, p. 843-863, jun, 2006.

FUKAO, Y., KONO, M., YAMAMOTO, A., SAITO, M., NAWA, K., GIESECKE, A. & PERALES, C. Gravity Measurements and Data Reduction for Bouguer anomaly Map of Perú. **Bulletin of Earthquake Research Institute University of Tokio**, v. 74, p. 161-266, 1999.

GILDER, S.; ROUSSE, S.; FARBER, D.; MCNULTY, C.; SEMPERE, T.; TORRES, V.; PALACIOS, O. Post-Middle Oligocene origin of paleomagnetic rotations in Upper Permian to Lower Jurassic rocks from northern and southern Peru. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 210, p. 233-248, 2003.

GOTBERG, N.; MCQUARRIE, N.; CARLOTTO, V. Comparison of crustal thickening budget and shortening estimates in southern Peru (12–14°S): Implication for mass balance and rotations in the “Bolivian orocline”, New Jersey, **Geological Society American Bulletin.**, 122, 727–742, doi:10.1130/B26477.1, 2010.

HARDING, T.P. Petroleum traps associated with wrench faults, **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 58, p. 1290–1304, 1974.

HEKI, K.; HAMANO, Y.; KONO, M.; UI, T. Paleomagnetism of Neogene Ocos dyke swarm, The Peruvian Andes: Implication for the Bolivian orocline. **Journal of Geophysics Astronomic Society**, v. 80, p. 527-534, 1985.

ISACKS, B. Uplift of the Central Andes plateau and bending of the Bolivian Orocline. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, p. 3211-3231, 1988.

INGEMMET. Carta Geologica Nacional. Dirección de Geología Regional. **Mapa Geológico del cuadrángulo de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomas**. Lima, 1981. 3 mapas, color, 90 cm x 1 m. Escala 1:100000 (Boletín Técnico, 35).

JAILLARD, E.; SOLER, P. Cretaceous to early Paleogene tectonic evolution of the northern Central Andes (0-18°S) and its relations to geodynamics. Paris, **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 259, p. 41-53, 1996.

JAILLARD, E.; SANTANDER, G. La tectónica polifásica en escamas de la zona de Mañazo-Lagunillas (Puno, sur del Perú). **Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines**, Lima, v.21, n.1, p. 37-58, 1992.

JAMES, D. Andean crust and upper mantle structure, **Journal of Geophysical Research**, v. 84, p. 3246-3271, 1971.

JENKS, W. Geología de la hoja de Arequipa, al 1/200.000. Lima, **Boletín del Instituto Geológico del Perú**, v.9, p. 104, 1948.

JENKS, W.F., Triassic stratigraphy near Cerro de Pasco Peru. Lima, **Geological Society of America Bulletin**, v. 62, p. 203–220, 1951.

LLOSA, F.; VELIZ, J. ITO, B. Descubrimiento y Geología del Pórfido Cu-Mo Trapiche Apurímac – Peru. In: **CONVENCION MINERA PERUMIN**, 31, 2013, Lima.

MAHER, K.C. Skarn Alteration and Mineralization at Corocchohuayco, Tintaya District, Peru. **Economic Geology**, v. 105, p. 263-283. 2010.

MAMANI, M. Resultados de la Interpolación Regional de las Anomalías de Bouguer y su Correlación del Perú. **Boletín de la Sociedad Geológica del Perú**. v. 103, p. 255-263. 2009.

MAMANI, M. Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean orocline (13°S to 18°S): Tracing crustal thickening and magma generation through time and space. **Geological Society of America Bulletin**. v. 122, p.162-182. 2010.

MAMANI, R. **El Sistema de Fallas Incapuquio Dinámica y Relación com el Magmatismo, Region de Omate Sur del Perú**. Puno. 2009. 160 p. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Geológica), Universidad Nacional del Altiplano, Puno. 2009.

MAMANI, R. Evaluación Geológica Económica del Yacimiento Pachaconas-Sabaino, **Informe Interno AMAPA**, [S.l.], 2012. 33 p.

MARRETT, R.; ALLMENDINGER, R.W. Kinematic analysis of fault-slip data, Ithaca, USA, **Journal of Structural Geology**, v. 12, n. 8, p. 973-986. 1990.

MCKEE, E.; NOBLE, D. Miocene volcanism and deformation in the western Cordillera and high plateaus of south central Peru. **Geological Society of America Bulletin**, v. 93, n. 8, p. 657-662, 1982.

MILLER, J.M.; WILSON, C.J. **Journal of Structural Geology**. Special Issue Applied Structural Geology for Mineral Exploration and Mining, v. 26, p. 1231-1256. 2004.

MYERS, J. Cretaceous Stratigraphy and Structure, Western Andes of Perú Between Latitudes 10°-10°30'. **American Association of Petroleum Geologists**, Bulletin v. 58, p. 474-487, 1974.

MENDIVIL, S.; DAVILA, D. **Geología de los cuadrángulos de Cuzco y Livitaca**. Lima, INGEMMET, Bol. N° 52, serie A, 1994. 107 p.

MÉGARD, F.; NOBLE, D.; MCKEE, E.; BELLON, H. Multiple pulses of Neogene Compressive Deformation in the Ayacucho Intermontane Basin, Andes of central Peru. **Geological Society of America**, Bulletin, v. 95, n. 9, p. 1108-1117, 1984.

MÉGARD, F.; NOBLE, D.; MCKEE, E.; CUÉNOD, Y. Tectonic Significance of Silicic Dikes Contemporaneous with Latest Miocene Quechua III Tectonism in the Rimac Valley, eastern Cordillera of Central Perú. **Journal of Geology**, v. 93, p. 373-376, 1985.

MEGARD, F. Estudio Geológico de los Andes del Perú Central. **Ins. Geol. Min. Y Met.**, Bol. n. 8, Serie D, Estudios Especiales. 1978.

MAROCCO, R. **Um segment E-W de la chaîne des Andes péruviennes: La deflexion d'Abancay. Etude géologique de la Cordillère Orientale et des hauts plateaux entre Cuzco et San Miguel**, Trav.Doc ORSTOM, 195 p, 1978.

MERINO, J. Reporte de trabajos en Utupara (enero – diciembre): Alturas Minerales S.A. **Reportes internos**, 2007.

NOBLE, Donald et al. Caldera Related Ash-Flow Tuff of Paleocene Age in Central Perú and its Significance for Late Cretaceous and Paleocene Magmatism, Sedimentation and Tectonism, **Boletín Especial de la Sociedad Geológica del Perú**, Lima, n. 6, Alberto Giesecke Matto, p. 127-140, 2005.

NOBLE, Donald et al. Demonstration of Two Pulses of Paleogene Deformation in the Andes of Perú, **Earth and Planetary Science Letters**, v. 73, p. 345-349, 1985.

NOBLE, D.; MÉGARD, F.; MCKEE, E. Early Tertiary "Incaic" Tectonism, Uplift and Volcanic Activity, Andes of Central Perú. **Geological Society of America**, Bulletin v. 90, p. 903-907, 1979.

NOBLE, D.C.; WISE, J.M.; VIDAL, C.E. Episodes of Cenozoic extension in the Andean orogen of Peru and their relation to compression, magmatic activity and mineralization. **Sociedad Geológica del Perú**, Lima, v. jubilar 5, p. 45-66, 1999.

PALACIOS M. **Geología del Perú**. Lima, 1995, INGEMMET, Boletín N° 55, serie A, 161 p. Disponível em: <<https://www.google.com.br/search?tbm=bks&hl=es&q=Geologia+del+peru+por+Oscar+Palacios+boletin+55>>. Acesso em: 11 maio. 2014.

PERELLO, J.; CARLOTTO, V.; ZARATE, A.; RAMOS, P.; POSSO, H.; NEYRA, C; CABALLERO, A.; FUSTER, N.; MUHR, R. Porphyry-Style Alteration and Mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region, Peru. **Economic Geology**, v. 98, p. 1575-1605. 2003.

PECHO, V. **Estudio Geológico del Cuadrángulo de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomas**, Lima. INGEMMET. Carta Geologica Nacional, Bol. 35. Serie A. 95 p. 1981.

PRICE, N.J; COSGROVE, J.W. **Analysis of Geological Structures**, 1. ed. London, Cambridge University Press, 1990. 502 p.

PALACIOS, C.; DIETRICH, A.; NELSON, E.; LAYER, P. Estilos y Control de Mineralización en el Distrito Minero de Selene, Apurímac, Perú. In: CONGRESO PERUANO DE GEOLOGIA, 14., 2008, Lima. **Anais**...Lima: SGP, 2008, p. A18.

LLOSA, F.; VELIZ, J.; ITO, B. Descubrimiento y Geología del Pórfido Cu-Mo Trapiche Apurímac – Peru. In: CONVENCION MINERA PERUMIN, 31., 2013, Lima. **Anais**....Lima:IIIMP, 2013, p. tt-45.

QUISPE, J. **Características Estructurales e Isótopos de Plomo de las Mineralizaciones Auríferas de la Franja Huaytará-Tantará, Huancavelica, Perú.** 2006. 88 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais) - Universidad Complutense de Madrid. RED DESIR, Lima, 2006.

RAGAN, D.R. **Structural Geology An Introduction to Geométrical techniques.** 3ra ed., University of Minnesota: Wiley, 1985. 389 p.

RIVERA, R. **Evaluation of Ore Deposits Potential in the Andahuaylas-Yauri Batholith** INGEMMET, Mineral Resources and Energetic Direction Metallogeny Program, 2010, 111 p.

RAMSAY, J.C.; HUBER, M.I. The **Techniques of Modern Structural Geology.** v. 2: **Folds and Fractures.** London: Academic Press, 1987. 700p.

RIEDEL, W. Zur Mechanik Geologischer Brucherscheinungen Zentral-blatt fur Mineralogie. **Geologie und Paleontologie B**, p. 354-368, 1929.

RICHARDS, J.P. Tectono-Magmatic Precursors for Porphyry Cu-(Mo-Au) Deposit Formation, Alberta, **Economic Geology**, v. 98, p. 1515-1533, 2003.

ROBERT, F.; POULSEN, K.H. Vein Formation and Deformation in Greenstone Gold Deposits. **Society of Economic Geology**, v.14, p. 111-155, 2001.

ROPERCH, P.; SEMPERE, T.; MACEDO, O.; ARRIAGADA, C.; FORNARI, M.; TAPIA, C.; GARCIA, M.; LAJ, C. Counterclockwise rotation of late Eocene-Oligocene fore-arc deposits in southern Peru and its significance for oroclinal bending in the central Andes. **Tectonics**, vol. 25, p. 1-29. 2006.

ROSENBAUM, G.; GILES, D.; SAXON, M.; BETTS, PG.; WEINBERG, F.R.; DUBOZ, C. Subduction of the Nazca Ridge and the Inca Plateau: Insights into the formation of ore deposits in Peru. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 239, p.18– 32, 2005.

SANDEMAN, H.A.; CLARK, A.H.; FARRAR, E. An integrated tectonomagmatic model for the evolution of the southern Peruvian Andes (13-20°S) since 55 Ma: **International Geology Review**, v. 37, p. 1039–1073, 1995.

SANCHEZ, C.J. **Geología de los yacimientos de Skarns Chama, Provincia de Antabamba Region Inca, Departamento de Apurímac.** 1995. 49 p. Trabalho do conclusão do curso (Graduação em Engenharia Geológica) - Universidade Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 1995.

SEMPERE, T.; CARLIER, G.; SOLER, P.; FORNARI, M.; CARLOTTO, V.; JACAY, J.; ARISPE, O.; NERAUDEAU, D.; CARDENAS, J. Late Permian - Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean – age tectonics. **Tectonophysics**, v. 345, p. 153-181, 2002.

SÉBRIER, M.; SOLER, P. Tectonics and magmatism in the Peruvian Andes from Late Oligocene time to the present, **Geological Society of America Special Paper**, [S. I.], v. 265, p. 259-276, 1991.

SOULAS, J. Las fases tectónicas del Terciario superior en Perú corte Ayacucho-Pisco. **Sociedad Geológica del Perú**. Boletín, tomo n. 57-58, p. 59-72, 1977.

STEINMANN, G. Geologie von Perú. Heidelberg, Carl Winterss Universitats, **Buch Handlung**, p. 448, 1929.

VALDIVIA, V. W.; LA TORRE, O. B. PERU. Sector Energia y Minas. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú. **Revisión y actualización del Cuadrángulo de Antabamba (29-qIII)**, Lima, 2001. 1 mapa, color., 55 cm x 87 cm. Escala 1:50000.

VERGELY, P., et al. Analyse graphique des failles a l'aide des focalisation des stries, **Bull. Soc. Geol**, France, v. 3 (2), p. 395-402, 1987.

VILLEGAS J. **Características del Sistema Ag-Au del tipo Adularia-sericita proyecto Santo Domingo, Antabamba - Apurímac**. 2000. 55 p. Trabalho do conclusão do curso (Graduação em Engenharia Geológica), Universidade Nacional San Agustin, Arequipa, 2000.

VICENTE J.C.; BEAUDOUIN, B.; CHÁVEZ, A.; LEÓN I. La Cuenca de Arequipa (Sur Perú) durante el Jurásico-Cretácico Inferior. In: **CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGÍA**. 5th, 1982, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires:SGA, 1982, p. 121-153. Disponível em:
<http://books.google.com.br/books/about/Actas_del_5_Congreso_Latinoamericano_de.html?id=2MdcAAAAMAAJ&redir_esc=y>. Acesso em: 13abr. 2014.

WEISE, Stefanie. **The Andahuaylas-Yauri belt of southeastern Peru and its extension to the Chilean porphyry copper province**. [2006]. 11 p. Supervisor: PD Dr. Th.Seifert (Department of Economic Geology and Petrology, TU Bergakademie Freiberg, Germany), Disponível em:
<http://www.geo.tu-freiberg.de/oberseminar/os07_08/Stefanie_Weise.pdf>. Acesso em: 27abr. 2014.

ANEXO I. Base de dados de falhas com estrias

Setor	N	Coordenadas		Direção	Mergulho	Azimute	Estria	Indicador Cinemático
Estágio		Este	Norte	Fault strike	Fault dip	Striae trend	Striae plunge	Sense of Slip
1	1	740467	8410149	7	57	137	50	TL
Chama	2	740520	8410287	20	78	156	73	TL
Sin-Min-16	3	740584	8410419	11	60	133	56	TL
NE	4	740631	8410541	28	47	113	47	TR
	5	740616	8410657	197	76	226	63	NL
	6	740669	8410758	11	84	110	84	TL
	7	740737	8410837	3	88	181	51	TL
	8	740975	8411017	5	67	131	62	TL
	9	740986	8411165	11	82	90	82	TR
	10	741002	8411261	61	58	73	18	TR
	11	741018	8411361	75	56	170	56	TL
	12	741018	8411456	217	75	236	50	TR
	13	741034	8411536	206	78	219	47	TR
	14	741050	8411626	30	54	130	54	TL
	15	741087	8411716	70	40	181	38	TL
	16	741118	8411779	45	40	143	40	TL
Pós-Min 12		Este	Norte	Fault strike	Fault dip	Striae trend	Striae plunge	Sense of Slip
Chama	1	742796	8410673	343	69	25	60	TR
NW	2	742664	8410753	348	40	15	21	TR
	3	742433	8410823	313	81	50	81	TL
	4	742218	8410894	315	70	25	69	TR
	5	742012	8410966	130	71	180	66	TR
	6	741845	8411029	132	45	289	21	TL
	7	741663	8411212	165	47	345	0	TL
	8	741480	8411347	185	70	289	69	TL
	9	741250	8411490	163	55	295	47	TL
	10	741123	8411577	160	60	296	50	TL
	11	740925	8411649	159	58	278	54	TL
	12	740647	8411736	143	42	255	40	TL
2		Este	Norte	Fault strike	Fault dip	Striae trend	Striae plunge	Sense of Slip
Cocorpiña	1	736106	8410830	7	57	137	50	TL
Sin-Min 13	2	736141	8410887	20	78	156	73	TL
	3	736166	8410918	11	60	133	56	TL
	4	736174	8410967	28	47	113	47	TR
	5	736121	8410990	343	69	123	59	TL
	6	736184	8411022	348	40	104	37	TL
	7	736237	8411003	11	84	110	84	TL
	8	736272	8410977	3	88	181	51	TL
	9	736306	8411029	5	67	131	62	TL
	10	736290	8411053	11	82	90	82	TR
	11	736322	8411093	30	54	130	54	TL
	12	736253	8411096	15	72	155	63	TL
	13	736192	8411088	5	39	74	37	TR

Cocorpiña		Este	Norte	Fault strike	Fault dip	Striae trend	Striae plunge	Sense of Slip
Pós-Min 10	1	735880	8410492	197	76	226	63	NL
N-S	2	735909	8410572	195	69	292	69	NR
	3	735959	8410712	198	85	288	85	NL
	4	736015	8410826	197	76	226	63	NL
	5	736132	8410978	175	78	210	70	NL
	6	736265	8411151	11	84	110	84	TL
	7	736386	8411267	175	75	290	74	NR
	8	736507	8411371	133	51	275	37	TL
	9	736591	8411430	132	45	282	27	TL
	10	736670	8411490	165	47	300	37	TL
3		Este	Norte	Fault strike	Fault dip	Striae trend	Striae plunge	Sense of Slip
Huaychulo	1	732982	8412995	175	75	290	74	NR
Pré-Min 9	2	732975	8413027	185	70	262	70	TR
N-S	3	732960	8413047	170	45	280	43	NR
	4	732971	8413074	180	50	270	50	NL
	5	732975	8413107	165	58	273	57	NR
	6	732988	8413125	163	55	258	55	NR
	7	732980	8413151	160	60	278	57	NR
	8	733002	8413169	179	57	308	50	NR
	9	733001	8413193	195	69	292	69	NR
Huaychulo		Este	Norte	Fault strike	Fault dip	Striae trend	Striae plunge	Sense of Slip
Sin-Min 10	1	732995	8413227	7	57	137	50	TL
N-S	2	732992	8413207	20	78	156	73	TL
	3	732996	8413180	11	60	133	56	TL
	4	732995	8413157	28	47	113	47	TR
	5	732987	8413130	11	84	110	84	TL
	6	732978	8413105	3	88	181	51	TL
	7	732965	8413080	5	67	131	62	TL
	8	732969	8413025	11	82	90	82	TR
	9	732971	8413008	30	54	130	54	TL
	10	732975	8412989	354	35	150	16	TL
4		Este	Norte	Fault strike	Fault dip	Striae trend	Striae plunge	Sense of Slip
Mollebamba	1	725265	8403444	313	81	327	56	TR
Pós-Min 10	2	725216	8403246	124	57	288	23	NR
NW	3	725588	8402969	130	71	274	60	TL
	4	725644	8402842	166	74	215	69	TR
	5	725611	8402701	133	51	275	37	TL
	6	725682	8402590	132	45	282	27	NR
	7	725721	8402416	163	55	258	55	TL
	8	725824	8402314	160	60	278	57	TL
	9	725903	8402204	143	42	255	40	TL
	10	726038	8401991	160	60	321	30	TL

5		Este	Norte	Fault strike	Fault dip	Striae trend	Striae plunge	Sense of Slip
Santo	1	749202	8394719	175	75	290	74	NR
Domingo	2	749030	8394878	158	57	281	52	NR
Pré-Min 11	3	748831	8395063	313	81	327	56	NL
NW	4	748686	8395182	151	70	285	63	NR
	5	748487	8395063	150	65	305	42	NR
	6	748210	8395288	124	57	288	23	NR
	7	748210	8395592	130	71	274	60	NR
	8	747985	8395843	133	51	275	37	NR
	9	747641	8395949	132	45	282	27	NR
	10	747641	8396240	165	47	300	37	NR
	11	747442	8396769	150	51	245	51	NR
Veio Sant D		Este	Norte	Fault strike	Fault dip	Striae trend	Striae plunge	Sense of Slip
Sin-Min 10	1	750457	8395809	217	75	236	50	NL
NE	2	750579	8395951	206	78	219	47	NL
	3	750782	8396124	210	54	325	51	NR
	4	751534	8396672	220	50	320	50	NR
	5	751777	8396794	225	40	330	39	NR
	6	752011	8396865	220	60	320	60	TL
	7	752295	8396997	53	40	105	33	TR
	8	752488	8397038	210	49	311	48	NR
	9	752722	8397078	241	60	320	60	NL
	10	752946	8397180	45	60	143	60	NR
Veio Vitoria		Este	Norte	Fault strike	Fault dip	Striae trend	Striae plunge	Sense of Slip
Sin-Min 7	1	753545	8396825	241	58	5	53	NR
NE	2	753778	8396987	255	56	1	55	TL
	3	753992	8397109	217	75	236	50	NL
	4	754164	8397282	206	78	219	47	NL
	5	754317	8397414	217	75	236	50	NL
	6	754500	8397536	240	54	2	49	NR
	7	754814	8397607	230	72	2	66	NR
V-Minacasa		Este	Norte	Fault strike	Fault dip	Striae trend	Striae plunge	Sense of Slip
Sin-Min 11	1	753230	8397251	217	75	236	50	TR
NE	2	753423	8397424	206	78	219	47	TR
	3	753626	8397556	45	40	143	40	TL
	4	753921	8397657	210	49	311	48	TL
	5	754185	8397759	217	75	236	50	TR
	6	754449	8397861	206	78	219	47	TR
	7	754642	8398054	70	40	181	38	TL
	8	754906	8398257	45	40	143	40	TL
	9	755211	8398409	210	49	311	48	TL
	10	755383	8398561	45	60	143	40	NL
	11	755556	8398803	217	75	236	50	TR