

Universidade de São Paulo

Instituto de Geociências

CARACTERIZAÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS E DO
FLUIDO MINERALIZADOR DO DEPÓSITO DE ANDAYCHAGUA, DISTRITO
MINEIRO DE YAULI, PERU

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-2017/32)

SÃO PAULO

2017

"A vida só pode ser compreendida olhando para trás,
mas só pode ser vivida olhando para frente"

Kierkegaard, Soren

Agradecimentos

Inicialmente queria agradecer a Deus por toda a força e luz que tenho e por abrir as portas para a realização dos meus objetivos.

Agradeço pela confecção deste trabalho, ao Professor Colombo, que me guiou durante toda a graduação nos meus afazeres acadêmicos e possibilitando a execução logística deste trabalho. Ao futuro professor Maurício Borba, por ter me ajudado de forma sem igual nas mudanças que este trabalho teve, sempre me dando o maior apoio acadêmico e fornecendo bons momentos de risada durante a parte final e mais importante da confecção deste trabalho. Gostaria de agradecer a todos os trabalhadores da empresa Volcan Compañia Minera S.A. que eu tive contato, em especial ao Jorge Quispe, pelo convite de viagem de campo e confecção deste trabalho, ao Alberto Gazzo, ao Don Lucho, ao Angel Neyra, Carmen Carpio, Jhan, Zorrito, Gustavo Sulca, Jarold, Don Lucho Gonzales. Queria agradecer fortemente a todos os funcionários do IGC-USP que desde quando eu era bixo me ajudaram, em especial aos meus professores pelas aulas que foram essenciais para minha formação acadêmica. Dentre os funcionários gostaria de agradecer principalmente aos: Vasco, Isaac, Arthur, Maria Helena, Paulinho da laminação, Paulinho do polimento e Paulinho do GSA, a querida Silvana do SHRIMP que sempre me ajudou com palavras e desembaraços alfandegários, Professor Basei, Key Sato, Claudia Passareli, Professor Caetano, Professor Gustavo e Professora Lena, pelas pequenas e grandes ajudas fornecidas para a confecção deste trabalho.

Agradeço fortemente minha família, em especial a famosa Dona Thereza, ao Fabião, ao Lolo e Lala, a Naty, a Titão, Katioca, Ti e Gui, ao Cabeça, a Ana e a Dona Therezinha, que contribuíram positivamente em minha vida, me guiando e me ajudando na minha jornada na faculdade e na vida, sem vocês isso não chegaria nem perto de ser possível, muito obrigado. Queria agradecer a Lele pelo incessante apoio nas dificuldades que a vida nos dá, pelas palavras de sabedoria e fé que ela me transmite e por todo o amor que me fornece. Queria agradecer toda a família Ribeiro por todos os momentos de ajuda, apoio emocional e por fazerem eu me sentir parte desta família.

Agradeço aos meus amigos que essa faculdade me proporcionou que, talvez devido a correria do dia-a-dia não os dê muita atenção, entretando, vocês são grande parte de mim. Em especial agradeço ao: Clone, Vera, Fedida, Arregão, Reguinha, Titxeras, Pipoca, por serem os mais 'chegados' e por dividirem comigo, durante a graduação, momentos inesquecíveis e muito bons, entre eles gordícisses, risadas, zoeiras e momentos de aprendizagem que são muito importantes para o meu conhecimento. Em segundo lugar, gostaria de agradecer a toda Turma 56 por dividir campos, trabalhos, tarefas e provas comigo,

que por mais que alguns não tenham muita proximidade, a turma como um todo sempre será lembrada na cabeça e no coração.

Agradeço aos meus amigos fora da universidade que são de grande importância ao que eu sou hoje. Em especial aos que me ajudaram durante a graduação, que são os amigos do Grupo A.C.M e agregados, que sempre me faziam dizer qual que eram todas as rochas (ou pedras) que encontrávamos e que sempre perguntavam se tinha realmente pedra na minha mochila, e eu confirmava. Mas o que eu fico mais grato é por saber que temos uma amizade verdadeira e depois de um dia estressante vou poder chegar no prédio e ter esses amigos que me ajudam a descansar

Muito Obrigado.

Resumo

A Mina de Andaychagua localizada no Domo de Yauli, na porção central do Peru é formado por uma série de veios mineralizados. Os mais importantes são Veio Andaychagua, Veio Properidade, Veio Esther e Veio Prosperidad Este. As rochas hospedeiras são os filitos do Grupo Excelsior, formada em ambiente submarino profundo, e as rochas vulcânicas do Grupo Mitu. As alterações hidrotermais apresentadas nas rochas hospedeiras é sericitização, carbonatação e cloritização, associada com a percolação de fluidos hidrotermais responsáveis pelas mineralizações do depósito. Nas regiões próximas aos grandes veios mineralizados se observa intensa semitização nas rochas encaixantes.

Os minerais de minério associado as mineralizações são esfalerita, galena, calcopirita, pirita, tendo como minerais de ganga, clorita, calcita, quartzo, k-feldspato, plagioclásio e ankerita. Essa paragênese é característica de depósitos Cordilheiranos que são depósitos polimetálicos de metais de base tardios às mineralizações do tipo pórfiro e *high sulfidation*. As rochas estudadas neste trabalho são formadas por andesitos com alto grau de hidrotermalismo, evidenciado pela intensa modificação textural e mineralógica da rocha original. A formação dos minerais hidrotermais está associada com a obliteração quase por completa das feições ígneas.

O hidrotermalismo foi responsável pela formação de megacristais de clorita e calcita, associado com sulfetos, e de uma matriz muito fina composta por calcita, calcita, quartzo e plagioclásio. Devido a características de texturais na rocha é possível evidenciar que o fluido mineralizador varia suas características de sulfidação. O fluido apresenta características iniciais de intermediate *sulfidation* e, posteriormente *low sulfidation*. Essas texturas são formadas por forte foliação, composta por sulfetos e minerais de ganga que caracterizam o fluido como *low sulfidation* e os veios oblíquos apresentam adularia e calcita, característico de fluidos *low sulfidation* e também por feições mineralógicas, como *chacopyrite disease*.

Abstract

The Andaychagua Mine located in the Yauli Dome, in the central portion of Peru is formed by a series of mineralized veins. The most important are Veio Andaychagua, Veio Propriedade, Veio Esther and Veio Prosperidad Este. As host rocks are the phyllites of the Excelsior Group, formed in deep underwater environment, and volcanic rocks of the Mitu Group. The hydrothermal alteration presented in the host rocks are sericization, carbonation and chloritization, associated with percolation of hydrothermal fluids responsible for mineralization.

The associated ore minerals associated with mineralizations are sphalerite, galena, chalcopyrite, pyrite, having as minerals of gangue, chlorite, calcite, quartz, k-feldspar, plagioclase and ankerite. This paragenesis is characteristic of Cordillerano deposits that are polymetallic deposits of base metals that is late in relation to porphyry deposits and high sulphidation epithermal deposits. As rocks studied in the work are formed by andesites with high degree of hydrothermalism, evidenced by the intense textural and mineralogical modification of the original rock. The formation of hydrothermal minerals is associated with an almost complete obliteration of the igneous features.

Hydrothermalism was responsible for the formation of chloride and calcite megacrysts, associated with sulfides, and of a very fine matrix composed of calcite, calcite, quartz and plagioclase. Due to textured characteristics in the rock, it is possible to show that mineralizing fluid varies its sulfidation characteristics. The fluid presents initial characteristics of intermediation sulfidation and low sulphidation. These textures are formed by strong foliation composed of sulphides and ganga minerals that characterize the fluid as low sulphidation and oblique veins presented adulteration and calcite, characteristic of low sulfidation fluids and also by mineralogical features, such as chalcopyrite disease

Sumário

1.INTRODUÇÃO	2
2.OBJETIVOS	3
3.LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	4
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
4.1. Revisão Bibliográfica.....	6
4.2. Trabalho de Campo	6
4.3. Descrição macroscópicas de amostras.....	9
4.4. Petrografia de luz transmitida e refletida	10
4.5.MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura.....	10
4.6.Métodos de separação de zircão para análise U-Pb (SHRIMP)	11
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
5.1. Rochas Andesíticas	12
5.2 Metassomatismo e reações hidrotermais.....	13
5.2.1 Sistema Hidrotermal associado a complexos vulcânicos e vulcânico-plutônico	16
5.3 Depósitos do tipo Cordilheirano	21
5.4.Depósito polimetálico de Andaychagua	24
5.4.1 Recursos e Reservas Andaychagua.....	24
5.4.2 Mineralização do depósito	27
5.5.Contexto Geológico	29
5.5.1 Geologia Regional	29
5.5.2 Domo de Yauli.....	29
5.5.3 Litoestratigrafia da área de estudo	31

6. RESULTADOS OBTIDOS	34
6.1 Descrição macroscópica das amostras	34
6.1.1 Rochas Encaixantes	34
6.1.2 Veios e corpos estratiformes mineralizados	36
6.2 Análise Estrutural	38
6.3 Descrição macroscópica	39
6.4 Micrografia	43
6.5 Dificuldades surgidas e alteração nos objetivos originais	56
7. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	57
7.1 Rochas hospedeiras e alterações hidrotermais envolvidas	57
7.2 Características do Fluido Hidrotermal	58
7.4 Análise estrutural e tectônica	63
8. CONCLUSÕES	64
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de acessos da Mina de Andaychagua.	4
Figura 2: Mapa da porção Central Peruana em destaque para a região estudada. (Modificado Volcan, 2015)	5
Figura 3: Imagem de satélite da mina de Andaychagua com os pontos estudados. ...	7
Figura 4: Mapa de amostras utilizadas no trabalho, apresentando em preto o nome da amostra e em vermelho a profundidade coletada.	8
Figura 5: Diagrama TAS que representa os campos de cada rocha de acordo com sua % em peso de sílica versus % em peso de álcalis. (Modificado de Le Bas, 1986)	12
Figura 6: Diagrama QAP para rochas vulcânicas. Sendo Q: quartzo, A: feldspato alcalino e P: feldspato plagioclásio. (Modificado de Streckeisen, 1967)	13
<i>Figura 7: Ilustração genérica do zoneamento das alterações hidrotermais para depósitos de pórfiro telescópico (Sillitoe, 2010).....</i>	<i>20</i>
Figura 8: Ilustração esquemática dos processos de um sistema magmato - hidrotermal pórfiro e suas correlações depósitos LS e HS e as suas dependências com o corpo intrusivo. (Retirado de Hedenquist, 2000)	21
Figura 9: Representação genérica de um sistema pórfiro mostrando as relações espaciais entre os depósitos Mo-Cobre pórfiro, Au-Ag epitermal <i>high sulfidation</i> , e depósitos polimetálicos cordilheiranos em rochas vulcânicas e rochas carbonáticas, sendo em A os depósitos os depósitos polimetálicos cordilheiranos na forma de veios hospedados em rochas vulcânicas e em B hospedados em rochas carbonáticas estratiformes concordantes com a estratificação e também corpos irregulares. A figura apresenta a paragénesese de minérios conforme a diminuição da temperatura em um depósito Cordilheirano. (Alterado de Fontboté et al. 2009).....	22
Figura 10: Relação Geral entre os resultados de exploração, recursos minerais, e reservas minerais. (Modificado de JORC Code, 2012 edition).	25
Figura 11: Coluna litoestratigrafia do Domo de Yauli, e o evento tectônico que a bacia se encontrava durante a sedimentação de corresponde a cada grupo na coluna. (Rosas et al., 2007)	32
Figura 12: A) Filito com presença de veios compostos por sulfetos e quartzo oblíquos, às estruturas sedimentares bem preservadas, levemente oblíquos. B) Filito com presença de	

carbonatos de origem hidrotermal entre os planos de estruturação sedimentar, com alteração hidrotermal elevada, tomando a mesma coloração clara e acamamento pouco preservado. C) Filito com baixa alteração hidrotermal e acamadamento sedimentar preservado. 35

Figura 13: Imagem que mostra o veio andaychagua e suas paragêneses de mineral de minério. As encaxantes se apresentam como rochas metavulcânicas com alteração argílica avançada. 37

Figura 14: Diagrama de Wulff que contém as atitudes dos fraturamentos medidos na mina de Andaychagua. As atitudes estão representadas por suas projeções polares. 38

Figura 155: Testemunho de sondagem das amostras DDH-U-AN-16-80, mostrando sua feição macroscópica 39

Figura 16: Amostra DDH-U-AN-16-37 de mão oriunda de um testemunho de sondagem, mostrando suas feições macroscópicas. 40

Figura 17: Testemunho de sondagem da amostra DDH-U-AN-16-48 mostrando suas feições macroscópicas..... 41

Figura 18: Testemunho de sondagem das amostras DDH-U-AN-16-85 mostrando suas feições macroscópicas..... 42

Figura 19: Testemunho de sondagem das amostras DDH-U-AN-16-78 mostrando suas feições macroscópicas..... 43

Figura 20: A) Micrografia de luz refletida com aumento de 10x, mostrando Cpy e Au disseminados. B) Micrografia de luz transmitida com aumento de 10X mostrando a relação entre os minerais opacos e os componentes principais da matriz (chl, calcita e qtz) fina. (Abreviações: Cpy: Calcopirita, Au: Ouro, Cal: Calcita, Chl: Clorita). 47

Figura 21: A) Fotomicrografia de luz transmitida com aumento de 10x representando mgt bordeando os megacristais de calcita. B) Fotomicrografia de luz transmitida com aumento de 10x mostrando a relação dos megacristais de cal, bordeados por mgt, com a matriz composta por mgt+ chlmaiscal. C) Micrografia eletrônica de varredura com aumento de 10x mostrando bar (37006-10) e mgt (37006-6). D) Gráfico que representa os resultados de EDS e composição dos cristais de barita. E) Gráfico que representa os resultados de EDS e a composição das magnetitas que bordeiam os megacristais de calcita..... 47

Figura 22: A) Fotomicrografia de luz refletida com aumento de 20x. Apresenta-se a associação de Au com cpy disseminados. B) figura análoga a figura 20. B só que com aumento de 10X. Se observa melhor como que ocorre a Cpy e Au disseminados pela rocha. C)

Micrografia de luz transmitida com luz polarizada mostrando a relação entre cpy e Au com os minerais hidrotermais associados, entre eles, qtz, cal, e a matriz composta por clorita e calcita finas. (Abreviações: Cpy: Calcopirita; Au: Ouro, Cal: Calcita, Qtz: Quartzo) 50

Figura 23: A) Fotomicrografia de luz refletida com aumento de 20X. Diferentes fases de formação da cpy, uma inicial disseminada, fina e associada com Au, e a segunda fase em veios, de granulação grossa, associada com calcita e quartzo. B) Fotomicrografia de luz transmitida mostrando a relação entre a cpy disseminada e em veios e os outros minerais que são relacionados, como calcita e quartzo. C) Fotomicrografia de luz refletida com aumento de 20X mostrando as diferentes fases de formação da cpy. Nota-se a distinção de granulometria entre a fase disseminada e a fase em veios. D) Fotomicrografia de luz transmitida com aumento de 20X e luz polarizada mostrando as relações entre a Cpy e o Au e os minerais não opacos. Nota-se que associado com a cpy ocorre grãos de adulária. (Abreviações: Cpy: Calcopirita, Au: Ouro, Adl: Adulária, Cal: Calcita, Qtz: Quartzo). 51

Figura 24:A) Fotomicrografia com luz transmitida, polarizadores descruzados e aumento de 10x das amostras DDH-U-AN-16-004. A imagem mostra a matriz composta por sericita, calcita e clorita, como pseudomórfos de plagioclásio na forma de ripas finas representando o aspecto ígneo da rocha original. B) Fotomicrografia com luz transmitida, polarizadores cruzados e aumento de 10x da amostra DDH-U-AN-16-004 com polarizadores cruzados, mostrando as mesmas feições da figura 26.A. C) Fotomicrográfrica com luz transmitida, polarizadores descruzados e aumento de 10x da amostra DDH-U-AN- 16-004 apresentando um veio milimétrico oblíquo a foliação principal composto por adularia, calcita e calcopirita. 52

Figura 25: A) Fotomicrografia de luz transmitida das amostras DDH-U-AN-16-78 com polarizadores descruzados e aumento de 1,25x. Imagem que ilustra a matriz muito fina da rocha composta por sericita, clorita e calcita fortemente orientada pela foliação principal e também os megacristais de calcita, orientados fortemente segundo a foliação principal. B) Fotomicrografia de luz transmitida da amostra DDH-U-AN-16-78 com polarizadores de cruzados e aumento de 50x mostrando em detalhe os megacristais de calcita orientados segundo a foliação principal e alterados nas bordas por clorita. 54

Figura 26:A) Fotomicrografia com luz transmitida, polarizadores descruzados e aumento de 50X, mostrando a alteração pervasiva da clorita em plagioclásio, nota-se também a forte foliação apresentada pela rocha pelos minerais de alteração. B) Fotomicrografia de luz transmitida, com polarizadores descruzados e aumento de 50X, mostrando as ripas grossas composta por concentração de sericita e secundariamente calcita, as concentrações de calcita arredondada formando megacristais orientados pela foliação principal e também as megacristais de clorita intersticiais e fortemente orientadas segundo a foliação principal. 56

Figura 27: Diagrama que representa o estado de sulfidação do fluido do depósito de Andaychagua (retângulo vermelho), a variação do estado de sulfidação das assembleias mineralógicas em depósitos epitermais refletindo seu estado de sulfidação, desde very low sulfidation, low sulfidation, intermediate sulfidaton, high sulfidation até very high sulfidation. Apresenta também os campos composicionais de arcos vulcânico, fumarolas de altas temperaturas, fluidos magmáticos hidrotermais e fluidos geotermais, como discutido por Einaudi et al. (2003). (Modificado de Einaudi et al., 2003). 61

Figura 28 Diagrama Log fS₂ - 1000/T controlado por R_s, Log fS₂ - 1000 / T diagrama, contornado para R_S, ilustrando ambientes fluidos em cobre pórfiro, cobre pórfiro relacionados com os veios de base-metal e os depósitos epitermais de Au-Ag em termos de uma série de caminhos de arrefecimento possíveis são influenciados por processos discutidos por Einaudi e Hedenquist 2003. Ambientes fluidos baseiam-se em conjuntos de sulfetos e temperaturas característicos discutidos por Einaudi e Hedenquist (2003) e as reações de sulfidação de Barton e Skinner (1979). Flecha rotulada "Cu-Au-Mo" de pórfiro refere-se a conjuntos de idade inicial e intermediária depositados a aproximadamente 500 a 350 ° C e estados de sulfidação de baixo a intermediário. As setas rotuladas como "N" e "O" representam desvios da linha principal do ambiente de formação do depósito. Transição para assembleias tardias em estados de alta sulfidação e para "Zoned base metal veins" com temperatura de até 350 ° C é indicada por seta cinzenta com a etiqueta " T ". As montagens sulfídicas nos últimos depósitos descrevem um retorno de sulfidação muito alta para os estados intermediários de sulfidação do "tampão de rocha". (Einaudi e Hedenquist, 2003). Da mesma forma, HS os depósitos epitermais consistem em uma assembleia inicial precoce em cobre e alta sulfidação, seguida de um estágio rico em Au com estados intermediários de sulfidação. Os depósitos epitermais (não mostrados) são de cerca de 250 ° C e principalmente no intermediário estados de sulfidação. Os veios de ouro epitermal de LS são mostradas perto de 200 ° C e em estados de sulfidação baixos a intermediários próximos a tamponação pela interação com a rocha. Outros depósitos de pórfiro que se formam em estados de sulfidação baixos e até muito baixos (escuros, finos as setas denominadas "Mount Pleasant" W-Mo e as veias relacionadas com Sn-Zn-Cu (Retirado de Einaudi e Hedenquist, 2003) 62

1.INTRODUÇÃO

O depósito polimetálico peruano de Andaychagua, localizado na Serra Central Peruana, em Andaychagua, pertencente ao departamento de Junín, há 156 km. de Lima na Zona Central Peruana é objeto de estudo deste trabalho. Tal depósito é constituído por veios de grande porte mineralizados em zinco, chumbo, prata e cobre, encaixados em rochas metavulcânicas e metassedimentares. Estes encaixantes constituem-se de filitos e xistos do grupo Excelsior (Harrison, 1940, McLaughing 1924 *apud* Kobe 1990), arenitos finos e rochas metavulcânicas (metavulcânicas Catalina), do Grupo Mitu (Rosas *et al.*, 2007).

Este trabalho compreende estudos na Mina Andaychagua, de propriedade da empresa peruana Volcan Compañia Minera S.A.A, aqui referida somente como Volcan. A empresa é uma das maiores produtoras de Zn, Pb e Ag do mundo e teve o início das suas operações em 1943 na mina de Tíclio, e hoje atua com minas nas Serra Central Peruana. A Mina Andaychagua faz parte de em um contexto mineiro maior, denominado Unidade Mineira de Yauli, que possui cinco minas em operação, sendo essas: a mina de San Cristobal, Andaychagua, Tíclio e Carahuacra, que são subterrâneas; e a mina Carahuacra Norte, operada a céu aberto.

O depósito Andaychagua possui três zonas que abrigam importante mineralização, sendo os veios denominados Andaychagua, Prosperidad Este e Esther. As estruturas de maior concentração de metais, apresentando esfarelita, galena argentífera, marmatita, pirargirita e calcopirita como minerais de minério.

Os dados existentes para este depósito mineral ainda são escassos e o mesmo carece de informações quanto a sua gênese, o que poderia auxiliar tanto na lavra, como na exploração *brownfield*. Na indústria mineral, quanto maior for o número de informações existentes, maior confiabilidade na tomada de decisões haverá, assim, companhias de mineração buscam dados que permitam a classificação dos modelos genéticos onde operam.

Atualmente, a empresa Volcan adotou a utilização da classificação de epitermal do tipo Cordilherano Polimetálico, definido inicialmente por Sawkins (1972). No entanto, esta classificação obtida com base em dados de campo, carece de detalhamento petrográfico e paragenético completo. Desse modo, este estudo traz este levantamento, definindo a paragénese mineral e contribuindo na identificação do modelo genético de Andaychagua.

Para este trabalho foi realizada a identificação dos litotipos mineralizados, com descrição petrográfica em microscópio de luz transmitida e refletida, estabelecendo a paragénese mineral. Esta investigação do depósito de Andaychagua, por meio de petrografia

de minério e ganga, possibilitou caracterizar a alteração hidrotermal associada. Ainda, a definição da paragênese auxiliou na determinação das condições físico-químicas que originaram e comandaram a migração dos fluidos mineralizantes que geraram depósito.

Com base nos resultados obtidos, foram estabelecidas as condições para alteração hidrotermal, como intervalos de temperatura, estado de sulfidação e pH, permitindo a classificação do modelo genético do depósito de Andaychagua, assim como a classificação do fluido mineralizador do depósito.

Este tipo de estudo é de notável importância para o conhecimento da evolução da área em que o depósito está inserido, bem como, do contexto geológico da zona. Além disso, os resultados apresentados buscam auxiliar nos estudos de exploração mineral e na tomada de decisões para a Unidade Mineira de Yauli.

2.OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho compreende o estudo petrográfico das rochas hospedeiras e dos minerais de minério e ganga do depósito polimetálico de Andaychagua, Peru. Assim, objetivamos a interpretação dos processos hidrotermais responsáveis pela mineralização e da caracterização do modelo genético associado. Para tal, foram realizadas as seguintes etapas:

1. Obtenção de uma síntese das relações geológicas existentes entre a mineralização e as rochas hospedeiras;
2. Definição das características petrográficas das rochas ígneas presentes na área e eventos relacionados;
3. Descrição dos minerais de minério e ganga ocorrentes nos veios mineralizados;
4. Identificação das alterações hidrotermais relacionadas com os eventos mineralizadores;
5. Definição dos intervalos de temperatura, pressão e pH envolvidos nos processos mineralizantes;
6. Caracterização do modelo genético para o depósito de Andaychagua.

3.LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A mina de Andaychagua está localizada no departamento de Junín, na cidade de San José de Andaychagua. A mina fica localizada a 165 km. de Lima e o seu acesso principal (Figura 1) se dá pela Rodovia Pan-americana Norte sentido leste, direção a Autopista Ramiro, entrando nesta, segue-se em direção a Rodovia Principal, seguindo até a saída a leste para entrar na estrada de terra da *Compañia Minera Yauliyacu*. Seguindo por essa estrada por mais 30km. Entrando no departamento de Junín, e seguindo a leste até a mina de Andaychagua. Este trajeto leva em média cinco horas para ser realizado, porém, devido a recorrentes deslizamentos de terra e solos (*Guaicos*) pode levar até 18 horas pra percorrer todo o trajeto. Este caminho se dá cordilheira a cima, com uma variação de 4500 metros de altitude.

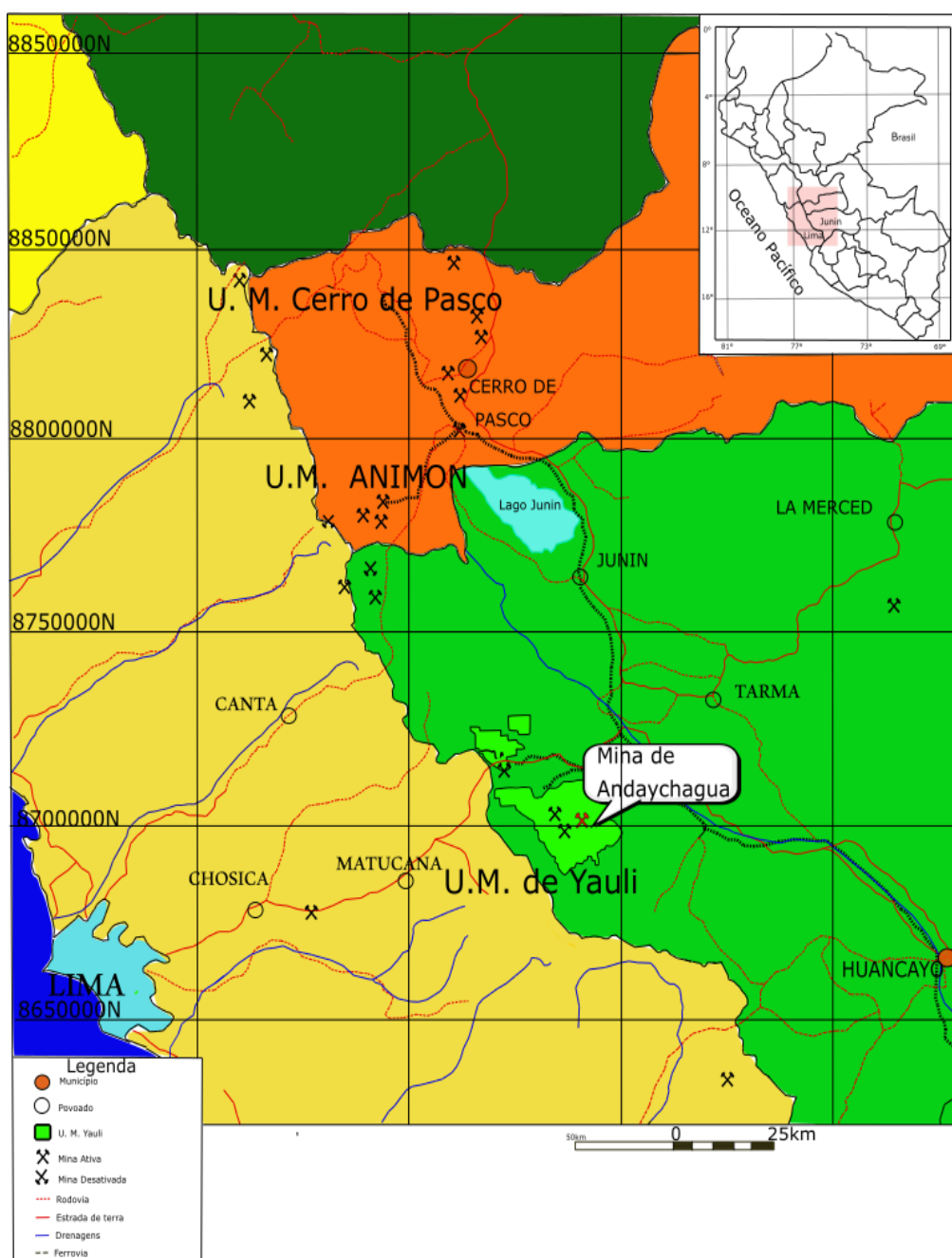


Figura 1: Mapa de acessos da Mina de Andaychagua.

O distrito mineiro de Andaychagua está localizado na zona Central Peruana, a aproximadamente 181 km para SE de Lima, sobre o Flanco Oeste da Cordilheira Ocidental dos Andes Centrais Peruanos. O centro deste empreendimento mineiro possui coordenadas 76°05' de longitude Oeste e 11°43' de latitude Sul, com uma altitude média de 4600 metros sobre o nível do mar.

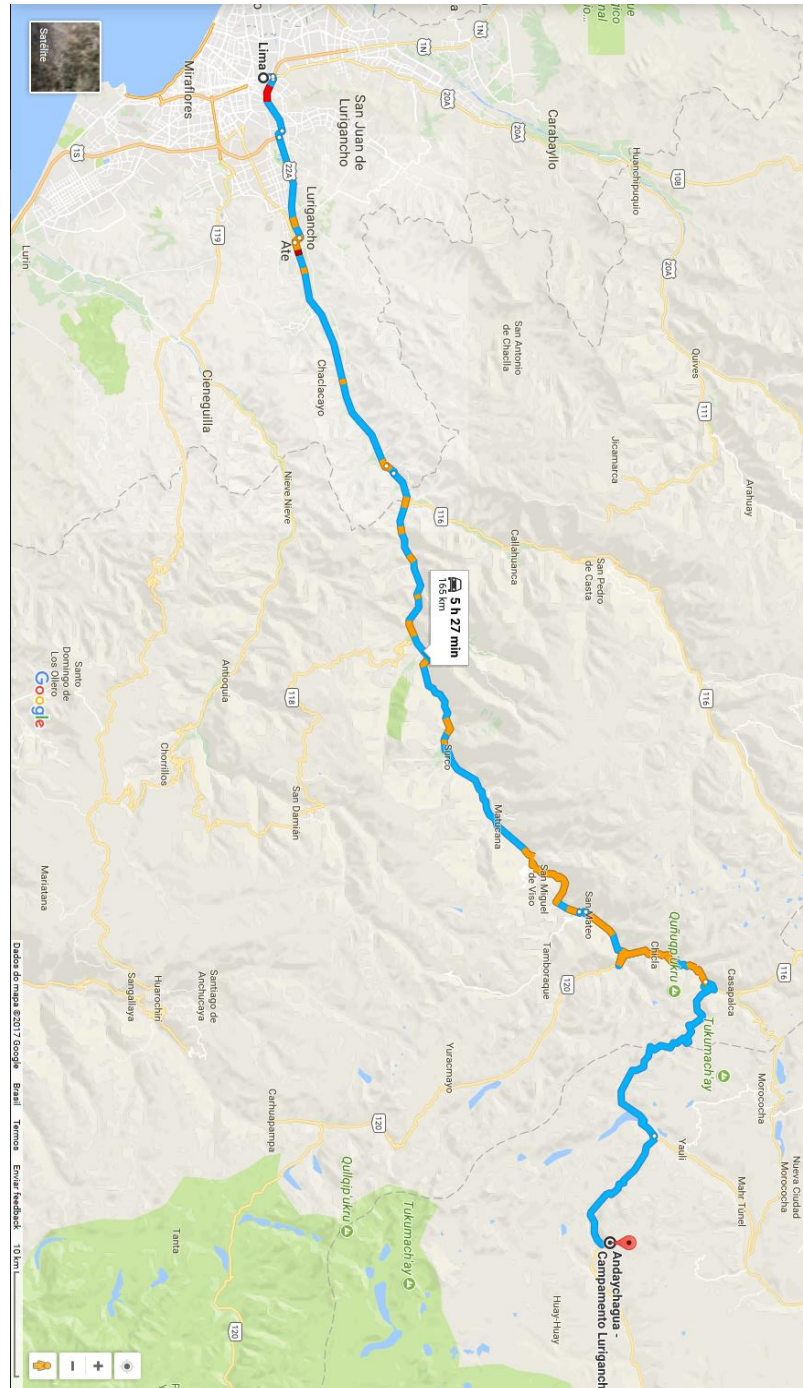


Figura 2: Mapa da porção Central Peruana em destaque para a região estudada. (Modificado Volcan, 2015)

Seguindo as classificações regionais Peruanas, ele está geograficamente localizado em San José Andaychagua, no Distrito de Huayhuay, da Província de Yauli, no Departamento de Junín (Figura 2).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Revisão Bibliográfica

Durante toda a execução deste trabalho, foi realizada revisão bibliográfica a respeito de mineralizações polimetálicas do tipo epitermal e processos hidrotermais relacionados. Além disso, foram levantados dados da geologia do Domo de Yauli, anticlinal Chumpe e do depósito polimetálico de Andaychagua, bem como, da geologia regional.

Este procedimento teve a finalidade de adquirir constantemente conhecimentos de trabalhos e estudos já realizados sobre esses temas em questão.

4.2. Trabalho de Campo

Foi realizado um trabalho de campo de 25 dias para a Mina de Andaychagua, localizada em San José de Andaychagua, departamento de Junín, em janeiro/2017. Neste período, foram obtidas informações gerais do depósito, coleta e descrição de amostras para a realização das etapas de análise e coletada de dados estruturais. Assim, foi possível também a ambientação com o trabalho de geólogo de mina, na parte de *brownfield* da Unidade Mineira de Yauli (Figura 3). As amostras usadas neste trabalho são oriundas de testemunhos de sondagens realizadas pela Volcan. A coleta foi feita com maior abrangência espacial possível, levando em conta a profundidade das mesmas, suas proximidades com veios e estruturas regionais, e sua representatividade (Figura 4)



Figura 3: Imagem de satélite da mina de Andaychagua com os pontos estudados.

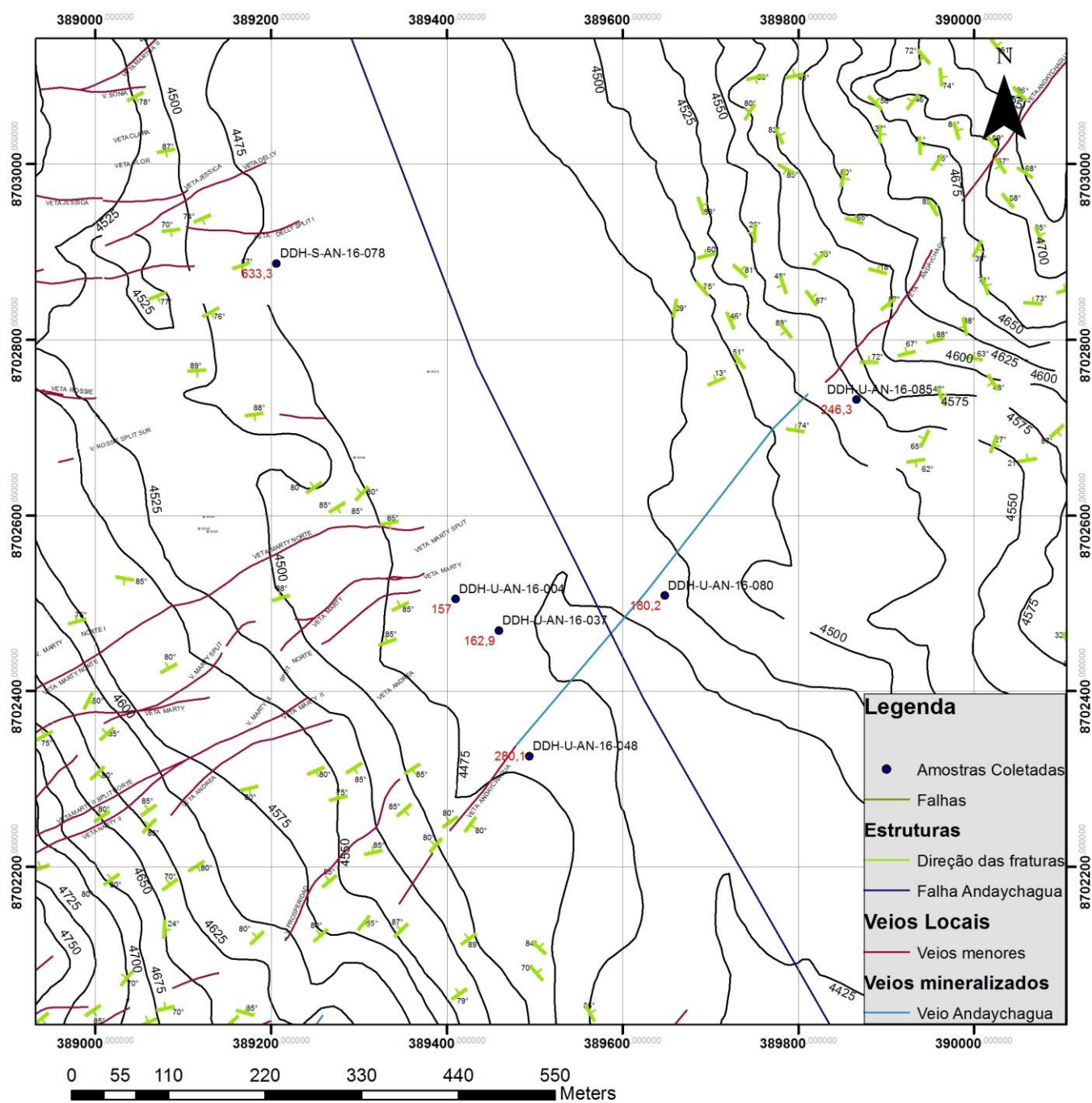


Figura 4: Mapa de amostras utilizadas no trabalho, apresentando em preto o nome da amostra e em vermelho a profundidade coletada.

4.3. Descrição macroscópicas de amostras

No galpão de testemunhos da mina, foram descritas 78 amostras de campo representativas do depósito. Esta descrição permitiu identificar os minerais de minério e ganga, classificar as rochas encaixantes e realizar a caracterização primária das alterações hidrotermais associadas.

Para a caracterização da mineralogia, em campo, foram utilizados os seguintes instrumentos/substâncias: lupa de bolso com aumento de 10 vezes, para ampliar os minerais e texturas; riscador de tungstênio para verificação da dureza relativa; HCl para constatação de carbonatos e ímã de mão, para detecção de minerais magnéticos.

Dessas amostras mencionadas, 72 foram coletadas em frente de lavra de túneis desativados no interior da mina, 6 são oriundas de testemunhos de sondagens. A tabela de amostras coletadas são apresentadas no Anexo I. As profundidades dos testemunhos variam desde 75 até 270 metros, interceptando os veios mineralizados e, também, de suas encaixantes com profundidades que vão desde 14 até 543 metros.

Na área, são encontrados arenitos metamorfizados em baixo grau, filitos e, nas porções superiores, rochas carbonáticas que também compõem as rochas encaixantes das mineralizações. O metamorfismo de baixo grau nos arenitos é observado na textura com granulometria fina e foliação discreta, indicando resposta ao cisalhamento ocorrido na área.

Das amostras coletadas e descritas, seis foram selecionadas para análises petrográficas, de microscopia de luz transmitida, 3 delas para microscopia de luz refletida e 2 amostras para microscopia eletrônica de varredura. Essas foram definidas como mais representativas do depósito, com base em suas profundidades distintas e em seus padrões de alteração hidrotermal verificados em análises macroscópicas.

4.4. Petrografia de luz transmitida e refletida

As amostras de testemunho de sondagens consideradas mais representativas do depósito de Andaychagua tiveram lâminas delgadas confeccionadas totalizando 6 lâminas¹ (anexo 1).

As lâminas delgadas foram confeccionadas no laboratório de laminação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Estas lâminas foram polidas, para possibilitar petrografia de luz transmitida e refletida.

Os trabalhos de microscopia foram realizados no Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica (LMDP) do IGc-USP. Para estas atividades, foi utilizado um microscópio Olympus BXP 40, para aumentos de 4x, 10x, 16 e 20x. Para detalhamento do trabalho e execução de fotomicrografias empregou-se o microscópio petrográfico Zeiss Axioplan do Labpetro IGc-USP.

Este trabalho teve como objetivo a caracterização petrográfica das amostras, identificando paragênese, relações texturais e estruturais. Assim, buscou-se sumarizar a relação entre os minerais de alteração hidrotermal, estabelecendo relação com os eventos metalogenéticos.

4.5.MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

Do conjunto das lâminas petrográficas descritas neste trabalho, duas delas foram analisadas por MEV (microscopia eletrônica de varredura) e EDS, sendo estas: DDH-U-AN-037, DDH-U-AN-85.

Os procedimentos feitos no Microscópio Eletrônico de Varredura(MEV)e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) foram realizados no Geolab do IGc-USP. Para tal foi utilizado o MEV da marca LEO 430i com EDS acoplado. Esse trabalho teve como

¹ A razão de reduzido número de lâminas delgadas se deu por problemas alfandegários, resultado da retenção das amostras pela Polícia Federal Brasileira. As 6 amostras indicadas no trabalho haviam sido enviadas separadamente.

objetivo a descrição composicional das rochas trabalhadas, focando na identificação dos minerais de alteração, especialmente em carbonatos hidrotermais presentes em que se focou em sua identificação e possíveis mudanças composicionais entre o centro e a borda, a caracterização dos minerais opacos, tanto em suas identificações e quantificações. A seleção das amostras analisadas restou baseada na petrografia. Nesse cenário, foram escolhidas amostras que tinham maior distinção mineralógica e estrutural, e, como consequência, maior abrangência de profundidade e distância em que as amostras foram coletadas.

4.6.Métodos de separação de zircão para análise U-Pb (SHRIMP)

Para o trabalho de geocronologia foram separadas 6 amostras de testemunhos de sondagem das rochas metavulcânicas encaixantes dos veios mineralizados do depósito, na tentativa de se obter maior representatividade de amostragem, foi obtida amostras com maior espaçamento e variação de profundidade possível.

A preparação das amostras para essa separação mineralógica ocorreu no Centro de Pesquisas Geocronológicas da USP (CPGeo-USP) e no Labpetro - IEE. Os procedimentos de separação de grão realizados são descritos a seguir:

- Fragmentação das amostras em pedaços decamétricos com uma marreta;
- Britagem do material em um britador de dentes.
- Moagem do material em um moinho de discos de carbureto de tungstênio;
- Peneiramento do material pulverizado para a separação do retido entre as peneiras de abertura de 100 mesh e 250 mesh e também para o material mais fino, passante na peneira de 250 mesh, dos quais são as granulometrias em que se encontravam os zircões das litologias estudados no presente trabalho;
- Separação gravimétrica do material na granulometria ideal em uma mesa vibratória do tipo Wilfley, uma vez que o material de maior densidade é segregado dos de menor densidade;
- Separação magnética dos minerais de acordo com a susceptibilidade magnética dos mesmos. Para este procedimento foi utilizado aparelho *Isodynamic Laboratory Separators* da marca S.G. Frantz que faça separação magnética de material pulverizado com base na sua susceptibilidade nas amperagens de 0,6 A, 0,9 A, e 1,2 A com -10 graus de inclinação;

- Separação dos minerais por densidade se utilizando líquidos densos. Inicialmente as amostras foram sujeitas ao bromofórmio (2,85 g/l) e em seguida em iodeto de metileno (3,33 g/l), fazendo com que fossem precipitados os minerais com densidade próxima ao zircão (4,6 g/l);

-Ataque químico com ácido nítrico. Esse procedimento teve como função a eliminação de sulfetos e, assim, a concentração de minerais com densidade maior de 3,33 g/l.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. Rochas Andesíticas

Rochas andesíticas são as rochas mais comuns de arcos magmáticos e estão associadas com vulcanismo explosivo ou com derrames de lava de elevada viscosidade. Neste contexto, os andesitos ocorrem em ambientes de tectônicos de subducção em margens ativas, tal como a costa oeste da América do Sul e associada com a formação de cadeias de montanhas. A cordilheira dos Andes são os locais em que este tipo de rocha é mais abundante.

De acordo com o diagrama TAS (Le Bas, 1986) (Figura 5) os andesitos são classificados como rochas intermediárias, pois apresentam em sua composição de 57% até 61% de porcentagem em sílica e de 6% até 7% de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) uma vez que rochas intermediárias apresentam em sua composição de 52% até 60% de sílica.

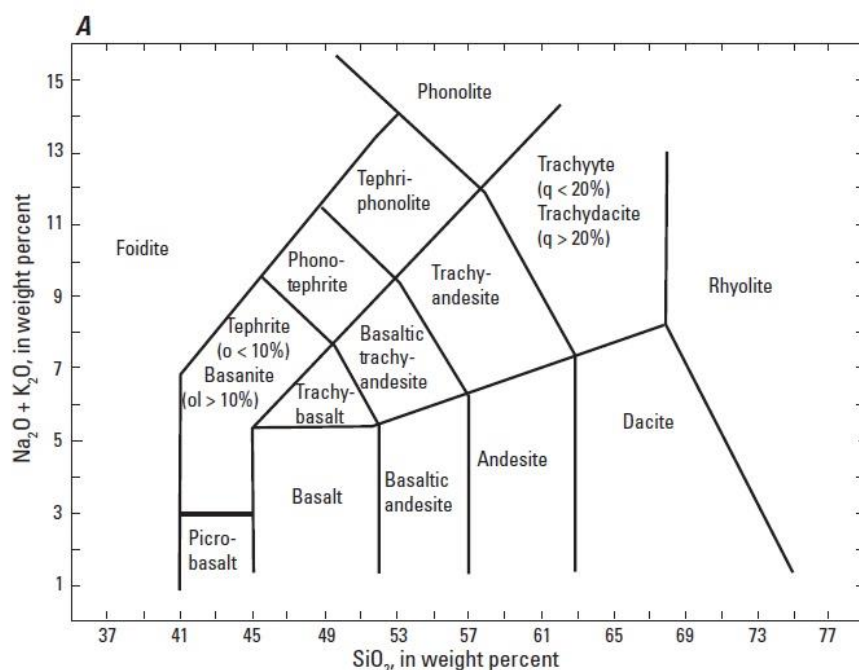


Figura 5: Diagrama TAS que representa os campos de cada rocha de acordo com sua % em peso de sílica versus % em peso de álcalis. (Modificado de Le Bas, 1986)

Rochas andesíticas apresentam características extrusivas ou intrusivas rasas relacionadas com vulcanismo. Como mineralogia principal essa rocha apresenta plagioclásio, biotita, piroxênio, anfibólio e, magnetita relativamente pouco quartzo. De acordo com o diagrama QAP (Figura 6) (Streckeisen, 1967) as rochas andesíticas apresentam em sua composição até 5% de quartzo e até 20% de feldspato alcalino, sendo que em sua maioria ela é composta por plagioclásio.

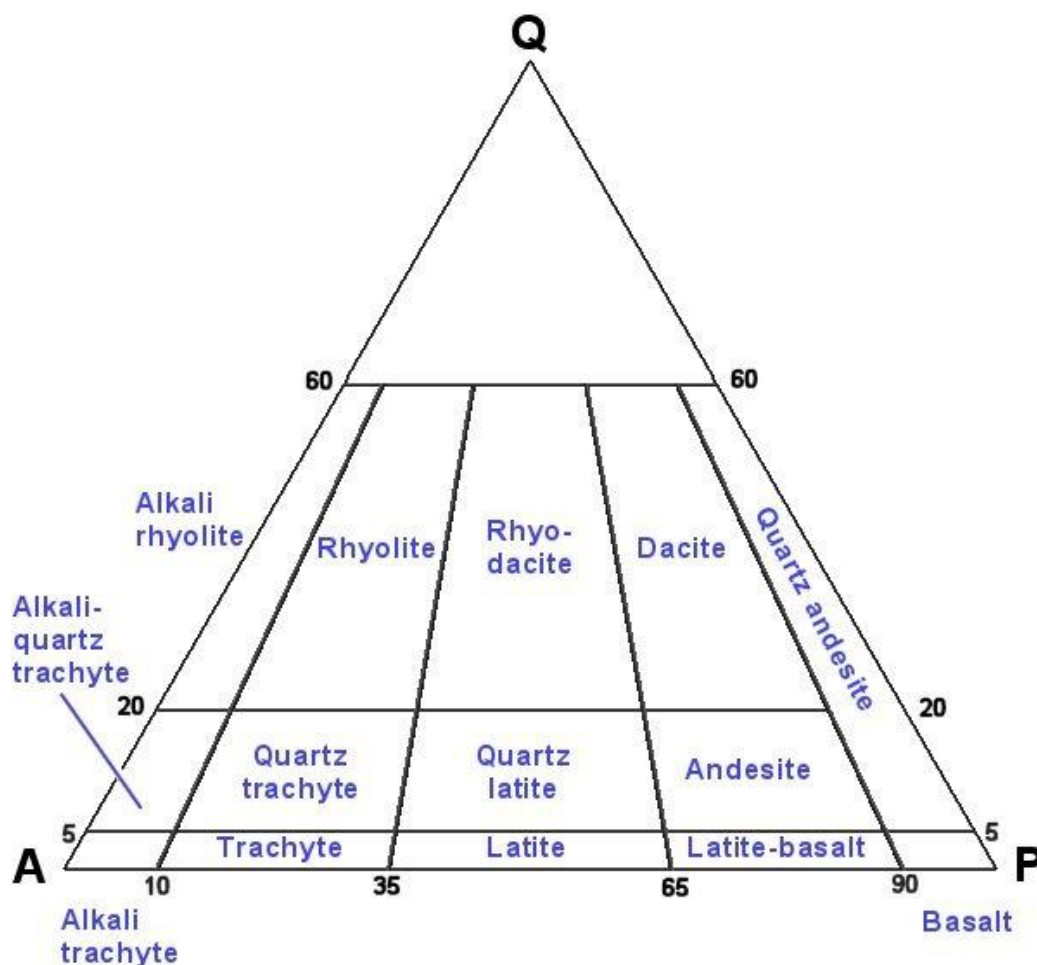


Figura 6: Diagrama QAP para rochas vulcânicas. Sendo Q: quartzo, A: feldspato alcalino e P: feldspato plagioclásio. (Modificado de Streckeisen, 1967)

5.2 Metassomatismo e reações hidrotermais

Alterações hidrotermais, ou reações de metassomatismo, são descritas como um tipo de metamorfismo envolvendo recristalização dos minerais da rocha percolada que é exposta a novas condições físico-químicas, a partir de fluidos hidrotermais, ocorrendo a mudança dos minerais parentais para novos mais estáveis as novas condições (Barnes, 1979). As

exposições do fluido na rocha parental estão também envolvidas com a colocação de novos elementos e de calor (Barnes, 1979).

Os fluidos, ou soluções hidrotermais, podem ser formados a partir de fluidos magmáticos, fluidos originados de águas meteóricas e águas marinhas. A temperatura do fluido hidrotermal pode variar desde 50°C até 500 °C e pode conter como elementos principais K, Ca, Na, e Cl (White, 1974). A partir desses elementos principais, podem ser formadas moléculas com elementos transportados ou sozinhos de prioridade secundária, sendo eles: Mg, Sr, Mn, B, CO₂, H₂S, NH₃, NH₄, Pb, Zn, Ag, Au, Mo, Sn, entre outros (Skinner e Barton, 1979).

A composição do fluido hidrotermal é reflexo da composição inicial desta solução, lixiviação de rochas percoladas e os eventos geológicos que o envolveram. A percolação de um fluido depende da permeabilidade das rochas, e causa o metassomatismo deste fluido com o meio percolado (Pirajno, 2009). Essa percolação pode gerar a concentração e o enriquecimento de certos elementos. A partir de mudanças físico-químicas, tais como temperatura, estado de oxidação, pH, processos de ebulição, e principalmente metassomatismo com as encaixantes, ocorre a liberação de elementos nas rochas percoladas, precipitando, assim elementos não originais na rocha (Barnes, 1979). Essa troca de elementos rocha-fluido, é responsável pela formação de anomalias de metais e pela alteração hidrotermal. (Skinner, 1979). Uma das reações mais comuns é a liberação de íon H⁺ e a captação de cátions das encaixantes pelo fluido, que, a partir da hidrólise de feldspatos e de minerais máficos, ocorre a formação de minerais hidratados, como as micas, argilominerais e clorita (Pirajno, 2009).

São destacados alguns fatores de grande importância para a ocorrência do metassomatismo, entre eles se destacam: 1) Características composicionais da rocha original; 2) Composição e origem do fluido hidrotermal; 3) Concentração, atividade e potencial químico dos componentes do fluido, tais como H⁺, CO₂, O₂, K⁺, H₂S e SO₂. É descrito por Henley e Ellis (1983) uma forte dependência em depósitos epitermais na porosidade e permeabilidade da rocha percolada, sendo um fator de maior importância sobre a sua composição inicial.

A formação das alterações hidrotermais se dá por fluidos interagirem com as rochas por difusão química de elementos ou por percolação de fluidos (Barnes, 1979). Essas interações se dão a partir de grandes quantidades do fluido hidrotermal que circulam pelas rochas percoladas, das quais dependem fortemente de permeabilidades primárias ou secundárias, a partir de falhas e fraturas (Pirajno, 2009).

As classificações hidrotermais se dão a partir da assembleia mineralógica resultante da interação fluido rocha e pelas mudanças químicas que o fluido causou na litologia percolada e são classificadas como (Pirajno, 2009):

1) Alteração Potássica: Alteração hidrotermal causada pela percolação fluido rico em potássio, do qual quebra plagioclásios iniciais na rocha e forma k-feldspato e minerais máficos por biotita rica em Fe. Ocorre em temperaturas entre 600-450°C, e pode ocorrer associado com sulfetos, como pirita, calcopirita e molybdenita. Sua ocorrência está associada com depósitos do tipo pórfiro.

2) Alteração Propilítica: Está relacionada com a adição de H₂O e CO₂ no sistema e localmente S. Sua assembleia mineralógica típica é composta por pirita, epidoto e carbonatos e está associada com depósitos epitermais.

3) Sericitização ou alteração fílica: Esta alteração se dá a partir da desestabilização química de feldspatos a partir injeção de H⁺, OH⁻, K e S, para formação de quartzo, mica branca, pirita e calcopirita. Sua assembleia mineralógica principal é quartzo, sericita e pirita. Esta alteração está relacionada com depósitos epitermais.

4) Alteração Argílica: Alteração hidrotermal relacionada com a formação de argila devido ao intenso metassomatismo de H⁺ e lixiviação ácida de plagioclásico e minerais máficos da rocha original. Em depósitos epitermais *high sulfidation* a alteração argílica ocorre em três zonas de diferentes mineralogias associadas, alteração argílica intermediária, e alteração argílica avançada. A alteração argílica avançada é caracterizada por um intenso ataque ácido na rocha original, e destruição completa dos minerais silicáticos máficos e plagioclásio, sendo substituídos por argilominerais (dickita, caolinita, pirofilita, barita, alunita e diásporo). A alteração argílica intermediária se dá pela alteração dos minerais silicáticos máficos com presença de k-feldspato inalterado, com minerais de alteração principais sendo montmorilonita, e minerais do grupo da argila (caolinita, dickita, halloysita e hallofânio), associados com sericita.

5) Alteração sódica: Caracterizada pela ocorrência de minerais com elevados teores de Na claramente relacionados com alterações dos minerais ígneos. Ocorre, assim, a substituição de albita por k-feldspato. Essa alteração se dá preferencialmente nas porções basais de depósitos do tipo pórfiro.

Alterações hidrotermais são um guia de grande importância para a exploração mineral e para se identificar quais são os constituintes do fluido mineralizador e assim, poder se

entender suas características físico-químicas e ajudando a entender a evolução metalogenética do depósito (Barnes, 1979).

5.2.1 Sistema Hidrotermal associado a complexos vulcânicos e vulcânico-plutônico

Em sistemas hidrotermais relacionados com processos magmáticos, o fluido é resultante da cristalização magmática e a sua interação com água meteórica. Geralmente esse fluido é canalizado a partir de um sistema de fraturas do corpo intrusivo e apresenta em sua composição voláteis como H₂S, CO₂, HCl, HF e H₂ e principalmente H₂O.

Um dos componentes essenciais pela mobilidade do fluido hidrotermal, pelas rochas, é a H₂O e dos voláteis ácidos, a partir do fenômeno de despolimerização, que diminui a viscosidade do fluido. Esse processo também aumenta a solubilidade de CO₂ no fluido, a partir da quebra de pontes de oxigênio e aumento da expansibilidade do líquido, sendo, assim, a solubilidade de CO₂ aumenta com o aumento de água no fluido.

A cristalização de minerais no corpo intrusivo gera um aumento contínuo de voláteis e água, gerando um fluido residual. Esse processo concentração é responsável pela formação de pegmatitos e de veios mineralizados nos corpos plutônicos confinados. Quando a quantidade de água atinge um nível que faz com que sua pressão se iguale à pressão de confinamento, ocorre um processo de ebulição, produzindo uma fase aquosa distinta da rocha cristalizada, neste caso uma solução hidrotermal.

A partir de sua baixa viscosidade e elevada temperatura, o fluido é transportado em redes de fraturas. Este fluido contém originalmente elementos incompatíveis, sendo, algum desses com interesse econômico. Os eventos metalogenéticos estão associados com as últimas fases de pulsos hidrotermais, uma vez que, a repetição de pulsos e sequenciais estão associadas com a formação de grandes jazidas.

Grande parte dos eventos metalogenéticos estão associados com porções mais rasas da crosta, em que, interações entre fluidos hidrotermais magmáticos, água meteórica e rochas rasas provoca alterações nos estados de oxidação e de pH, do fluido, causando situações favoráveis para a precipitação de metais.

5.2.2 Depósitos Epitermais

O termo de depósitos epitermais foi descrito inicialmente por Lindgren's (1933), para depósitos minerais em níveis crustais rasos (epizonas). Esse tipo de depósito costuma ocorrer em temperaturas entre 160°C e 270°C e com pressões equivalentes a profundidades correspondentes de 50 até 1000m. (Cooke & Simmons, 2000; Hedenquist *et al.*, 2000). Esses tipos de depósito são atualmente separados em três tipos principais, depósitos epitermais *low sulfidation* (LS), *high sulfidation* (HS) e *intermediate sulfidation* (IS). Esses termos fazem referência direta com o estado de oxidação e o estado de sulfidação do fluido mineralizador, seu pH, a química e estão diretamente associados com o tipo de alteração hidrotermal e mineralização associadas. (Robb, 2005) As características gerais são apresentadas do Quadro 1.

	<i>High Sulfidation</i>	<i>Intermediate Sulfidation</i>	<i>Low Sulfidation</i>
Características	Fluido com enxofre em estado oxidado (SO ₂ , SO ₄ ²⁻ , HSO ₄ ⁻)	Fluidos com atividade de enxofre e oxigênio intermediário.	Fluido com enxofre em estado reduzido (HS ⁻ , H ₂ S)
Sinônimos	Au-Alunita, ácido Sulfato, Alunita-Caolinita	Depósito de metais de base	Adularia–Sericita, <i>Hot spring - related</i>
Fluidos	Baixo pH, provavelmente alta salinidade inicial, origem dominante magmática	pH pouco ácido, salinidade média, quantidade média de gases (CO ₂)	pH neutro, baixa salinidade, rico em voláteis (CO ₂ , H ₂ S), origem predominante de água meteórica.

Assembleia das alterações relacionadas	Argílica Avançada (Zoneamento: Quartzo – Alunita – caolinita – illita – montmorilonita – clorita)	Alteração argílica avançada e associação comum com fluidos HS. Elevada alteração sericítica, com pouco teor de adularia.	Adularia – Sericita (Zoneamento: Quartzo/ Calcedônia – calcita – adularia – sericita – clorita)
Associação metalogenética	Au-Cu (Ag, Bi, Te)	Ag-Au, Zn, Pb e Cu (Mo, As, Sb)	Au-Ag (As, Sb, Se, Hg)

Quadro 1: Característica de depósitos HS, IS e LS. (Modificado de Sillitoe e Hedenquist, 2005; Robb, 2005).

Os depósitos caracterizados por serem HS são relacionados com a supersaturação do fluido de origem magmática em voláteis que, ao não ser mais estável, se dissocia, causando *boiling* e, assim, a mineralização (Hedenquist, 2000). As características do fluido são pH ácido (1-3) e oxidado, contendo fazes ultra oxidadas de enxofre (S^{4+} , S^{6+}) sob a forma de SO_2 , SO_4^{2-} ou HSO_4^- . Após a fase de *boiling* o fluido fica empobrecido em SO_2 e CO_2 , que formam uma fase de vapor, e a fase remanescente líquida fica ultra ácida ($pH \cong 1$) e aumenta a razão K^+/H^+ (Hedenquist *et al.*, 2000), ocorrendo a formação de K-feldspato, calcita, e epidoto pela precipitação ou pela alteração de micas ou plagioclásios pré-existentes (Barnes, 1979). A percolação do fluido HS causa intensos processos de lixiviação nas rochas vulcânicas ou vulcano-sedimentares hospedeiras, resultando em texturas bastante características, como *vuggy* sílica e alteração hidrotermal argílica avançada, caracterizada pela presença de quartzo-alunita (Figura 7) (Robb, 2005; Sillitoe, 2010).

Depósitos LS são caracterizados por apresentar minerais relacionados com atividade de enxofre baixo, como pirita e arsenopirita, apresentando, geralmente, sulfetos tardios e em baixa quantidade, ocorrendo associado com veios de quartzo, calcedônia, adularia e calcita subordinada. (Sillitoe & Hedenquist, 2003)

Fluidos LS são semelhantes aos fluidos contidos em *hotsprings* ou em outras atividades geotermiais. Eles apresentam equilíbrios físico – químicos com as rochas percoladas e sua composição principal é oriunda de água meteórica, podendo possuir uma pequena proporção de fluido de origem magmática (Kobbe, 2008). Assim, depósitos LS são relacionados com fases finais da atividade vulcânica, quando ocorre a percolação mais intensa de água meteórica pelo edifício vulcânico. Assim, esta água pode se misturar com fluidos magmáticos e, devido ao calor gerado pelo corpo intrusivo, percolar e metassomatizar rochas adjacentes enriquecendo em metais.

O fluido enriquecido em metais fica supersaturado em voláteis e passa pelo processo de exsolução destes, ocorrendo um processo de *boiling*. A passagem do fluido LS e o metassomatismo com as rochas encaixantes geram intensas zonas de alteração hidrotermal caracterizadas por quartzo-caolinita (Figura 7) (Kobbe, 2008 ;Sillitoe, 2010).

Depósitos IS apresentam estágios de atividade de oxigênio, atividade de enxofre e pH intermediários entre depósitos LS e HS. Ocorrendo, tipicamente, na faixa de ocorrência de calcopirita, e esfalerita pobre em ferro (Einaudi *et al.*, 2003).

A salinidade de fluidos IS não se apresentam constantes, o que sugere que esses tipos de depósitos refletem uma mistura entre fluidos evoluídos ou de fluidos em diferentes estágios de sulfidação (Sillitoe & Hedenquist, 2003). Depósitos IS apresentam-se enriquecidos em N_2 e H_2 sugerindo, assim, assinaturas magmática dos corpos intrusivos cálcio-alcálinos relacionadas (Abinson *et al.*, 2001, Simmons, 2005). Apesar da contribuição magmática, fluidos IS também apresentam contribuição de água meteórica, a partir de estudos de isótopos nos minerais de ganga (Abinson *et al.*, 2001) e diferentes quantidades de gases, indicando intensa circulação crustal de fluidos (Hedenquist, 2003), assim como estudos de inclusões fluidas que também indicam elevadas quantidades de CO_2 (John, 2001).

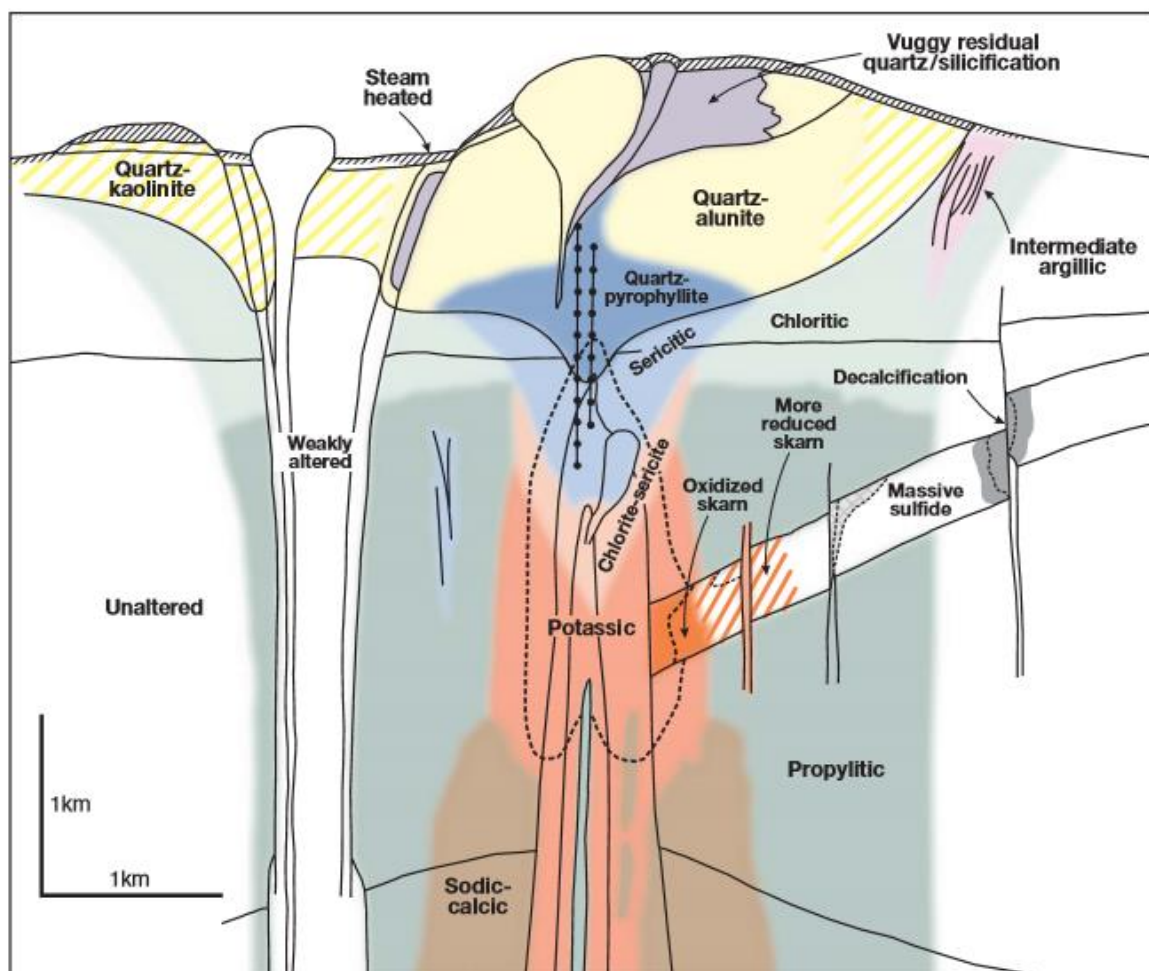


Figura 7: Ilustração genérica do zoneamento das alterações hidrotermais para depósitos de pórfiro telescopado (Sillitoe, 2010)

Os depósitos LS e HS e depósitos pórfiro apresentam correlações espaciais e temporais (Figura 8). Os fluidos magmáticos gerados durante a consolidação do corpo intrusivo é responsável inicialmente pela formação dos depósitos tipo pórfiros e com o avanço e ascensão dos fluidos magmáticos e sua mistura com água meteórica, gera a formação de depósitos HS e LS. Esses processos de percolação de fluidos são extremamente dependentes da inserção de calor gerado pelo corpo intrusivo.

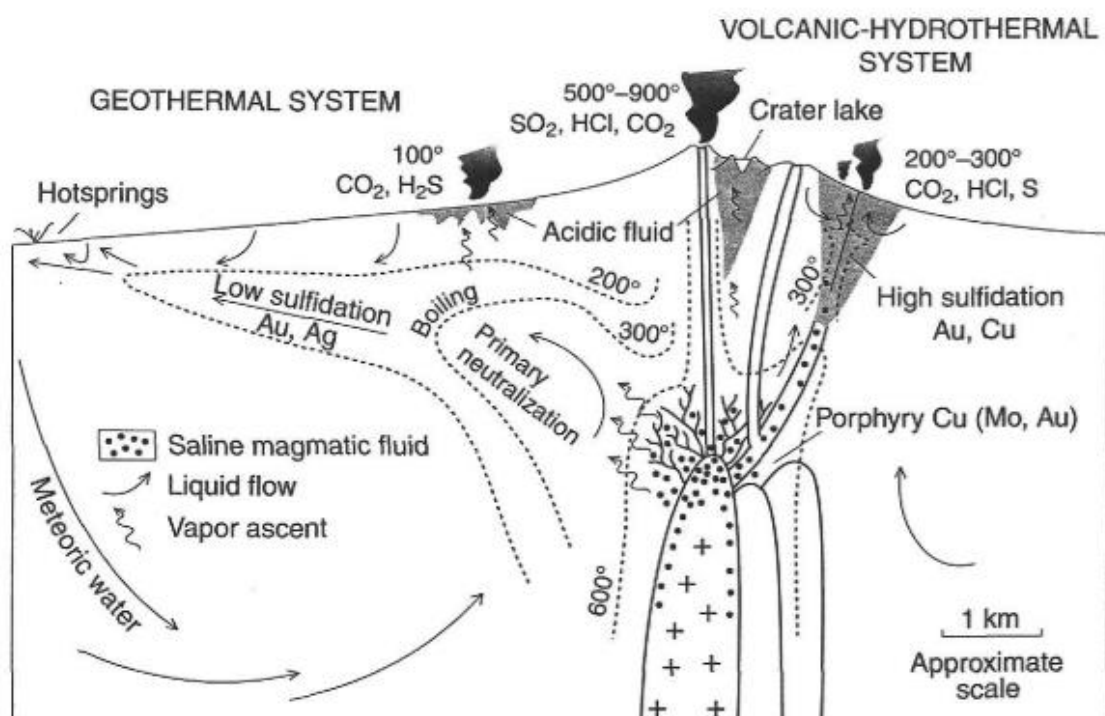


Figura 8: Ilustração esquemática dos processos de um sistema magmático - hidrotermal pórfiro e suas correlações depósitos LS e HS e as suas dependências com o corpo intrusivo. (Retirado de Hedenquist, 2000)

Os depósitos epitermais são caracterizados por serem causados por atividades finais dos fluidos mineralizadores do sistema magmático-hidrotermal pórfiro, próximo a vulcões (Robb, 2008). A relação com edifícios vulcânicos se aplica também para *hotsprings* para os depósitos LS.

5.3 Depósitos do tipo Cordilheirano

Em um sistema magmático-hidrotermal pórfiro podem ocorrer depósitos de cobre pórfiros; depósitos epitermais *low sulfidation*; depósitos epitermais *high-sulfidation*; depósitos do tipo *Skarn* de Cobre, Cu-Fe, Au, e Zn-Pb; depósitos do tipo Cordilheirano polimetálico em veios ou corpos de substituição e depósitos do tipo Au-Distal.

A classificação do modelo genético de Depósitos Polimetálicos Cordilheirano foi introduzido inicialmente por Sawkins(1972) para descrever depósitos epitermais polimetálicos específicos sendo o termo referido para utilização em trabalhos subsequentes por Einaudi (1982), Gilbert e Park (1986), Bartos (1987), Macfarlane e Petersen (1990), Hamley e Hunt (1992), BendeZú e Fontboté (2002,2008). Esse tipo de depósito é classificado também como Depósitos em Veios tipo *Butte* (Meyer et al; 1968), veios polimetálicos e também por *zone base metal vein* (Einaudi et al., 2003). São descritos uma série de depósitos relacionados com

esse tipo de mineralização, sendo que, em alguns depósitos classificados como *intermediate sulfidation* ou *high sulfidation* podem também ser aplicados para depósitos cordilheiranos.

Os depósitos do tipo polimetálicos Cordilheiranos são descritos em inúmeros distritos mineiros relacionados com ambientes colisionais. A gênese desses depósitos está diretamente relacionada com os últimos estágios de evolução do sistema pórfiro (Fontboté *et al.*, 2009). Relacionados com processos epitermais, eles são encontrados nas porções mais rasas desse sistema e cortam todos os veios de alteração argílica, potássica e clorítica. Sua ocorrência é majoritariamente em forma de veios ocorrendo também em substituição das rochas encaixantes e brechas ricas em sulfetos. São conhecidos e descritos como esse tipo de mineralização, além da área de estudo deste trabalho, os depósitos de *Butte*, *Magma Superior*, *Bisbee* e *Tintic*, nos EUA; *Yauricocha*, *Morococha*, *Julcani*, *Quiruvilca*, *Huarón*, *Hualgayoc*, *Colquijirca* e *Cerro de Pasco*, no Peru; *Bor*, *Serbia*; *Erstberg*, Indonésia (Fontboté *et al.*, 2009). A figura abaixo sintetiza as relações dos depósitos de um sistema pórfiro genérico, sintetizando as informações supracitadas a respeito dos depósitos cordilheiranos e os outros depósitos correlacionados.

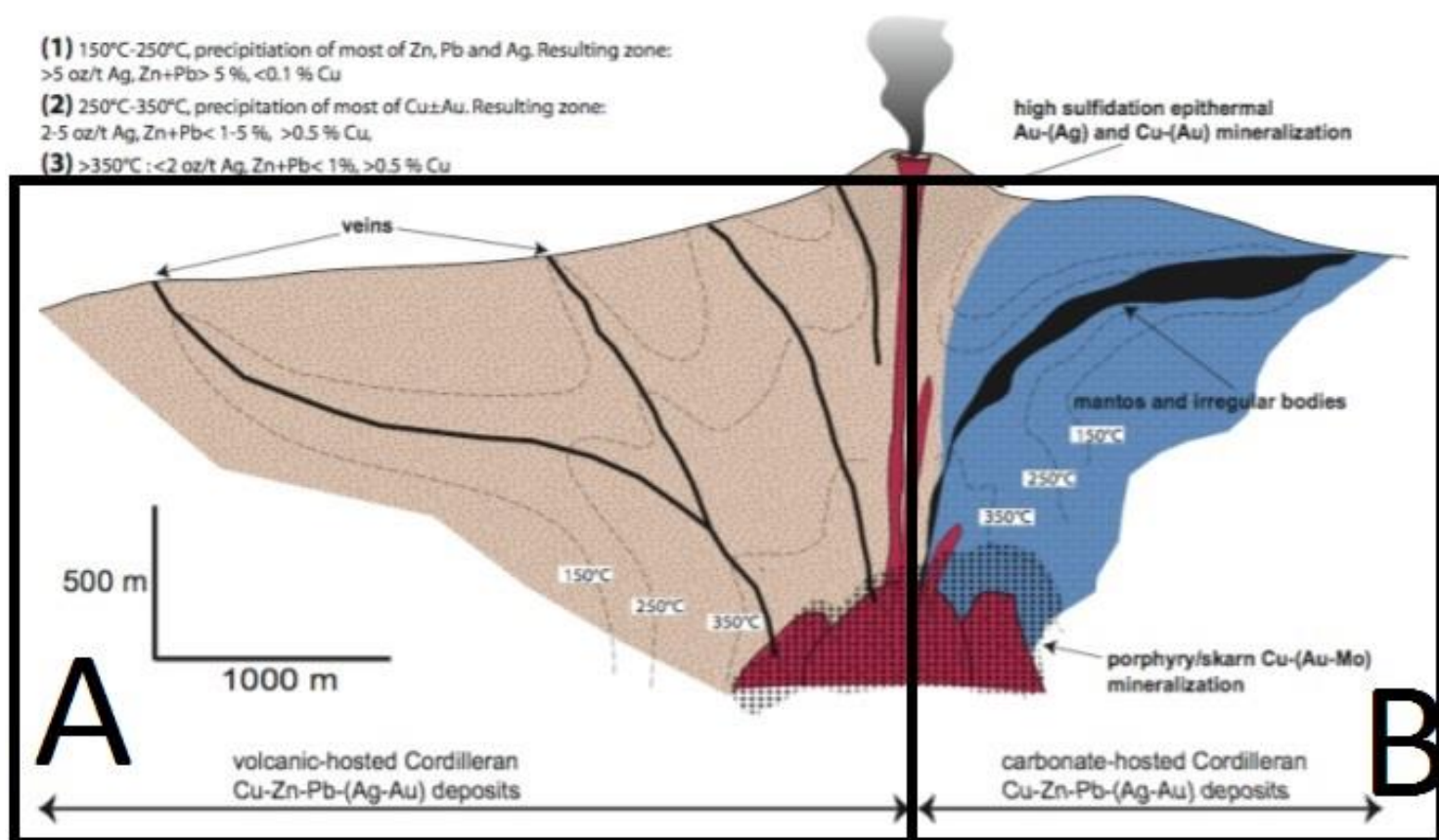


Figura 9: Representação genérica de um sistema pórfiro mostrando as relações espaciais entre os depósitos Mo-Cobre pórfiro, Au-Ag epitermal *high sulfidation*, e depósitos polimetálicos cordilheiranos em rochas vulcânicas e rochas carbonáticas, sendo em A os depósitos os depósitos polimetálicos cordilheiranos na forma de veios hospedados em rochas vulcânicas e em B hospedados em rochas carbonáticas estratiformes concordantes

com a estratificação e também corpos irregulares. A figura apresenta a paragênese de minérios conforme a diminuição da temperatura em um depósito Cordilheirano. (Alterado de Fontboté et al. 2009).

Segundo Fontboté e Bendezú (2009), as características principais dos depósitos Cordilheiranos apresentam:

- Proximidade em espaço e tempo com a atividades ígneas calci-alcalinas e mesmo ambiente geológico de depósitos tipo cobre pórfiro e epitermais *high-sulfidation*. Sendo que a maioria dos depósitos Cordilheiranos se sobrepõem ao sistema pórfiro correlato, como por exemplo Butte, nos EUA e Morococha no Peru.
- Apresentam fluidos de baixa salinidade e apresentam variações de pH, sulfidação e acidez do fluido mineralizador.
- Caracterizado como um estágio tardio da evolução do sistema pórfiro, uma vez que suas estruturas cortam estruturas de outras mineralizações associadas, tais como cobre pórfiro, *skarns* e depósitos epitermais *high sulfidation* de ouro e prata. É descrito que esse tipo de mineralizações cortam os veios de estágios principais da evolução de mineralizações do tipo Cobre-Mo pórfiro e zonas de quartzo-sericita com presença expressiva de pirita. Aliado a esse fator, estudos de datações $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Bendezú e Fontboté, 2009) indicam que os veios polimetálicos cordilheiranos são em médio 0,3-0,8 Ma mais recentes que os depósitos epitermais HS disseminado.
- Deposições polimetálicas do tipo Cordilheiranos ocorrem em níveis mais profundos da paleosuperfície em relação aos depósitos epitermais.
- Elevada concentração de sulfetos, mais que 50% em massa. Com suítes metalíferas de Cu-Zn-Pb-W-Sn-(Ag-Au-Bi).
- Ocorrência em alguns depósitos de uma zona bem evoluída mineralizada e associada com minerais de alteração.
- Corpos mineralizados ocorrem geralmente em preenchimento de espaços pré-existent, sendo comum na forma de veios e brechas, geralmente em rochas silicáticas e também em substituição de rochas carbonáticas.
- A mineralização polimetálica ocorre, geralmente, com elevadíssimas razões Ag/Au, quando comparada com depósitos epitermais *high-sulfidation* Au(-Ag).

- Estudos de inclusões fluidas indicam que a composição do fluido hidrotermal apresenta moderadas contribuições de água meteórica, de baixa salinidade e ocorrem em temperaturas até 325°C.

Depósitos epitermais polimetálicos, ou Cordilheiranos, apresentam mais de um tipo de paragênese. Isso implica que o fluido mineralizador não apresenta características físico-químicas regulares. Isso é descrito na mineralização polimetálica (Zn-Pb-Cu-Bi) de Cerro de Pasco, Peru (Baumgartner e Fontboté, 2008), em que a primeira mineralização está associada com fluidos de pH levemente ácidos e óxidos, que foram tamponados pela reação com filitos, folhelhos e carbonatos, que hospedam a mineralização, fazendo com e paragênese associada com fluidos *low sulfidation*. Entretanto, em algumas regiões são encontradas paragêneses de hematita associado com pirita e quartzo, o que sugere que ocorreu menos interação com as rochas encaixantes e evidenciam sua característica *intermediate/high sulfidation* (Baumgartner e Fontboté, 2008).

5.4. Depósito polimetálico de Andaychagua

5.4.1 Recursos e Reservas Andaychagua

Os estudos de avaliação de recursos e reservas das zonas econômicas de Andaychagua, são feitos pela empresa que a opera, sendo realizados com base nos fatores econômicos, tecnológicos, ambientais, financeiros, legais e governamentais. Essas informações são normatizadas e fiscalizadas de acordo com leis e regulamentos internacionais de mineração.

Esses fatores são cruciais e influenciam na transformação e classificação de reservas e recursos do depósito, mostrados na (Figura 10)

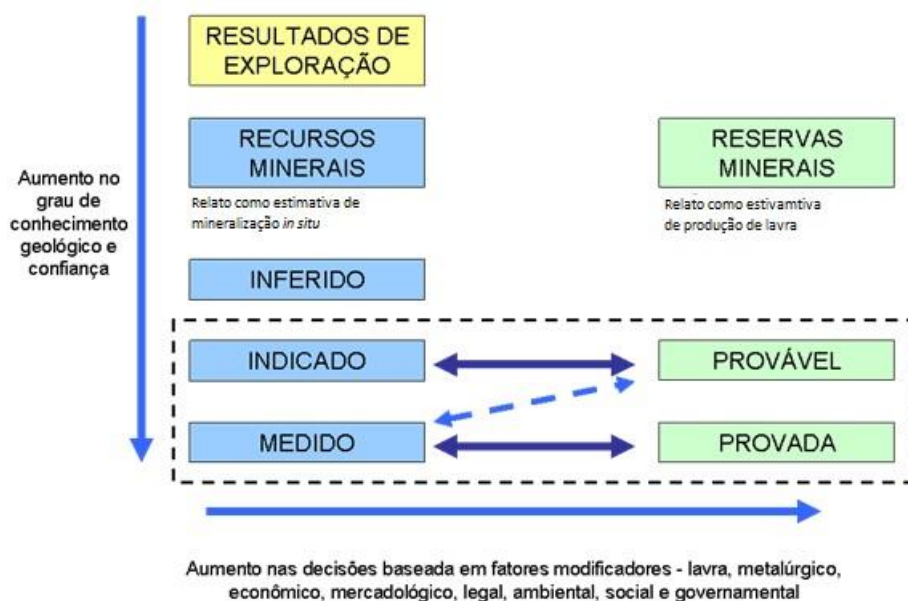


Figura 10: Relação Geral entre os resultados de exploração, recursos minerais, e reservas minerais. (Modificado de JORC Code, 2012 edition).

Recursos

O resumo dos recursos medidos e indicados da Mina de Andaychagua, no ano de 2015, são apresentados no Quadro 1.

CATEGORIA	TM	AV(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)
Medido	991.905	3.21	2.32	0.43	0.26	3.02
Indicado	1,603,255	3.61	2.32	0.35	0.23	3.01
Total Geral	2,595,160	3.46	2.32	0.38	0.24	3.02

Quadro 1: Quadro que representa os recursos medidos e indicados da Mina de Andaychagua. (Modificado de Volcan, dez/2015). Abreviações: TM: Tonelagem de minério AV: Média

Os valores de recursos inferidos, são apresentados no quadro 2.

CATEGORIA	TM	AV(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)
Inferidos	9,747,873	6.22	3.17	0.65	0.17	3.34

Quadro 2: Quadro dos recursos inferidos da Mina de Andaychagua. (Modificado de Volcan, dez/2015). Abreviações: TM: Tonelagem de minério AV: Média

Reservas

O quadro de reservas da mina de Andaychagua se mostra na Quadro 3:

Categoria	TMD	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)	VPT (US\$)
Provada	4,103,444	4.17	0.75	0.11	5.44	129.94
Provável	4,210,704	3.87	0.62	0.11	4.1	110.25
TOTAL	8,314,148	4.02	0.68	0.11	4.76	119.96

Quadro 3: Quadro de reservas minerais provadas e prováveis da mina de Andaychagua. (Modificado de Volcan, dez/2015) TMD: Tonelagem de minério VPT: Valor **por Tonelada**

A produção de Andaychagua é realizada em mina subterrânea, atualmente com 1050 níveis de operação, chegando em 1200 metros de profundidade. A lavra é feita com base em duas metodologias, descritas a seguir:

Corte e preenchimento descendente e ascendente (UCF)

O método de UCF é utilizado para lavar corpos regulares, como é o caso dos veios de grande porte da Mina de Andaychagua. Esse método se baseia em cortes horizontais, de 4,5 metros de altura, no veio mineralizado, que formam os túneis de produção.

Inicialmente é feito um túnel principal de acesso (TPA), perpendicular ao veio mineralizado. Quando esse túnel intercepta o corpo, são feitos dois túneis de lavra (TL) horizontais, perpendiculares ao TPA e dentro do veio de interesse, com uma extensão máxima de 230 metros. As frentes de lavra se dão pela colocação de explosivos, retirada do minério e cobrimento por cimento e parafusos nas paredes do TL, sucessivamente. Quando se atinge o comprimento máximo de 230 metros, os túneis são preenchidos por cimento e fechados. A partir daí, é gerada uma rampa descendente de 12% de inclinação negativa no TPA, para que se possa ser feito os TL's no nível inferior subsequente, recomeçando o ciclo operacional. O material explodido é colocado em caminhões de 20 até 25 toneladas, levados pelo TPA e pelos túneis de acesso até a superfície (Volcan, 2015).

Sub Level Stopping (SLS)

O método SLS é frequentemente utilizado para lavra em corpos regulares. Esse método, aplicado para a Mina de Andaychagua, se baseia em dois túneis de acesso horizontais e paralelos e dentro do corpo mineralizado, espaçados em 7,5 metros. O piso do túnel superior é furado com furos cilíndricos até o túnel inferior. Nesses furos são colocados explosivos que ao explodirem quebram as rochas que contém o minério e a partir daí, são retiradas no túnel inferior por caminhões. As explosões são feitas em blocos com 5 metros de espessura que, após serem explodidos, são preenchidos por resto de material detrítico produzido pela mina. Os caminhões levam de 20 até 25 toneladas de material e vão, pelos túneis de acesso até a superfície (Volcan, 2015).

5.4.2 Mineralização do depósito

Os corpos mineralizados na Mina de Andaychagua apresentam-se em sua maioria na forma de veios polimetálicos encaixados principalmente em rocha de origem vulcânica, denominada 'Vulcânica Catalina' do Grupo Mitu. Neste contexto, apenas os veios de maior expressão, também estão encaixados nas rochas metavulcanossedimentares, em especial no Grupo Excelsior e Grupo Mitu. Também é encontrado em campo e descrito nos relatórios da Volcan(2015) um corpo estratiforme denominado Manto Moisés, ainda não explotado.

Com base em informações de campo e dados da Volcan (2015), são descritos os seguintes veios mineralizados de maior importância:

Veio Andaychagua

O Veio Andaychagua é o veio de maior expressão do depósito de Andaychagua. Este foi o primeiro veio a ser explotado e apresenta aproximadamente 5 km de extensão estudados, dos quais pelo menos 3 km encontram-se mineralizados. O veio apresenta direção preferencial NE-SW e espessuras variando de 1,8 metros até 7,5 metros, podendo chegar até 18 metros quando este se encontra com o Veio Prosperidad Este. Este veio está produzindo atualmente entre os níveis 250 - 1250, chegando a mil metros de profundidade. No interior da mina, o veio apresenta direção e mergulho praticamente constante, com valor médio de N30°E /72° NW

Essa estrutura mineralizada está encaixada principalmente nas rochas vulcânicas do Grupo Mitu e nos filitos do Grupo Excelsior. Seus minerais de minérios são esfalerita, marmatita, galena, galena argentífera e possui pirita, rodocrosita, quartzo, arsenopirita, calcita, siderita, hematita e magnetita como minerais de ganga. É observado em suas rochas encaixantes a presença de intensas alterações hidrotermais, sendo elas argilização, cloritização e sericitização.

Veio Esther

A extensão do Veio Esther explotada é de 600 metros no interior da mina, chegando à uma profundidade de 275 m. Sua direção preferencial é de N40E/65-70NW. Esta estrutura está encaixada nas rochas vulcânicas andesíticas do Grupo Mitu, de composições andesítica, dacítica e riolítica. Seus minerais de minério são esfalerita, galena, pirargirita e prata nativa, dos quais apresentam-se associados com os minerais de ganga ankerita, pirita e quartzo. As alterações hidrotermais nas rochas encaixantes consistem em silicificação e cloritização não muito expressivas. (Volcan, 2015)

Veio Prosperidad Este

O Veio Prosperidad I apresenta-se como um veio de grande porte com uma extensão de 640m. de direção NE-SW com uma profundidade máxima de 240 m. Sua direção preferencial é de N40-70E com mergulhos variando de 65-75NW e apresenta espessuras variando de 50 centímetros até 1,20 metros. (Volcan, 2015)

Essa estrutura apresenta-se encaixada na Rocha Vulcânica Catalina, nos filitos do Grupo Excelsior e também as rochas e também em rochas intrusivas, como gabros e andesitos. Seus minerais de minério são esfalerita, galena e minerais de prata, e possui como minerais de ganga carbonatos, quartzo, pirita e siderita. As alterações hidrotermais relacionadas em suas rochas encaixantes são em sua maioria cloritização, silicificação, sericitização. (Volcan, 2015)

Manto Moisés

Este corpo apresenta-se como uma mineralização estratiforme nas rochas carbonáticas basais do Grupo Pucará. Tem uma estrutura com 68 metros de direção NE-SW. Não foram observadas em campo nenhuma alteração hidrotermal considerável nas rochas hospedeiras.

Veios de menores proporções

A área estudada apresenta outros veios de menores proporções dos quais não apresentam níveis de mineralizações econômicos para sua exploração, e também não serão estudados neste trabalho. Alguns deles apresentam como ramificações dos veios de grande porte e outros não. São caracterizados como Veio Puca Urco, Veio Rubi, Veio Rosie, Veio Martha, Veio Sarita, entre outros. (Volcan, 2015)

5.5.Contexto Geológico

5.5.1 Geologia Regional

A geomorfologia da porção da Cordilheira atual é formada pela Cordilheira Ocidental, que possui o arco magmático oriundo da subducção e a Cordilheira Oriental, que é representada a uma zona de *uplift*. Essas regiões são divididas pelo Altiplano Andino, geomorfologicamente classificado como um *plateau*.

As feições geológicas representativas na cadeia andina são oriundas de três eventos geodinâmicos independentes (Benevides-Caceres, 1999). O primeiro evento está relacionado com idades Pré-Cambrianas, o segundo entre o Paleozóico até o Mesozóico e o terceiro é conhecido como Ciclo Andino e está compreendido entre o Triássico Superior até os dias de hoje.

O Ciclo Andino iniciou-se com o início da abertura do Oceano Atlântico a partir da formação de uma intensa fase de subducção do tipo Mariana (Mégard, 1984, 1987; Benevides-Caceres, 1999) em que a zona de retro arco passou por esforços extensionais de elevada intensidade. Esses esforços causaram a formação *rifts* e, assim, a formação de feições *horsts* e *grabens* nas porções centrais dos Andes, representados pelas rochas do Grupo Mitu nesta região. As rochas deste grupo foram formadas a partir de sedimentações relacionadas com as etapas de rifteamento da bacia e compostas por sequências vulcanoclásticas e clásticas de idades Permo-Triássicas. As litologias são representadas por brechas polimíticas, conglomerados, arenitos que são intercalados com rochas vulcânicas e derrames de composição andesítica que juntos somam espessuras de 800 até 1500 metros (Mégard, 1987).

Com a diminuição dos esforços extensionais e a elevada taxa de subsidência foi gerada uma ampla bacia sedimentar de deposição marinhas epicontinentais, conhecida como Bacia Pucará (Mégard, Benavides 1999). Essa bacia está disposta geograficamente na região centro-norte peruana, limitada pelo Escudo Guiano-Brasileiro e a oeste pelo *plateau* Altiplano Peruano (Rosas *et al*, 2007) de idades mesozoicas.

5.5.2 Domo de Yauli

São caracterizadas cinco grandes províncias estruturais no Peru, de leste para oeste, existe a Zona Costeira, Cordilheira Ocidental, o Altiplano, Cordilheira Oriental e Zona Sub-Andina que se estende até a Bacia Amazônica.

A área estudada, está localizada no Domo de Yauli, que, por sua vez, está contido na província de Cordilheira Ocidental. A Cordilheira Ocidental é subdividida em três cinturões

paralelos, conhecidos como zona de batólitos costeiros, cinturão central vulcânico, e cinturão de dobramentos mesozoicos, sendo que o Domo está contido no cinturão de dobramentos mesozoicos (Lepry, 1981). Este cinturão é caracterizado e dividido por uma série de dobramentos concêntricos associados com falhas de empurrão, com predominância de carbonatos e rochas clásticas de idade jurássica e cretácea. A direção principal dessas estruturas de empurrão é para no NE, no qual tanto os planos axiais e os planos de falha mergulham para SW. As idades relacionadas com essa deformação são do começo do eoceno (Noble *et al.* 1979).

Dentro deste contexto o Domo de Yauli representa uma exposição anômala de rochas paleozoicas ao longo da margem leste do cinturão de dobramentos mesozoicos, e expõem em sua base rochas devonianas do Grupo Excelsior até as rochas de idade cretácea do Grupo Goyillarquizca (Rosas *et al.*, 2007).

As fases de estruturação do Domo de Yauli são divididas por Lepry, 1981, em: estruturação do Grupo Excelsior durante a Orogenia Hercyana que compõem as rochas basais de sua estratigrafia e estruturas desenvolvidas nas rochas devonianas e nas rochas de suas porções superiores que foram afetadas pela Deformação Andina.

A primeira estruturação está contida apenas nas rochas do Grupo Excelsior, centrais do Domo de Yauli. Esse evento é marcado por dois estilos de estruturação, que são pequenos dobramentos passivos e sobrepostos por dobramentos de larga escala oriundos da Orogenia Hercyana. As rochas que foram estruturadas por esse evento possuem uma reestruturação posterior causada pela Deformação Andina. (Lepry, 1981)

O segundo evento de estruturação, fruto da Deformação Andina, no Domo de Yauli afetou todas as rochas que o compõem. Ele é marcado por dobramentos e falhas de empurrão em escala regional, com direções de *strike* NNW e mergulhos de alto ângulo (50 °-70 °) com direção SW, paralelas com o *trend* da Cordilheira Ocidental na porção central do Peru (Lepry, 1981).

O Domo de Yauli apresenta uma complexa e longa história na atividade mineira. É localizado no Peru Central na Cordilheira Ocidental, e contém uma série de depósitos minerais de porte mundial, entre eles uma série de cobre pórfiros, *Skarns* e veios mineralizados, sendo uma das regiões de maior expressão mineira no Peru, principalmente para Zn e Cu (Kobe, 1990).

O Domo de Yauli apresenta uma abundância de depósitos minerais. Nele são encontradas mineralizações de grande porte nas rochas metavulcanossedimentares que o

compõe, uma vez que estas sofreram uma série de estruturações, responsáveis pelos espaços que possibilitam a movimentação do fluido e a deposição do minério, além de atividades vulcânicas e corpos intrusivos, contribuindo para a energia e soluções mineralizantes nos ambientes de formação de depósitos minerais (Kobe, 1990).

O depósito mineral que é estudado neste trabalho está localizado na porção SE do Domo de Yauli, e mais precisamente na feição regional conhecida como “ Anticlinal Chumpe”. Esta feição possui 16 km em sua maior direção NE-SW e 4 km em sua direção de menor extensão. Seu flanco ocidental possui mergulho de 55° para SE e é composto pelas rochas carbonáticas do Grupo Pucará, enquanto que seu flanco de direção NW apresenta mergulho de 30° e é composto pelas rochas do Grupo Mitu com alguns quilômetros, sobrepostas pelas rochas carbonáticas do Grupo Pucará. Na sua porção central são encontradas as rochas do Grupo Excelsior. Sua feição estrutural apresenta eixos paralelos às demais estruturas anti/sinformais da estrutura principal, N45°W (Volcan, 2015). Suas rochas metassedimentares apresentam-se metamorfizadas em baixo grau e são cortadas por uma série de veios de grande e pequeno porte, dos quais formam os corpos mineralizados. Elas também apresentam alterações hidrotermais relacionadas com a formação do minério, sendo elas intensa cloritização, argilização, alteração potássica e veios quartzo piritosos. A estratificação sedimentar é cortada por uma série de corpos intrusivos (Volcan, 2015). As rochas metassedimentares apresentam-se estruturadas segundo uma direção preferencial N-S e 10-15 graus de mergulho para Leste em sua maioria e os veios mineralizados apresentam-se discordantes, com direções preferenciais para N40/70-80SE e N120/30-35SW.

O depósito mineral estudado está localizado na porção Sul-Oeste do Domo. Este contém os distritos mineiros de Morococha, San Cristobal e Andaychagua.

5.5.3 Litoestratigrafia da área de estudo

A litoestratigrafia do Domo de Yauli, é apresentada na (Figura 11), e é em sua maioria composta por rochas metassedimentares, metavulcânicas e metavulcanoclásticas de baixo grau metamórfico. Na área de estudo a estratigrafia, estabelecida por Mégard (1978) composta da base para o topo, pelas seguintes unidades:

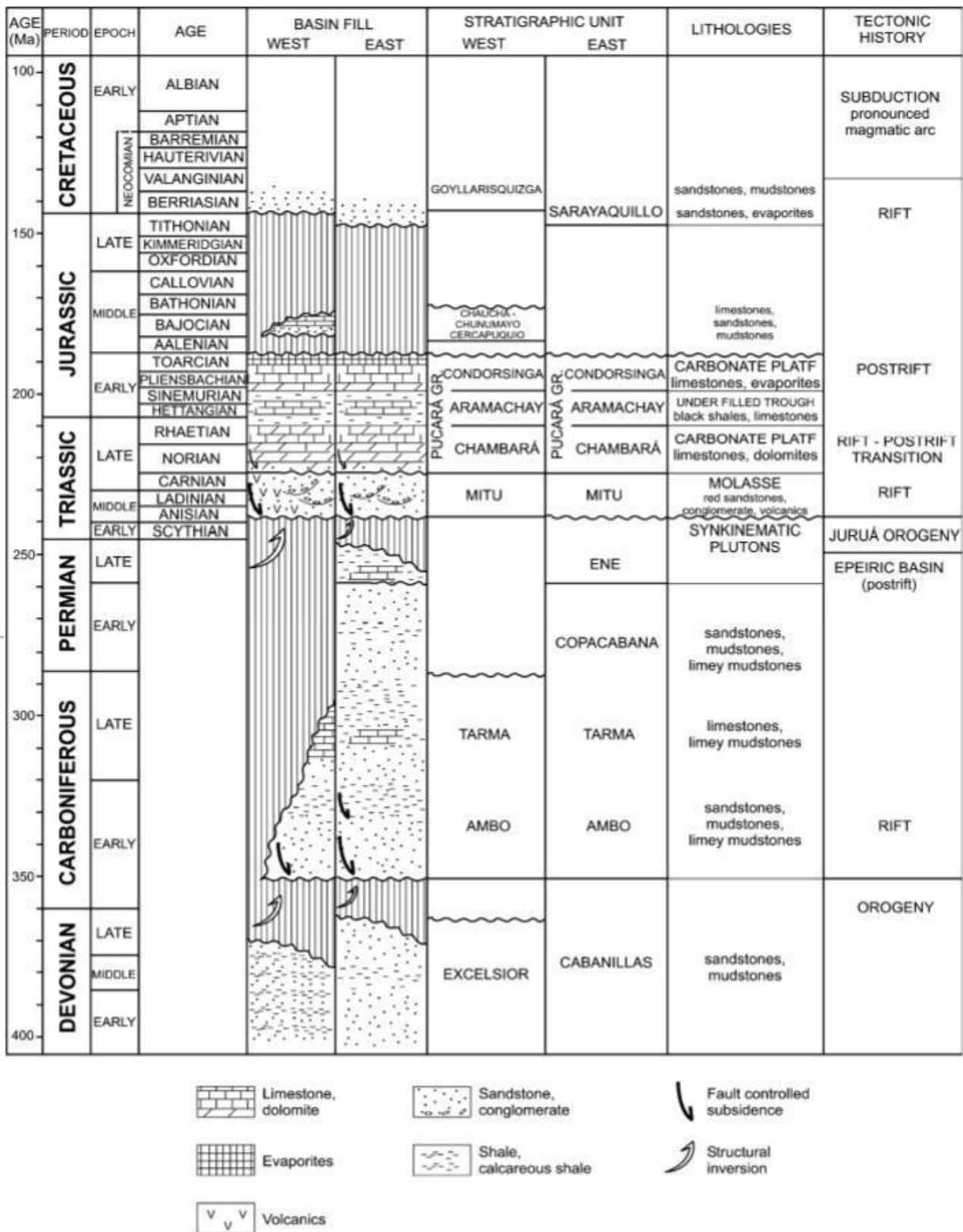


Figura 11: Coluna litoestratigrafia do Domo de Yauli, e o evento tectônico que a bacia se encontrava durante a sedimentação de corresponde a cada grupo na coluna. (Rosas et al., 2007)

Grupo Excelsior

O Grupo Excelsior apresenta idade devoniana e é formado por metapelitos, xistos, lentes quartzosas, em raras porções, rochas e tufos vulcânicos e também metacalcários metamorfisados em baixo grau. Nas porções mais distais do núcleo do domo, são encontrados filitos fortemente deformados, como resposta do intenso metamorfismo regional. (McLaughlin, 1924 *Apud* Kobe, 1990).

O Grupo Excelsior forma a base da estratigrafia do Domo de Yauli. Seu ambiente de deposição é caracterizado como submarinho profundo (Harrison, 1943)

Grupo Mitu

O Grupo Mitu apresenta idade Permiana e possui duas fácies bem distintas, a inferior caracterizada por ser de ambiente continental, e outra caracterizada pela presença de rochas vulcânicas e subvulcânicas, apresentadas como brechas e derrames de composição dacítica e andesítica conhecidas pelas rochas Vulcânicas Catalina, que compõe a porção superior do Grupo. As rochas pertencentes a esse grupo são correspondentes a um estágio de rifteamento da bacia, representadas como sequências vulcano sedimentares (Mégard, 1978). A fácies relacionada ao ambiente continental apresenta-se como rochas clásticas continentais, tais como arenitos, pelitos de cor roxa e conglomerados polimíticos com matriz siltosa. Em sua porção basal há a predominância de arenitos de granulometria que varia de fina a grossa com clastos angulosos que são intercalados com filitos de cor roxa em estratos que não ultrapassam 30 cm de espessura. Essa litologia se apresenta como estratos decamétricos com estratificação cruzada acanalada e também plano paralela.

Grupo Pucará

Passando para o estágio pós-rifte, encontra-se o Grupo Pucará, de idade jurássica, que é caracterizado por rochas carbonáticas de cor branca e amarelo clara, as quais se apresentam com elevadas alterações hidrotermais e tufos vulcânicos de poucas espessuras, relacionados com um ambiente transgressivo. O Grupo Pucará é dividido por Mégard (1978) em três formações (Chambará, Aramachay e Condorsinga). A porção basal é descrita como a Formação Chambará, que seria a única encontrada na área de estudo, sendo representada por dolomitos em sua grande maioria e calcário, com *cherts* subordinados na forma de bandas centimétricas e nódulos. São descritos nas proximidades da mina estudada carbonatos maciços de coloração clara associada com brechas carbonáticas de clastos angulosos e matriz carbonática fina. Essa formação apresenta um corpo estratiforme mineralizado chamado por 'Manto Moisés', com espessuras decamétricas na região estudada. Esta porção

foi formada por um ambiente transicional rift, marcado por falhamentos e pela porção pós-rift, do qual é marcado por subsidência regional (Rosas *et al.*, 2007).

A formação superior, chamada de Formação Aramachay, marca a mudança de ambiente sedimentar do Grupo, uma vez que ela apresenta folhelhos carbonáticos betuminosos intercalados com siltitos em menor proporção e com conteúdo fossilífero abundante de caráter marinho profundo e restrito (Rosas *et al.*, 2007).

O topo desse grupo é marcado pela formação Condorsinga, que marca a volta para um ambiente plataformar raso, composta predominantemente por calcários com dolomitos adjacentes. Nessa formação são relatados na bibliografia, lentes de gipsita que podem indicar a presença de um ambiente lagunar raso também relacionado com esse ambiente deposicional. (Rosas *et al.*, 2007)

Grupo Goyllarisquizga

O Grupo Goyllarisquizga, depositado no cretáceo inferior, é constituído por arenitos subordinados por calcários, com rochas sedimentadas em um ambiente deltáico, uma vez que é descrito na bibliografia um grande aporte siliciclástico em seus registros sedimentares, dos quais refletem uma nítida mudança das fontes detríticas na bacia gerados por um possível evento tectônico de escala regional (Wilson, 1963; Mégard, 1978; Soto, 1979; Moulin, 1989, Jacay, 2005).

6. RESULTADOS OBTIDOS

6.1 Descrição macroscópica das amostras

6.1.1 Rochas Encaixantes

Filitos

Essa litologia ocorre como rochas de cor preta e acinzentada e caracterizadas como os filitos do Grupo Excelsior. Possuem estruturação plano paralela, de espessuras milimétricas evidentes associada com estrutura lepidogranoblástica marcada pela reorientação dos argilominerais originais da rocha e, secundariamente, quartzo e plagioclásio de granulometria fina.

A estrutura sedimentar se apresenta tanto preservada, quanto reestruturada, uma vez que ela está anastomosada em algumas porções, com uma reestruturação S₁ oblíqua, até chegando a uma reestruturação caótica associada a intenso hidrotermalismo.

São encontradas lentes de origem sedimentar que se apresentam anastomosadas. As alterações hidrotermais são localizadas e se apresentam em intensas silicificações, cloritização, alteração propilítica, alteração argílica e também veios milimétricos e centimétricos compostos por quartzo, carbonatos e sulfetos (Figura 12)

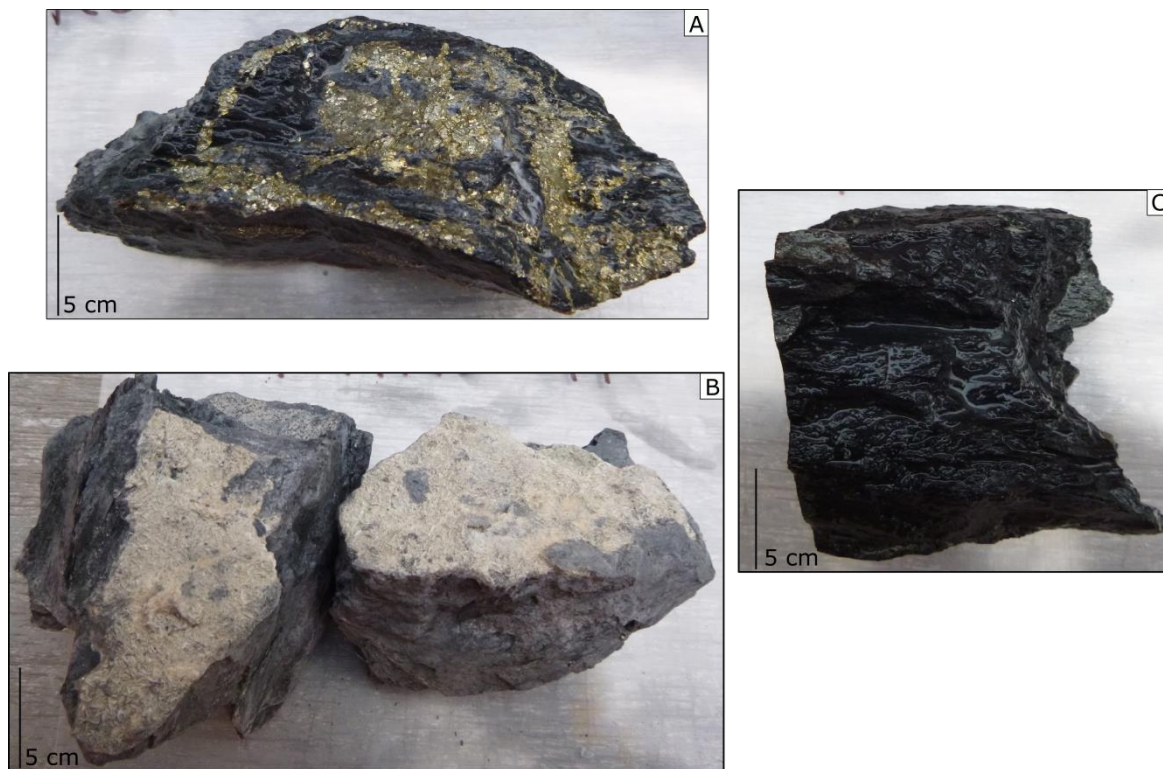


Figura 12: A) Filito com presença de veios compostos por sulfetos e quartzo oblíquos, às estruturas sedimentares bem preservadas, levemente oblíquos. B) Filito com presença de carbonatos de origem hidrotermal entre os planos de estruturação sedimentar, com alteração hidrotermal elevada, tomando a mesma coloração clara e acamamento pouco preservado. C) Filito com baixa alteração hidrotermal e acamamento sedimentar preservado.

Metarenitos

Rochas de granulação fina bem selecionada, com grãos arredondados. Essa litologia apresenta-se de cor amarela chegando a roxa, em níveis inferiores, associada com a presença de argilas. São encontrados níveis com presença de conglomerados polimíticos de matriz composta por areia mal selecionada. Essa litologia se apresenta com poucas alterações hidrotermais na área de estudo, sendo bem presente silicificação. São encontradas evidências estruturais que se apresentam como respostas ao cisalhamento, uma vez que essa rocha contém foliações oblíquas ao acamamento principal de atitude aproximada N40E com mergulho variando de 30NW-60NW.

Rochas metavulcânicas

Essa litologia se apresenta como rochas vulcânicas metamorfizadas em baixo grau, inequigranular, com megacristais de calcita e quartzo de forma arredondada e tamanho médio de 1-2 mm, que compõem em média 5% das amostras, em uma matriz equigranular fina composta em sua maioria por plagioclásio, magnetita, clorita, pirita, galena, carbonatos e em pequenas proporções quartzo. Essa rocha apresenta veios de espessuras centimétricos até métricos compostos por carbonatos de ferro, quartzo e sulfetos discordantes com a foliação. Ela está fortemente cisalhada, uma vez que são encontrados uma série de fraturas e uma forte foliação, que, por sua vez, é marcada pela orientação dos minerais hidrotermais e pela reorientação dos minerais ígneos. As alterações hidrotermais relacionadas são clorítica e sericítica.

Rochas Carbonáticas

As rochas carbonáticas descritas são relacionadas com a bibliografia pela Formação Chambará do Grupo Pucará. Elas são compostas por dolomitos e calcários equigranulares e associadas com brechas carbonáticas composta por clastos anguloso com matriz carbonática inequigranular de granulação fina e muito fina. A porção basal na área estudada apresenta essa litologia com estruturação maciça, com espessura de aproximadamente 10 metros, e é sobreposta pela mesma litologia, entretanto, com estratificação plano paralela sub-horizontal.

6.1.2 Veios e corpos estratiformes mineralizados

Veio Andaychagua

Esse corpo se apresenta como mineralizações que ocorrem preferencialmente em fraturas, com corpos de espessuras de 20 cm chegando até 2 m. As rochas encaixantes deste corpo são geralmente as Rochas Vulcânicas Catalina, pertencentes ao Grupo Mitu e em filitos do Grupo Excelsior fraturados. Sua forma geralmente são veios contidos em um plano de falha de empurrão, com direção preferencial N40E/85NW.

Neste contexto se observa uma intensa alteração hidrotermal nas encaixantes próximas ao contato, sendo caracterizadas como alterações clorítica e sericítica. Os minerais de minério encontrados são esfalerita, marmatita, galena e galena argentífera, com tamanhos geralmente variáveis, indo desde pequenas pintas até euédricos e granulares, chegando a alguns centímetros. (Figura 13)

Os minerais de ganga encontrados eram em sua maioria pirita, calcita, ankerita, quartzo de coloração leitosa e magnetita, euédricos.

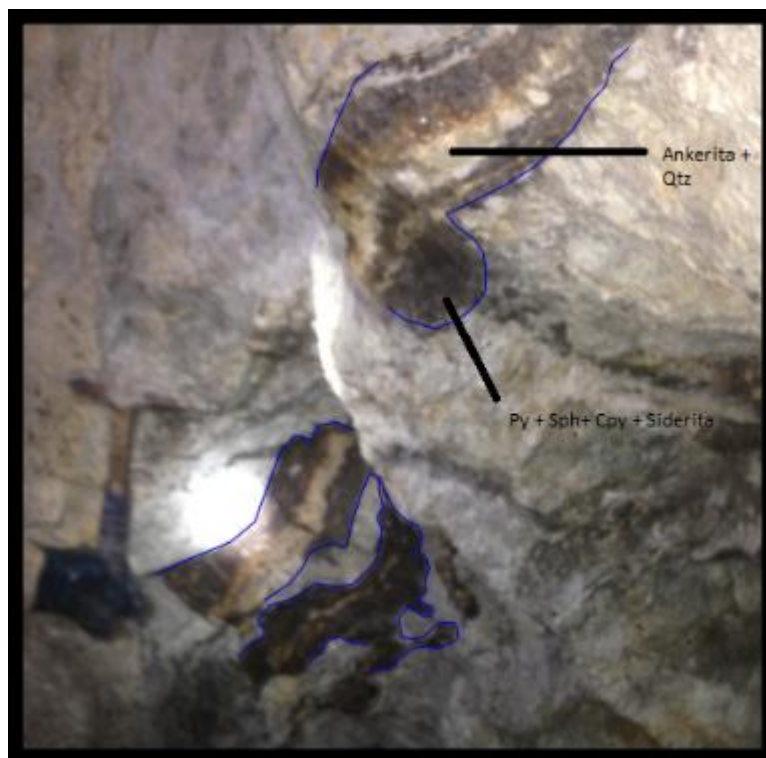


Figura 13: Imagem que mostra o veio andaychagua e suas paragêneses de mineral de minério. As encaxantes se apresentam como rochas metavulcânicas com alteração argílica avançada.

Veio Prosperidad Este

Esse corpo se apresenta mineralizado em fraturas preferencialmente em filitos e nas rochas metavulcânicas andesíticas. O veio ocorre com espessuras geralmente decamétricas e apresenta como minerais de minério esfalerita, galena e minerais de prata. Os minerais de ganga são quartzo pirita e siderita. Esses minerais se apresentam de diversas granulometrias, em algumas porções são encontrados com foram euédrica cristais de esfaleritas de 1-2 cm. associados com carbonatos, em outras porções os minerais de minério se apresentam com granulação fina muito fina. Esse corpo segue mineralizado em fraturas de orientação preferencial N55E/60NW.

Veio Ester

Esse corpo se apresenta na forma de um veio principal com atitude principal N40E/65NW. Ele se hospeda nas rochas vulcânicas andesíticas do Grupo Mitu, e sua espessura varia de 40 cm. chegando até a 1 metro.

Seus minerais de minério são esfalerita, galena, pirargirita e prata nativa, que se apresentam associados com ankerita, pirita e quartzo como minerais de ganga. As rochas

hospedeiras desta mineralização apresentam-se hidrotermalizadas, indicando alteração clorítica e silicificação.

Manto Moisés

Corpo estratiforme com espessura centimétrica a métrica de granulação fina, cor preta, devido a presença de óxidos de Mn. A composição mineralógica é de esfalerita, galena, ankerita e óxidos de Mn.

A rocha apresenta uma elevada densidade, sugere-se que isso se dá pela grande quantidade de sulfetos presentes com elevado grau de intemperismo. Esse corpo se estende por toda sua localização estudada e encaixado nas rochas carbonáticas do Grupo Pucará. Não foram reconhecidas alterações hidrotermais nas encaixantes. São observados pequenos veios milimétricos discordantes que cortam as rochas encaixantes carbonáticas, sugeridos como pequenas fraturas contemporâneas ao evento de mineralização do corpo.

6.2 Análise Estrutural

Para a análise dos fraturamentos locais da mina de Andaychuagua, foram medidas as atitudes de um total de 141 fraturas, das quais foram plotadas em um estereograma (Figura 14).

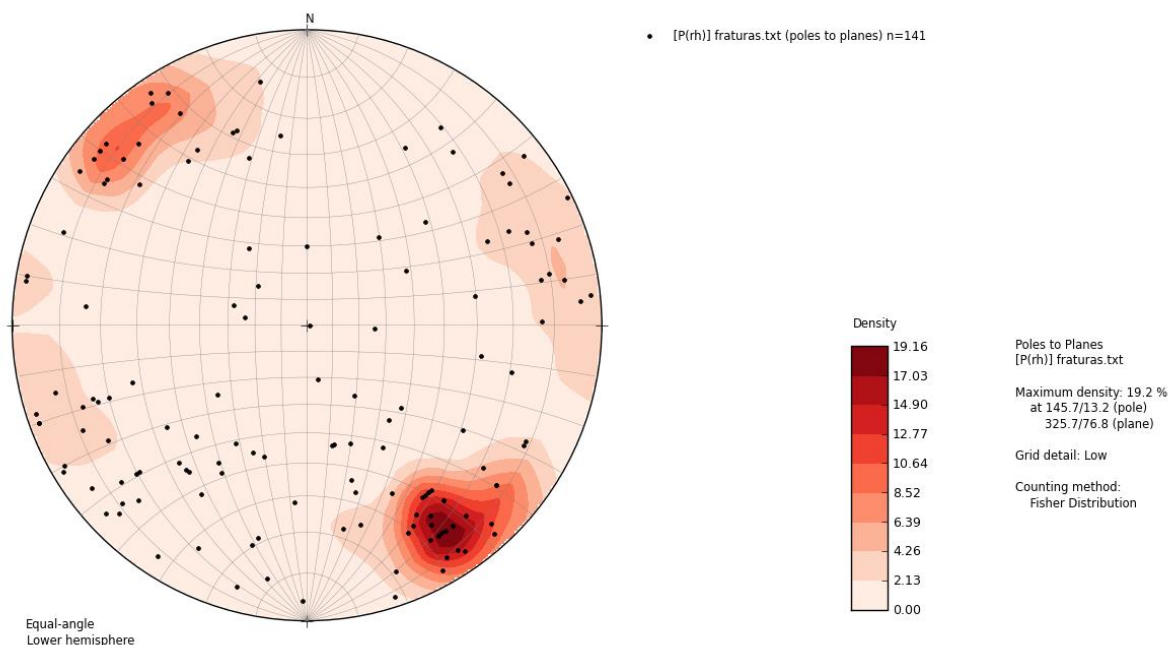


Figura 14: Diagrama de Wulff que contém as atitudes dos fraturamentos medidos na mina de Andaychuagua. As atitudes estão representadas por suas projeções polares.

O diagrama representa 4 regiões de maior concentração de projeções polares. Uma região concentrada em SE, que contém a maior densidade de projeções e que está ortogonal a outra porção com elevada densidade de pontos, para NW. Com base nas densidades de pontos, sugere-se que existiu um regime de esforços preferenciais com direção NW-SE, responsável pela formação dos fraturamentos apresentados, nessa direção, em alto ângulo. As outras duas regiões com elevada concentração de projeções são as regiões NE e SW do diagrama, da qual, pode significar um regime de esforços ortogonais ao regime supracitado responsável pelo fraturamento em mais baixo ângulo das direções NE-SW.

6.3 Descrição macroscópica

Foram descritas 6 amostras de mão dos testemunhos de sondagem usados para a confecção deste trabalho, sendo elas:

DDH-U-AN-16-80

Rocha de coloração bege esverdeado, inequigranular, marcada por aglomerados de micro cristais de carbonato e quartzo envolvidos por uma matriz muito fina composta por argilominerais e minerais opacos que dão a tonalidade bege da rocha (Figura 15). Ela se apresenta intensamente foliada, com foliação marcada pelos argilominerais da matriz. Essa



Figura 15: Testemunho de sondagem das amostras DDH-U-AN-16-80, mostrando sua feição macroscópica

foliação se apresenta com uma textura de fluidez e uma possível crenulação secundária. São encontrados veios milimétricos de material silicático e carbonático.

DDH-U-AN-16-37

Rocha de coloração verde, intensamente foliada, inequigranular, marcada pela presença de megacristais circulares de calcita, plagioclásio e quartzo, em uma matriz muito fina composta por quartzo, calcita, clorita e sericita. Sua foliação é formada principalmente pelos minerais da matriz fina muito fina, que se apresentam bem orientados e é observada, também, uma leve orientação dos megacristais (*Figura 16*)

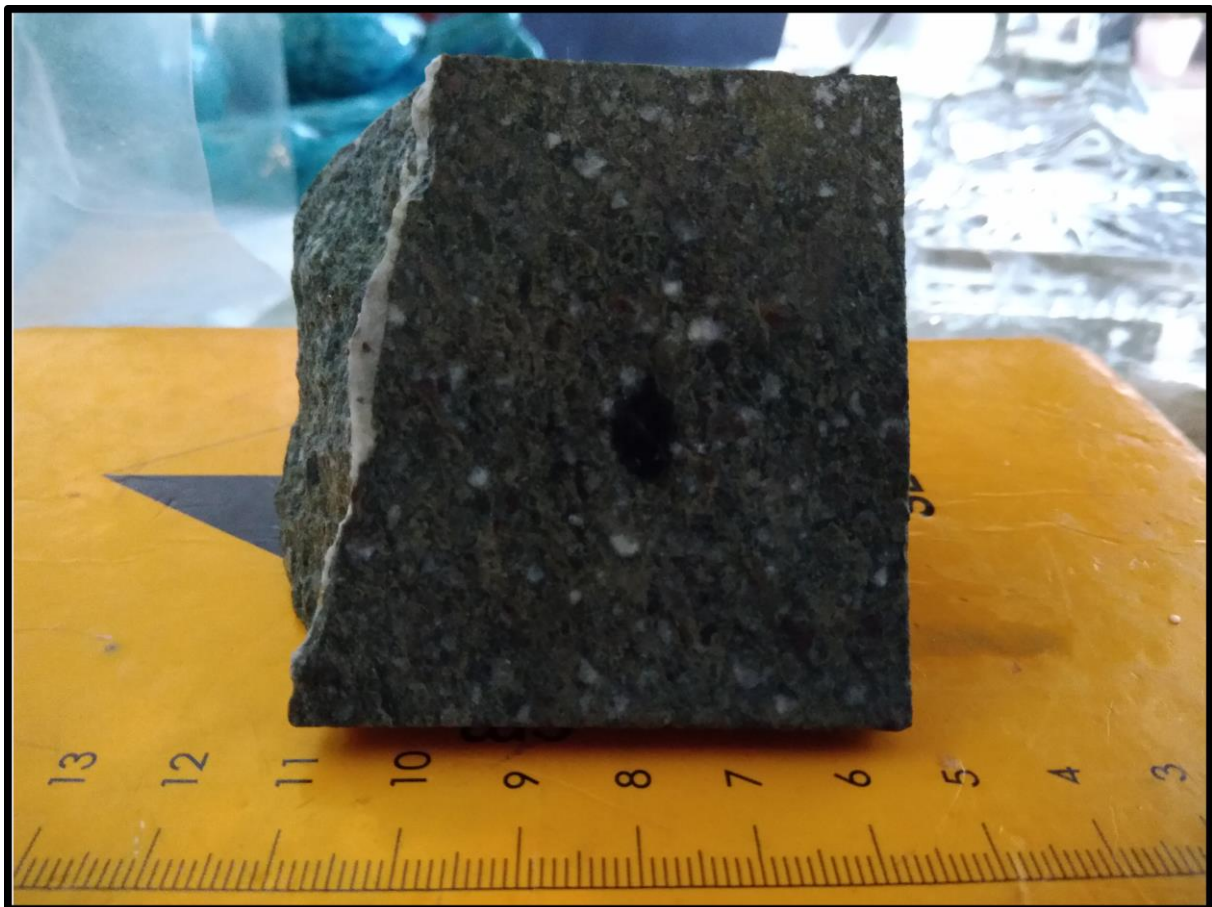


Figura 16: Amostra DDH-U-AN-16-37 de mão oriunda de um testemunho de sondagem, mostrando suas feições macroscópicas.

DDH-U-AN-16-48

Rocha de coloração verde, intensamente foliada, inequigranular, marcada por aglomerações centimétricas negras de calcita e opacos muito finos em uma matriz fina muito fina composta por clorita, argilominerais e pirita. A foliação é marcada principalmente pelos minerais que compõe a matriz e secundariamente pelas aglomerações negras que se apresentam levemente orientadas (*Figura 18*)



Figura 17: Testemunho de sondagem da amostra DDH-U-AN-16-48 mostrando suas feições macroscópicas.

DDH-U-AN-16-85

Rocha de coloração verde foliada inequigranular, com granulometria marcada por megacristais(1-2cm) de quartzo associado com calcita textura em forma sigmoidal sugerindo cisalhamento, um uma matriz fina muito fina composta por calcita, clorita, quartzo e plagioclásio. A foliação é marcada principalmente pelos minerais da matriz que são fortemente orientados e pela textura dos megacristais orientados (Figura 18).

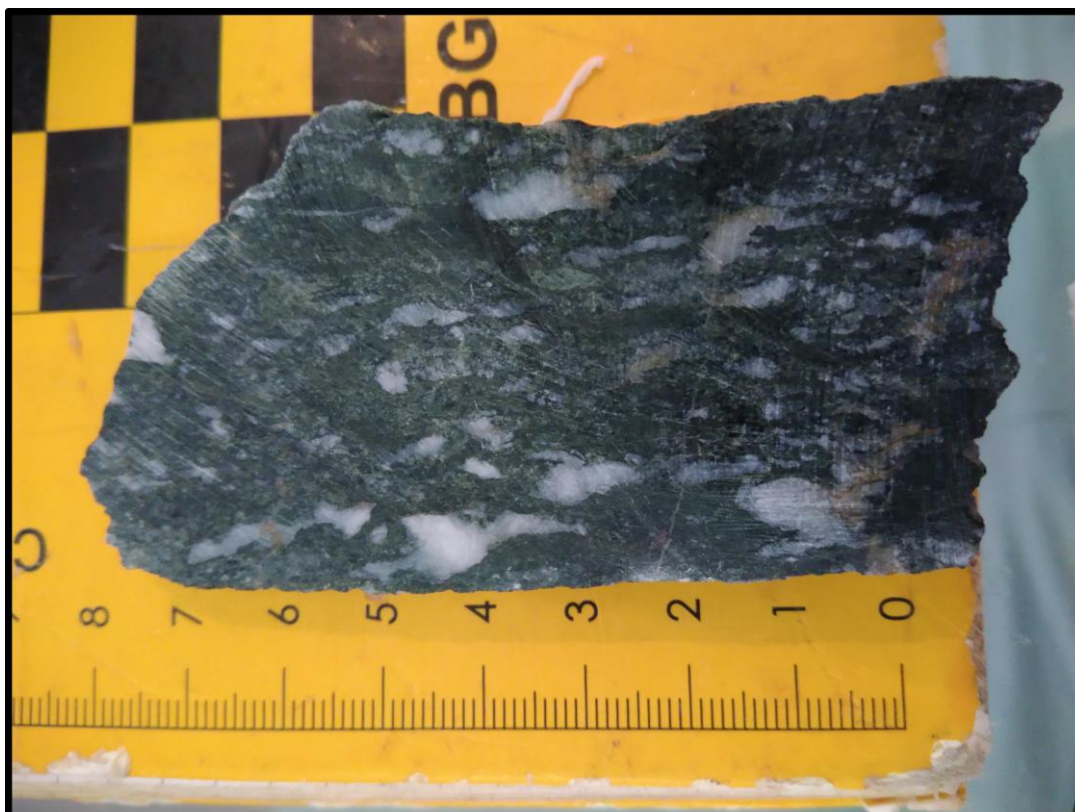


Figura 18: Testemunho de sondagem das amostras DDH-U-AN-16-85 mostrando suas feições macroscópicas.

DDH-U-AN-16-78

Rocha de coloração verde intensamente foliada inequigranular, com granulometria marcada por megacristais arredondados de calcita branca em meio a uma matriz de coloração verde muito fina composta por clorita, calcita e sulfetos. A foliação é composta principalmente pelos minerais da matriz e secundariamente pelo conjunto de megacristais paralelos a foliação principal (Figura 19).

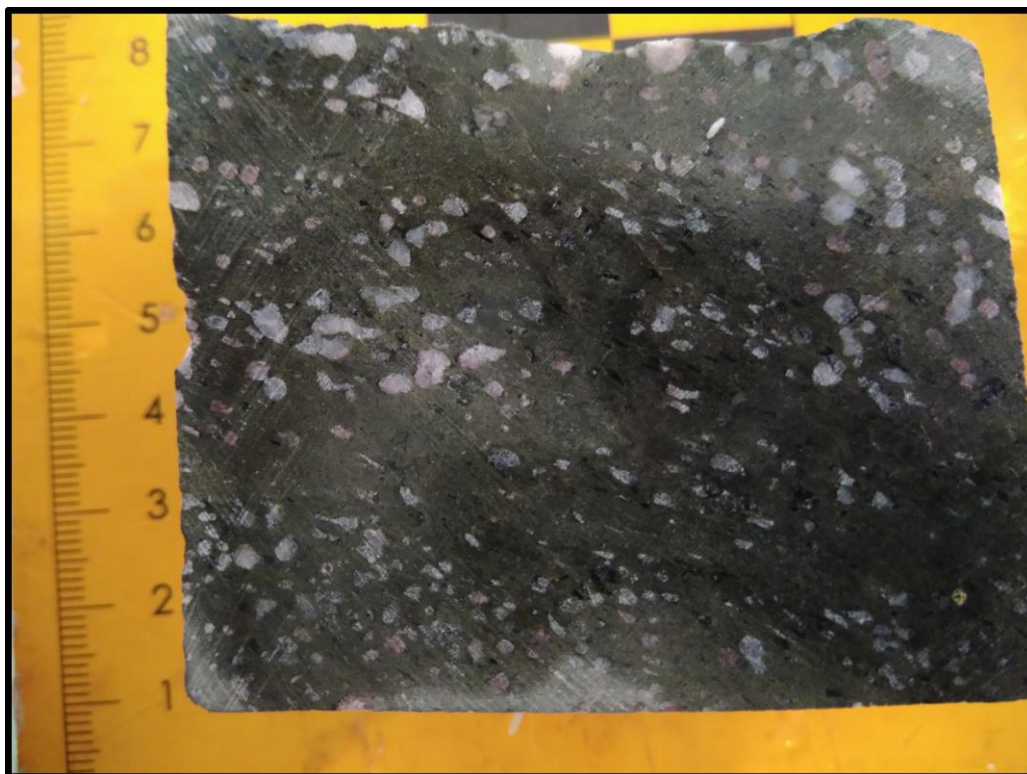


Figura 19: Testemunho de sondagem das amostras DDH-U-AN-16-78 mostrando suas feições macroscópicas.

DDH-U-AN-16-004

Rocha de coloração verde foliada, inequigranular, marcada por megacristais de calcita (0,5-1 cm) e quartzo com inclusões de calcopirita, bordeados por clorita, em uma matriz muito fina esverdeada composta por clorita calcita e mica branca. A rocha apresenta veios oblíquos a foliação de espessuras diversas, composta por quartzo, calcita, calcopirita e galena finos. A foliação é leve e marcada principalmente pelos minerais da matriz.

6.4 Micrografia

DDH-U-NA-16-80

Cloritito intensamente foliado

Rocha que se apresenta como um cloritito intensamente foliado, inequigranular bimodal, marcada por megacristal de origem hidrotermal de minerais opacos, discutidos na sessão MEV, clorita com inclusões de minerais opacos, carbonatos e sericita, carbonatos com inclusão de clorita, e plagioclásio milimétricos em uma matriz inequigranular fina/muito fina composta por quartzo, sericita, clorita, carbonatos, opacos, hidrotermais e plagioclásio ígneo

bem alterados, de textura intensamente foliada, marcada pela orientação dos minerais hidrotermais, sugerindo um cisalhamento intenso e contemporâneo ao evento de alteração hidrotermal. São encontradas texturas de movimentação de fluido, uma vez que em megacristais de plagioclásio os minerais hidrotermais finos e placóides o bordeiam. A rocha se apresenta com resquícios ígneos, marcados por plagioclásio finos placóide intensamente alterado, chegando, em alguns pontos a ser completamente substituído por material sericítico.

Mineral	% Volume	Comentários
Clorita	40%	Ocorrência paralela a deformação principal e associados com minerais opacos. Apresenta-se com inclusões de minerais opacos, sericita e carbonato. Estão presentes também na matriz como grãos muito finos.
Opacos	35%	Euédricos associado com a clorita nas foliações.
Sericita	10%	Se apresentam associados com clorita na matriz e na forma de inclusões em megacristais de clorita. Ocorre, também como pseduomórfos de plagioclásios de origem ígnea, substituindo a mineralogia inicial
Plagioclásio + K-Feldspato	10%	Se apresenta como megacristais com rotação de sub-grão. Apresentando inclusões de carbonatos na forma de megacristais menores. Ocorre, também, de parcialmente até completamente, na matriz, substituído por sericita, apresentando euédrico e caracteristicamente ígneo.
Quartzo	5%	Formando os principais veios tardios que são oblíquos a foliação principal. Esses veios apresentam também carbonatos e veios, de espessuras de 0,1-0,2mm.

Cloritito foliado

Rocha de coloração esverdeada foliada, com foliação marcada pela orientação de carbonatos e clorita hidrotermais na matriz, inequigranular multimodal com uma moda composta por megacristais de origem hidrotermal de clorita (0,4-0,6 mm), plagioclásio e quartzo (1-2mm) todos orientados segundo a foliação principal, carbonatos, parte arredondados e bordeados por minerais opacos e parte orientados. A matriz é composta por inequigranular composta por clorita, carbonato, sericita e opacos, todos orientados segundo a foliação e também em algumas regiões há plagioclásio quase que totalmente alterado para sericita, euédrico e fino. Essa rocha apresenta na forma de nódulos de calcita (0,3-0,4mm) bordeadas por magnetita hidrotermal. A rocha apresenta-se com intensa alteração hidrotermal clorítica, indicadas pela presença de carbonatos, clorita e pirita. A foliação principal desta litologia é composta pela maioria dos minerais hidrotermais presentes.

Mineral	% Volume	Comentários
Clorita	40%	Mineral de origem hidrotermal paralelo a foliação principal e é um dos seus constituintes principais. Esse mineral se apresenta um aspecto de fagocitose em minerais opacos e carbonatos, dividindo espaço com estes em algumas porções. (Figura 21)
Sericita	5%	Mineral hidrotermal que ocorre associado com clorita, carbonato e minerais opacos.
Calcita	15%	Compõe os minerais da matriz fina e também como megacristais a forma de nódulos que são bordeados por minerais magnetita. (Figura 21)

Quartzo	5%	Se apresenta como megacristais (0,3-0,4 mm) não orientados segundo a foliação principal e com inclusões de opacos e carbonatos.
Calcopirita	5%	Se distribui com formas arredondadas e disseminado pela rocha. Ocorre associado com ouro. (Figura 21)
Plagioclásio + K-Feldspato	<5%	Forma de megacristais com geminação <i>carlsbad</i> e <i>microclínio</i> com presença de inclusões de carbonato.
Ouro	<1%	Ocorre disseminado na rocha e associado com calcopirita. (Figura 20A)
Magnetita	<1%	Ocorre disseminado na litologia e está bordeando calcitas hidrotermais em forma de megacristais. (Figura 21)
Barita	<1%	Encontrado como inclusão em megacristais de carbonatos, de granulação muito fina. (Figura 21.C)

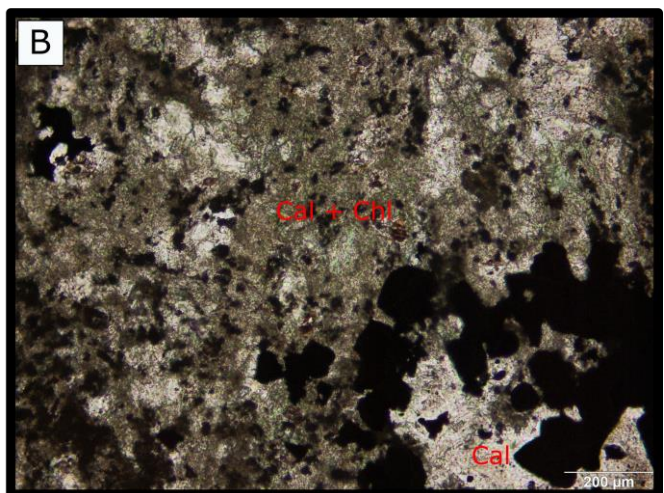
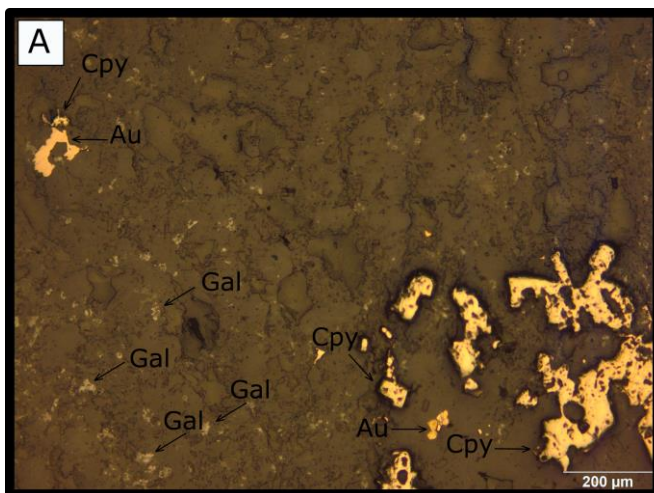


Figura 20: A) Micrografia de luz refletida com aumento de 10x, mostrando Cpy e Au disseminados. B) Micrografia de luz transmitida com aumento de 10X mostrando a relação entre os minerais opacos e os componentes principais da matriz (chl, calcita e qtz) fina. (Abreviações: Cpy: Calcopirita, Au: Ouro, Cal: Calcita, Chl: Clorita).

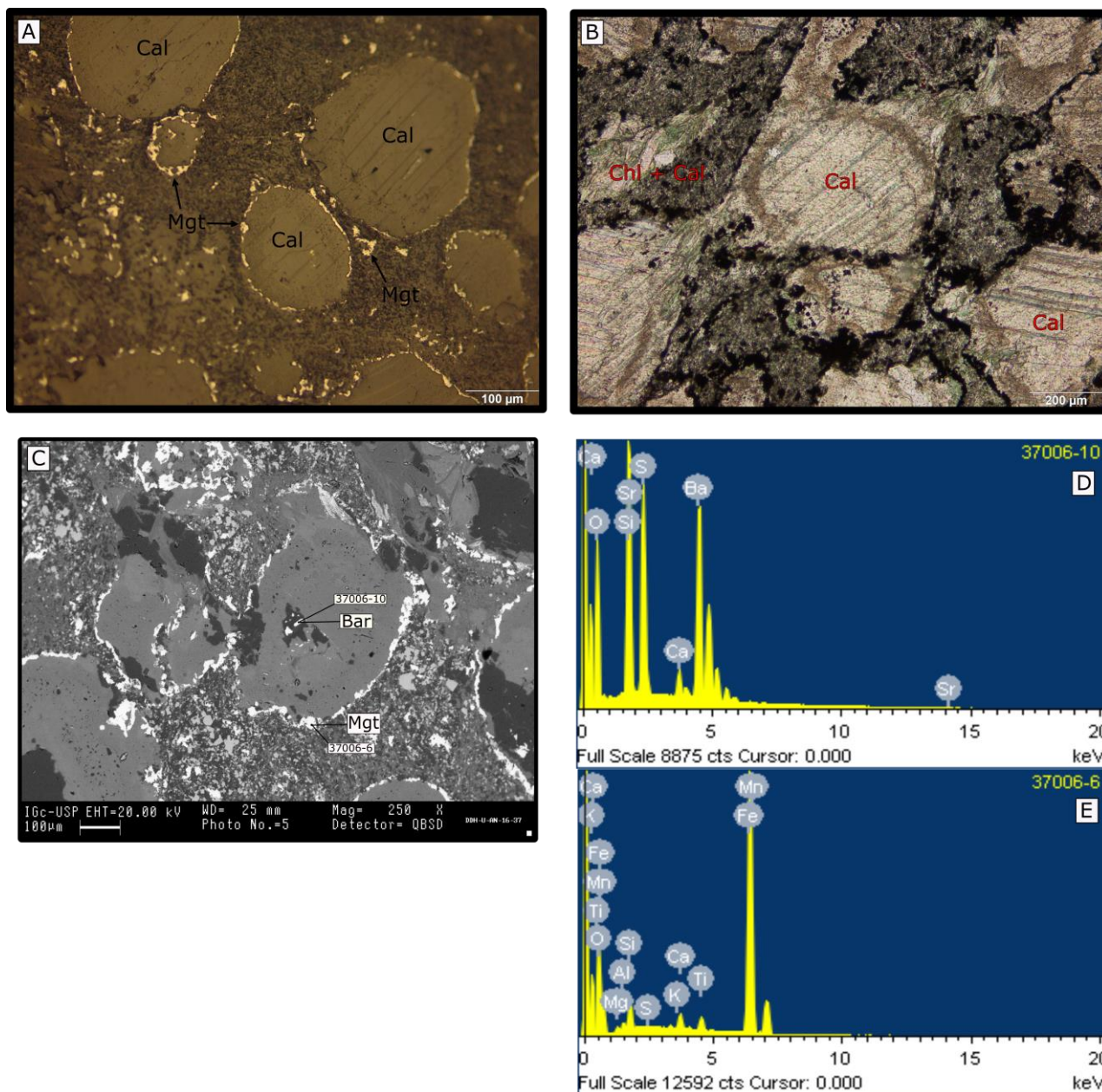


Figura 21: A) Fotomicrografia de luz transmitida com aumento de 10x representando mgt bordeando os megacristais de calcita. B) Fotomicrografia de luz transmitida com aumento de 10x mostrando a relação dos megacristais de cal, bordeados por mgt, com a matriz composta por mgt+ chlmaiscal. C) Micrografia eletrônica de varredura com aumento de 10x mostrando bar (37006-10) e mgt (37006-6). D) Gráfico que representa os resultados de EDS e composição dos cristais de barita. E) Gráfico que representa os resultados de EDS e a composição das magnetitas que bordeiam os megacristais de calcita.

Andesito Hidrotermalizado

Rocha de coloração verde clara origem vulcânica hidrotermalizada inequigranular marcada majoritariamente por uma matriz firmada de plagioclásio euédricos finos, associados com quartzo, maciço. Os megacristais desta litologia são calcita, opacos, quartzo e titanita de origem hidrotermal (1-2mm). A rocha se apresenta em sua maioria pelo aspecto ígneo alterado e maciça, entretanto, em algumas porções são encontradas forte foliação dos minerais de alteração. O contato entre a porção folheada e a porção maciça é abrupto. A rocha apresenta veios milimétricos (0,2-0,5 mm) discordantes com a foliação e com os megacristais da rocha. Essa estrutura fina discordante é composta por calcita, quartzo, opacos e adularia. A rocha apresenta textura *chalcopryite disease lead chain* (Barton et. al., 1987) (Figura 24) que se dá por pequenos grãos de calcopirita dentro de cristais grossos de esfalerita. Nela são encontrados grãos de ouro disseminado e associado com esfalerita disseminada.

Mineral	%Volume	Comentários
Plagioclásio	40%	Mineral idiomórfico e fino na forma de ripas de origem ígnea, sofrendo forte alteração por sericita. (Figura 24A)
Quartzo	20%	Megacristais (1-2mm) associado com a formação tardia dos carbonatos e minerais opacos. Esse mineral se apresenta conectado e também cortados por veios quartzosos. Se apresentam também na matriz aonde são finos.
Calcita	30%	Se apresentam como megacristais de origem hidrotermal, sendo fortemente bordeado por opacos. São associados com quartzo e estão presentes nos veios finos.
Calcopirita	10%	Mineral de granulação variada e em pelo menos três fases distintas. A primeira se dá com uma granulometria fina e disseminado pela matriz, associado com Au e galera. A segunda se dá em veios oblíquos a foliação principal em uma granulação mais grossa

		associado com quartzo e calcita. A terceira se dá com uma textura de <i>chalcopyrite disease</i> , em que ele se apresenta com uma granulação muito fina e está inserido em grandes cristais de esfalerita. (Figura 23, Figura 24)
Ouro	>2%	Mineral se apresenta disseminado pela matriz e associado com calcopirita. Se apresenta com granulação fina muito fina. (Figura 22 A)
Titanita	<1%	Mineral de granulação média, que aparece concorrendo por espaço com calcitas, quartzo e sulfetos.
Adularia	<1%	Mineral que ocorre dentro dos veios milimétricos e associado com quartzo, calcita, e minerais opacos. (Figura 23C)
Pirargirita	<1%	Se apresenta disseminado e associado com galena.
Galena	<1%	Mineral se apresenta principalmente em aglomerações de sulfetos e disseminado. Se apresenta associado com pirargirita, esfalerita e calcopirita.

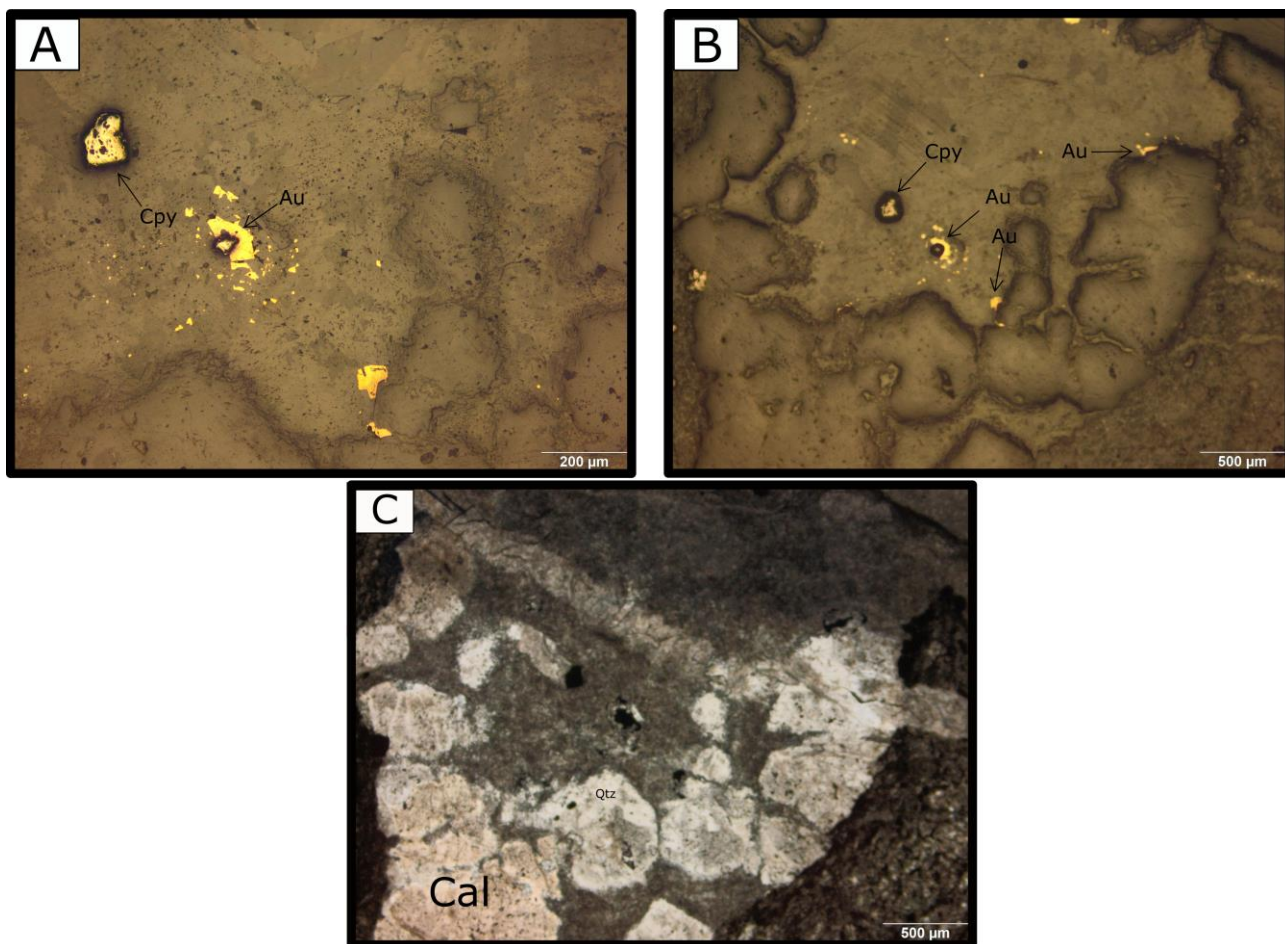


Figura 22: A) Fotomicrografia de luz refletida com aumento de 20x. Apresenta-se a associação de Au com cpy disseminados. B) figura análoga a figura 20. B só que com aumento de 10X. Se observa melhor como que ocorre a Cpy e Au disseminados pela rocha. C) Micrografia de luz transmitida com luz polarizada mostrando a relação

entre cpy e Au com os minerais hidrotermais associados, entre eles, qtz, cal, e a matriz composta por clorita e calcita finas. (Abreviações: Cpy: Calcopirita; Au: Ouro, Cal: Calcita, Qtz: Quartzo)

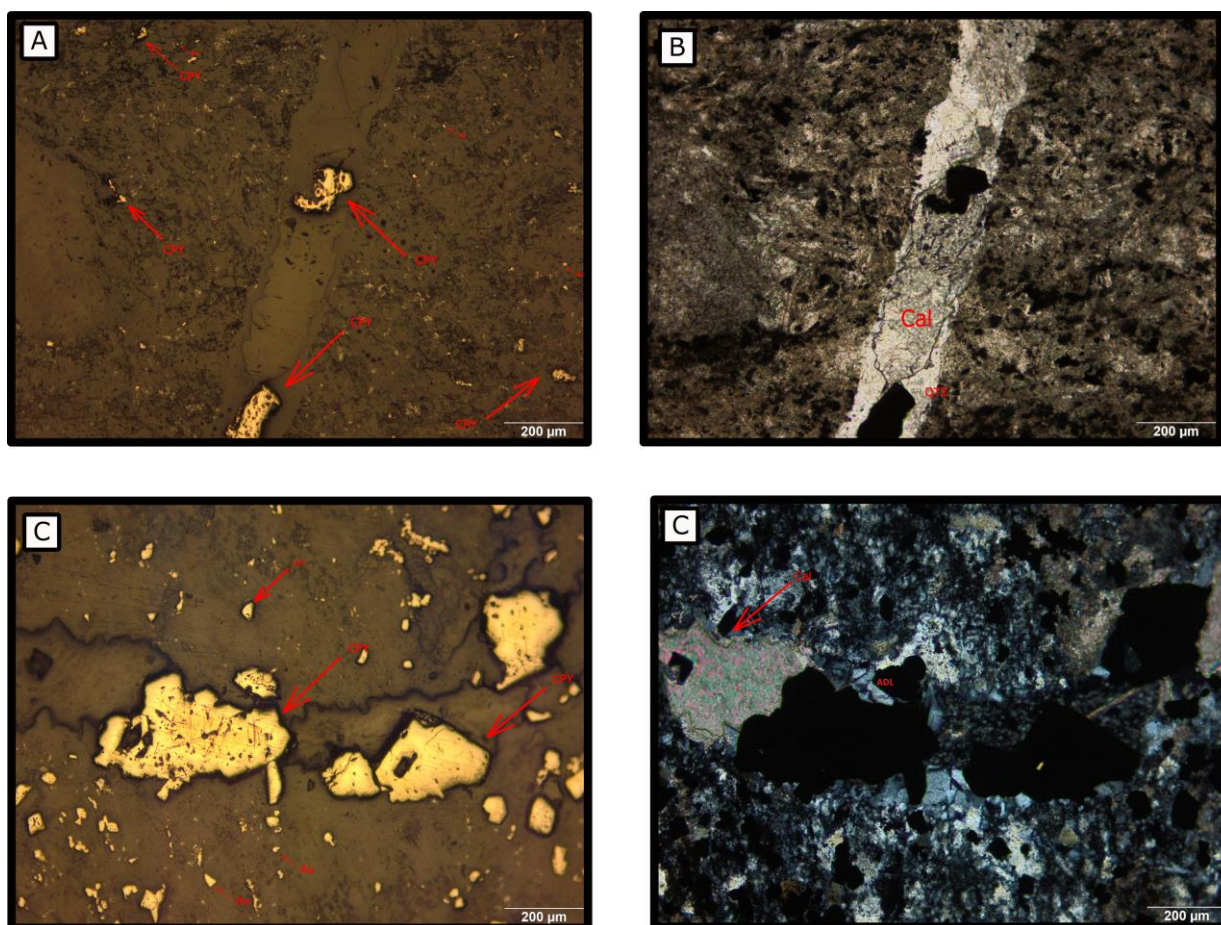


Figura 23: A) Fotomicrografia de luz refletida com aumento de 20X. Diferentes fases de formação da cpy, uma inicial disseminada, fina e associada com Au, e a segunda fase em veios, de granulação grossa, associada com calcita e quartzo. B) Fotomicrografia de luz transmitida mostrando a relação entre a cpy disseminada e em veios e os outros minerais que são relacionados, como calcita e quartzo. C) Fotomicrografia de luz refletida com aumento de 20X mostrando as diferentes fases de formação da cpy. Nota-se a distinção de granulometria entre a fase disseminada e a fase em veios. D) Fotomicrografia de luz transmitida com aumento de 20X e luz polarizada mostrando as relações entre a Cpy e o Au e os minerais não opacos. Nota-se que associado com a cpy ocorre grãos de adulária. (Abreviações: Cpy: Calcopirita, Au: Ouro, Adl: Adulária, Cal: Calcita, Qtz: Quartzo).

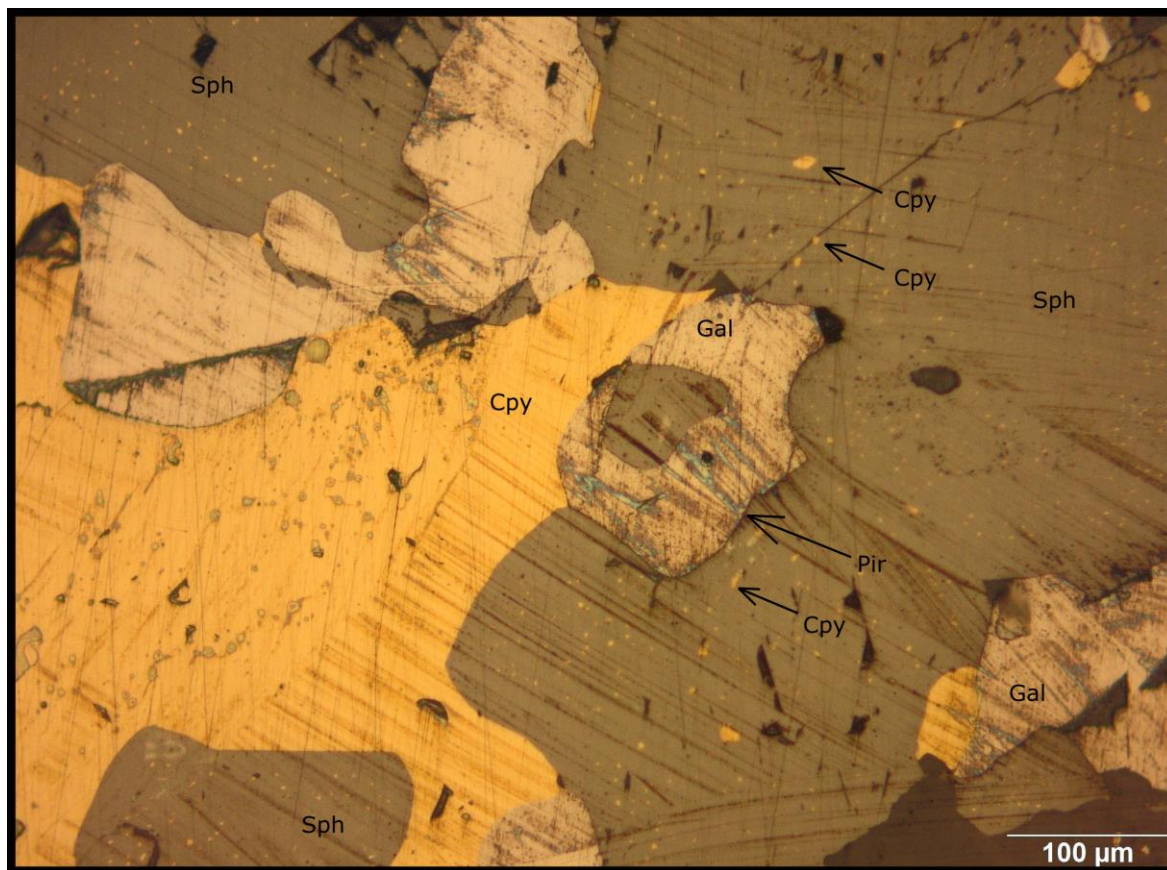


Figura 24:A) Fotomicrografia com luz transmitida, polarizadores descruzados e aumento de 10x das amostras DDH-U-AN-16-004. A imagem mostra a matriz composta por sericita, calcita e clorita, como pseudomórfos de plagioclásio na forma de ripas finas representando o aspecto ígneo da rocha original. B) Fotomicrografia com luz transmitida, polarizadores cruzados e aumento de 10x da amostra DDH-U-AN-16-004 com polarizadores cruzados, mostrando as mesmas feições da figura 26.A. C) Fotomicrográfrica com luz transmitida, polarizadores descruzados e aumento de 10x da amostra DDH-U-AN- 16-004 apresentando um veio milimétrico oblíquo a foliação principal composto por adularia, calcita e calcopirita.

DDH-U-AN-16-78

Cloritito foliado

Rocha intensamente foliada que se apresenta inequigranular bimodal, marcada por megacristais de carbonato (1mm) e clorita (0,6mm) orientados pela foliação principal, e uma matriz fina/muito fina composta por sericita, clorita, minerais opacos e carbonatos todos orientados segundo a foliação principal da litologia. A litologia apresenta forte foliação formada por minerais de alteração, sugerindo que o evento de alteração hidrotermal seja contemporâneo ou anterior ao evento de cisalhamento. A rocha apresenta-se em sua composição de minerais hidrotermais principais calcita, clorita e pirita (vista em amostra de mão), sugerindo intensa alteração hidrotermal clorítica.

Mineral	%Volume	Comentários
Calcita	35%	Se apresenta como Megacristais (1mm) na matriz fina/ muito fina ambas granulometrias fortemente orientadas segundo a foliação principal. Apresenta alteração em suas bordas por clorita. (Figura 28A)
Clorita	25%	Está presente nas bordas de calcita fruto de substituição. Sua ocorrência principal se dá em megacristais milimétricos e na matriz fina/muito fina, sempre orientados segundo a foliação principal.
Sericita	20%	Composto por um conjunto de micas brancas que compõe a matriz. Também se apresenta como pseudomórfos de plagioclásio euédrico, fruto de sua alteração, sempre segundo a foliação principal.
Minerais Opacos	20%	Minerais em sua maioria euédricos e orientados segundo a foliação principal. Ocorrem na matriz.

São encontradas estruturas em lâmina que sugere que a rocha passou por eventos cisalhantes (Figura 25A). A estruturação da rocha apresenta-se com uma orientação preferencial da matriz e dos megacristais de calcita que na porção superior da fotomicrografia apresentam-se como um bandamento com menor estiramento, em que os megacristais não estão tão estirados. Já na porção inferior sugere-se um maior estiramento mineralógico na direção de maior foliação, indicando, assim, que a litologia passou eventos cisalhantes.

Rocha de coloração esverdeada de estrutura fortemente foliada, com foliação marcada pela orientação dos minerais hidrotermais, inequigranular, formada por megacristais de calcita e quartzo (0,8-1,2mm) em uma matriz argilosa fina/muito fina composta por calcita, clorita, plagioclásio e quartzo.

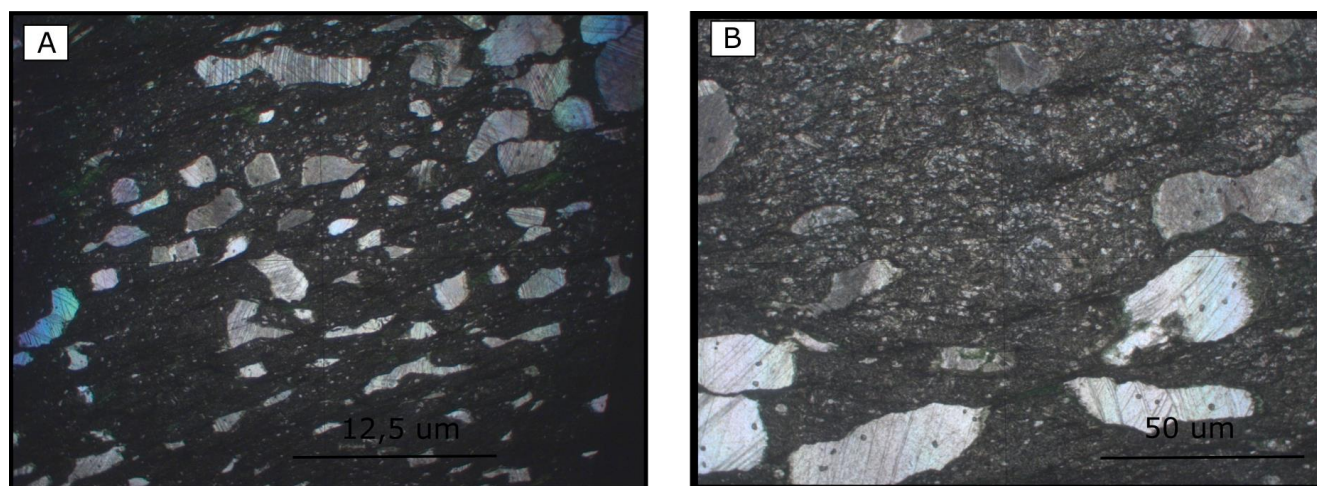


Figura 25: A) Fotomicrografia de luz transmitida das amostras DDH-U-AN-16-78 com polarizadores descruzados e aumento de 1,25x. Imagem que ilustra a matriz muito fina da rocha composta por sericita, clorita e calcita fortemente orientada pela foliação principal e também os megacristais de calcita, orientados fortemente segundo a foliação principal. B) Fotomicrografia de luz transmitida da amostra DDH-U-AN-16-78 com polarizadores de cruzados e aumento de 50x mostrando em detalhe os megacristais de calcita orientados segundo a foliação principal e alterados nas bordas por clorita.

Mineral	%Volume	Comentários
Calcita	60%	Mineral presente na forma de megacristais (0,8-1,2mm) e na matriz fina/muito fina, se apresenta orientada segundo a foliação principal. Ocorre a substituição por clorita nas bordas e algumas inclusões de quartzo e opacos. São encontradas algumas feições características de calcita com textura ripiforme
Clorita	15%	Está presente nas bordas dos megacristais de calcita e na matriz, em que está orientada segundo a foliação principal.
Minerais Opacos	15%	Apresentam a forma de 'pintas' arredondadas na matriz fina e como megacristais com inclusões de plagioclásio e quartzo. Os minerais opacos são formados majoritariamente por calcopirita, galera e esfalerita.

Quartzo	5%	Minerais que estão na forma de inclusões de granulometria média nas calcitas e também na matriz aonde estão orientados segundo a foliação.
Plagioclásio + K- Feldspato	5%	Mineral oriundo de alteração hidrotermal, que se apresenta majoritariamente na forma de inclusões de granulometria média em calcita.

DDH-U-AN-16-85

Rocha intensamente foliada, com foliação marcada pela orientação principal dos minerais de alteração compostos por concentrações de sericita e carbonato na forma de ripas grossas e concentrações grossas de calcita fina e também clorita intersticial, associada com opacos. Apresenta minerais inequigranulares com megacristais de clorita (0,1-0,2mm), associados com cristais finos muito finos de sericita e carbonato que se concentram em forma de ripas grossas (0,1mm) e concentrações de granulação grossa (0,5-0,7 mm) de calcita fina/muito fina arredondadas. A textura das cloritas que bordeiam os megacristais de calcita (Figura 27A) se apresentam como pares SC, em que ocorre uma orientação preferencial que é truncada por outra composta pela mesma litologia, sugerindo um possível evento de cisalhamento desta litologia.

Minerais	Volume (%)	Comentário
Clorita	35%	Mineral localizado na matriz, fortemente orientado segundo a foliação principal (<i>Figura 26</i>).
Calcita	20%	Formado por cristais finos arredondados que se concentram e compõem uma espécie de megacristais orientado segundo a foliação principal <i>Figura 26B</i>)
Plagioclásio	5%	Se apresenta na forma de megacristais arredondados, de origem não hidrotermal, que são alterados por

		carbonatos e clorita. Este mineral se apresenta sofrendo alteração e feições de cominuição por clorita em suas bordas. (<i>Figura 26A)</i>
Sericita	25%	Formam aglomerados na forma de ripas grossas, associados com calcita e opacos, todos muito finos e bordeados por material opaco e clorita. (<i>Figura 26B)</i>
Opacos	15%	Material fino arredondado e geralmente paralelo a foliação principal. Eles bordeiam as concentrações de sericita e

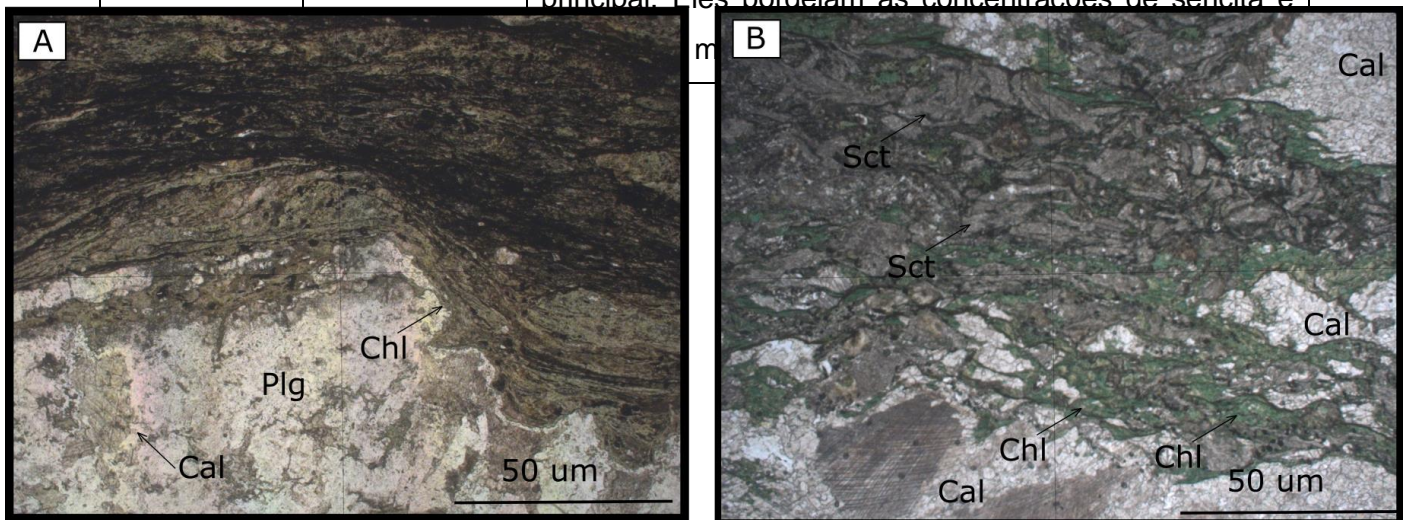


Figura 26:A) Fotomicrografia com luz transmitida, polarizadores descruzados e aumento de 50X, mostrando a alteração pervasiva da clorita em plagioclásio, nota-se também a forte foliação apresentada pela rocha pelos minerais de alteração. B) Fotomicrografia de luz transmitida, com polarizadores descruzados e aumento de 50X, mostrando as ripas grossas composta por concentração de sericita e secundariamente calcita, as concentrações de calcita arredondada formando megacristais orientados pela foliação principal e também as megacristais de clorita intersticiais e fortemente orientadas segundo a foliação principal.

6.5 Dificuldades surgidas e alteração nos objetivos originais

A execução deste trabalho apresentou uma série de dificuldades. Inicialmente, foram coletadas em campo amostras de todas as rochas encaixantes dos veios mineralizados da mina estudada, totalizando 76 amostras e que foram enviadas para o Brasil vindas do Peru pela empresa associada com a realização deste trabalho, entretanto, após serem

despachadas, dia 13 de fevereiro de 2017, e chegarem ao Brasil, as mesmas ficaram retidas na alfândega durante o período de 4 meses, sendo liberadas parcialmente para que chegassem na USP no início de agosto de 2017. A sacola de amostras de foi liberada possuía apenas as rochas metavulcânicas encaixantes, das quais foram exploradas ao máximo para a confecção deste trabalho. A liberação parcial da amostra foi feita a partir de um despachante contratado pela Universidade de São Paulo que a partir de muitos processos burocráticos conseguiu sua liberação parcial. Com isso, o trabalho que tinha como objetivo tanto a caracterização isotópica dos minérios da mina e a caracterização de todas as rochas encaixantes passou a ser a caracterização petrográfica das rochas encaixantes, da evolução de suas alterações hidrotermais e geocronológica das rochas metavulcânicas que ainda não tinham sido estudadas pela empresa que opera essa mina.

O trabalho tinha inicialmente o objetivo de se realizar trabalhos de datação absoluta nas rochas estudadas, a partir de método U-Pb (SHRIMP) em zircão. Entretanto, após serem realizadas duas vezes os procedimentos padrões de concentração deste mineral, não se obteve material suficiente para se realizar a datação desta litologia, assim, o trabalho teve como objetivo a caracterização das alterações hidrotermais e dos fluidos mineralizadores do depósito a partir de micrografia de luz transmitida e refletida e análises de MEV e EDS.

7. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

7.1 Rochas hospedeiras e alterações hidrotermais envolvidas

As rochas hospedeiras estudadas neste trabalho se apresentam como rochas de origem vulcânica, devido estruturas de preservação das estruturas da rocha original nas amostras DDH-U-AN-16-04 e DDH-U-AN-16-80, das quais apresentam ripas finas de plagioclásio maciças intensamente siricitizadas e carbonatadas que compõem alguns bolsões centimétricos na amostra.

Entretanto, na maior parte da litologia, são caracterizados intensos eventos de alterações hidrotermais, que causaram uma brusca mudança nas composições iniciais da rocha, alterando tanto a mineralogia quanto sua estruturação. A mineralogia das rochas, de modo geral, foi alterada pela grande quantidade de calcita e clorita tendo como com quartzo, adularia, sulfetos, plagioclásio, barita, apatita, magnetita e micas brancas, como minerais de menores proporções, e todos de origem hidrotermal.

A partir da paragênese das alterações hidrotermais, é possível verificar uma intensa cloritização nas litologias, uma vez que são encontradas e associadas ao mesmo evento de hidrotermalismo clorita, calcita, pirita e sericita que ocorrem tanto na matriz como em

megacristais hidrotermais. É observado que principalmente as micas brancas da sericitia alteram intensamente os plagioclásios de origem ígnea.

Devido à grande quantidade de carbonatos, em especial calcita, na matriz e como megacristais de origem hidrotermal, se associa ao evento de metassomatismo, possivelmente contemporâneo ao evento de cloritização a carbonatação dessas litologias. Os megacristais de carbonato se apresentam com uma leve alteração centro borda principalmente na amostra DDH-U-AN-16-37 e são bordeados com forma de coroa por magnetitas, indicando uma variação físico-química do fluido hidrotermal, sendo um outro evento de hidrotermalismo ou a evolução do mesmo fluido.

Os sulfetos se apresentam em sua maioria disseminados na rocha e associados com ouro, principalmente calcopirita. São encontradas duas fases principais de formação de calcopirita. A primeira fase está relacionada com calcopirita de granulação fina disseminada pela litologia e associada com ouro, geralmente não se apresenta orientada segundo a foliação principal das rochas. A segunda fase de formação está relacionada com veios oblíquos a foliação principal, no qual, no qual esses minerais se apresentam em granulações grossas e associado com calcita, adularia e quartzo nos veios milimétricos.

Nas regiões em que se concentram os sulfetos, é possível encontrar a textura de *chacopyrite disease* em esfalerita com forma de *bead chains* que são texturas descritas por Barton & Bethke (1987) como, possivelmente, substituição de calcopirita em esfalerita, que se dá pela saída do Fe da esfalerita e formação de pequenos agregados de calcopirita, resultando em um sistema com esfalerita empobrecida em Fe com micros cristais de calcopirita, comum em depósitos polimetálico epitermais (Barton e Bethke, 1987), sendo também relacionado por variações na fugacidade de enxofre e temperatura (Bortnikov et al., 1991; Bente and Doering, 1995; Lepetit et al., 2003).

Nas zonas em que se concentram sulfetos, é possível verificar a ocorrência de galena, pirargirita, calcopirita não oriunda da substituição por esfalerita, e Au.

7.2 Características do Fluido Hidrotermal

O fluido hidrotermal é caracterizado por gerar os halos de alteração hidrotermal e por carregar os metais que ao encontrarem uma alteração físico-química os precipitam. As rochas aqui estudadas não compõe o corpo mineralizado, entretanto, passaram por intenso processo hidrotermal e, a partir da paragénesese dos minerais hidrotermal, foi possível caracterizar as características físico-químicas do fluido.

Com o número restrito de litologias estudadas não é possível caracterizar neste trabalho quantos eventos hidrotermais ocorreram no depósito, porém, é possível caracterizar de forma geral as características do fluido hidrotermal mineralizador.

A paragênese hidrotermal contém, de maior para menor conteúdo, calcita, clorita, sericita, plagioclásio, k-feldspato, quartzo, calcopirita, esfalerita, galena, magnetita, galena, pirargirita e preenita. Tendo como base a classificação da paragênese hidrotermal proposta por Sillitoe et al. (2003) para depósitos relacionados com *intermediate sulfidation* (quadro 5) sugere-se que o fluido hidrotermal responsável pelo metassomatismo nas rochas estudadas apresenta característica *intermediate sulfidation*, assim como descrito na para depósitos de metais base (Figura 27). (Einaudi, 2003, Baumgartner et al., 2008, Kouzmanov e Pokrovski, 2012).

É descrito por Sillitoe (2003) que fluidos *intermediate sulfidation* estão relacionados com depósitos com elevados teores de metais de base e razão Ag/Au altas, além de elevado conteúdo de sulfetos e sulfossais (Einaudi, 2003), sendo essas características estão presentes nas rochas do depósito estudado. São relacionados a esses depósitos a paragênese de esfalerita, galena, tetrahedrita, tennantita e calcopirita (Sillitoe, 2003), dos quais compõem a paragênese hidrotermal das amostras estudadas. Portanto, se sugere que o fluido mineralizador que percolou as rochas estudadas tinham como características principais de fluidos *intermediate sulfidation* (Figura 27).

	Depósitos <i>intermediate sulfidation</i>	Depósito de Andaychagua
Exemplo típico	Baguio, Filipinas	-
Rochas vulcânicas associadas	Principalmente rochas de composição andesítica até riodacítica.	Rochas de composição andesítica e riodacíticas
Alterações hidrotermais relacionadas	Sericita, com adularia não muito comum.	Sericitização, carbonatização e cloritização e adularia associada.

Gangas de minerais silicáticos	Veios de quartzo	Alteração pervasiva, veios de quartzo e minerais disseminados, e adularia.
<i>Minerais de ganga carbonática</i>	<i>Comum e tipicamente associada com carbonatos manganésíferos.</i>	<i>Calcita, ankerita e siderita.</i>
<i>Outros minerais de ganga</i>	<i>Barita e silicatos manganésíferos</i>	<i>Clorita, quartzo, barita, apatita, magnetita</i>
<i>Abundância de sulfetos</i>	<i>5-20%</i>	<i>~15%</i>
<i>Sulfetos relacionados</i>	<i>Esfalerita, galena, tennantita e calcopirita</i>	<i>Esfalerita, galena, calcopirita, pirargirita</i>
<i>Metais principais</i>	<i>Ag-Au, Zn, Pb, Cu</i>	<i>Ag, Zn, Pb e Cu</i>
<i>Metais de menor ocorrência</i>	<i>Mo, As, Sb</i>	<i>Au</i>

Quadro 5: Características principais de depósitos do tipo *intermediate sulfidation* e os relacionando com as amostras estudadas do Depósito de Andaychagua. (Modificado de Sillitoe, 2003).

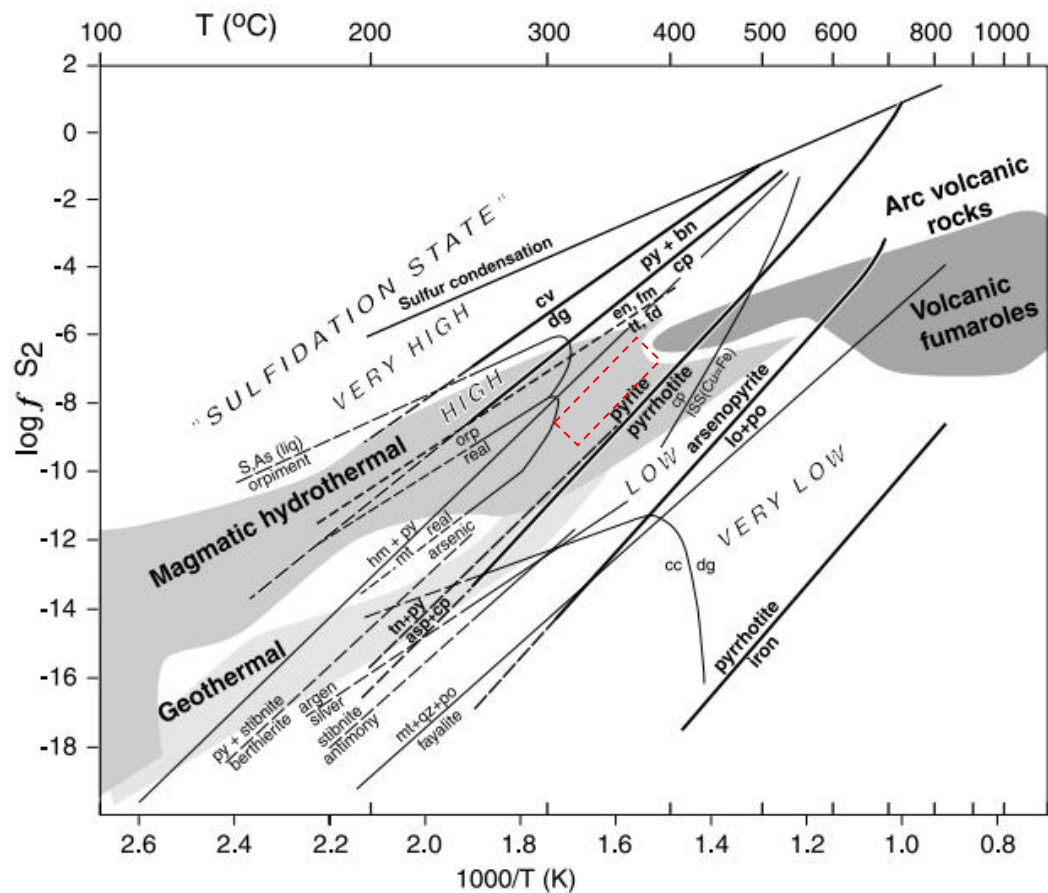


Figura 27: Diagrama que representa o estado de sulfidação do fluido do depósito de Andaychagua (retângulo vermelho), a variação do estado de sulfidação das assembleias mineralógicas em depósitos epitermais refletindo seu estado de sulfidação, desde *very low sulfidation*, *low sulfidation*, *intermediate sulfidation*, *high sulfidation* até *very high sulfidation*. Apresenta também os campos composicionais de arcos vulcânicos, fumarolas de altas temperaturas, fluidos magmáticos hidrotermais e fluidos geotermiais, como discutido por Einaudi et al. (2003). (Modificado de Einaudi et al., 2003).

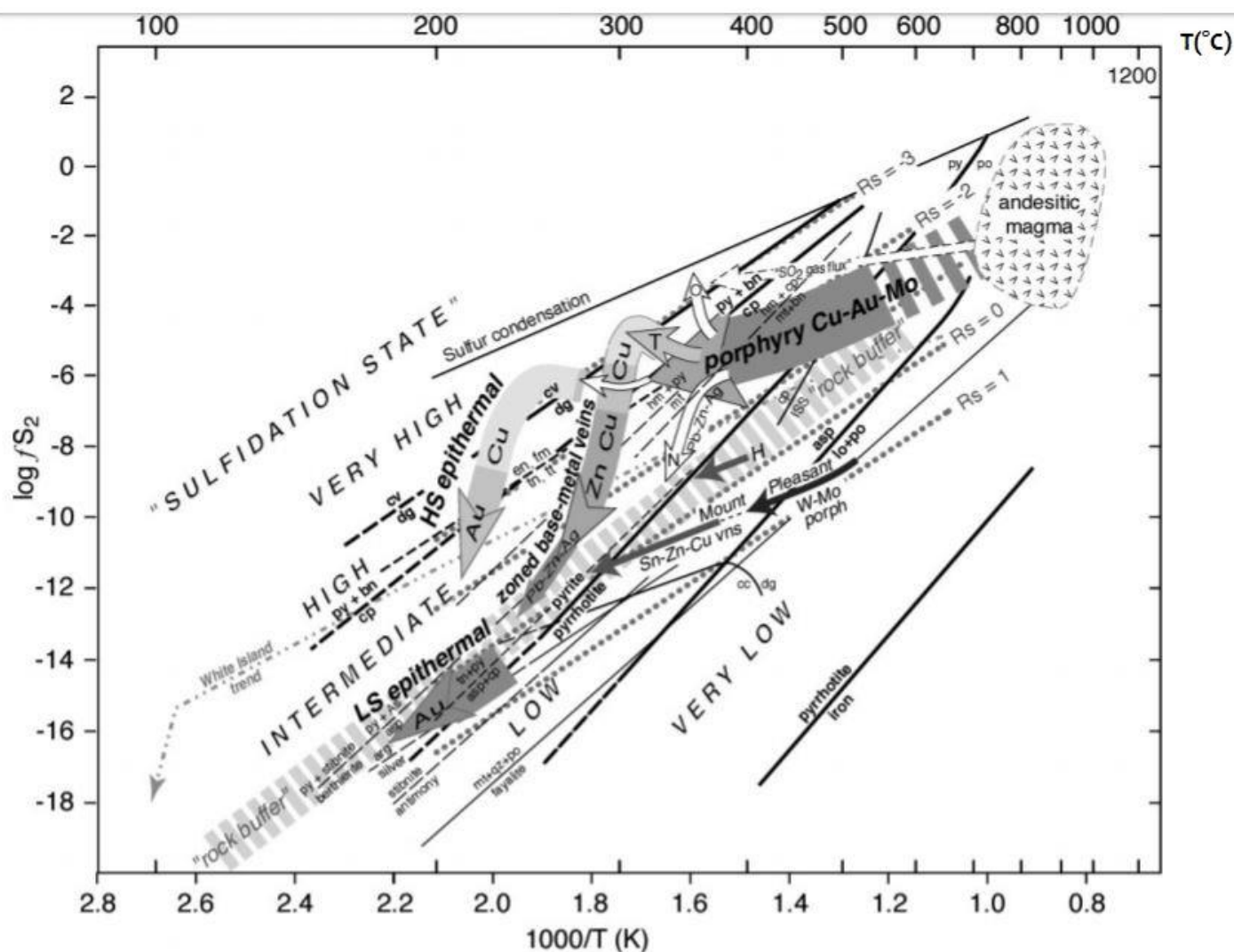


Figura 28 Diagrama Log fS_2 - 1000/T controlado por R_s , Log fS_2 - 1000 / T diagrama, contornado para R_s , ilustrando ambientes fluidos em cobre pórfiro, cobre pórfiro relacionados com os veios de base-metal e os depósitos epitermais de Au-Ag em termos de uma série de caminhos de arrefecimento possíveis são influenciados por processos discutidos por Einaudi e Hedenquist 2003. Ambientes fluidos baseiam-se em conjuntos de sulfetos e temperaturas característicos discutidos por Einaudi e Hedenquist (2003) e as reações de sulfidação de Barton e Skinner (1979). Flecha rotulada "Cu-Au-Mo" de pórfiro refere-se a conjuntos de idade inicial e intermediária depositados a aproximadamente 500 a 350 ° C e estados de sulfidação de baixo a intermediário. As setas rotuladas como "N" e "O" representam desvios da linha principal do ambiente de formação do depósito. Transição para assembleias tardias em estados de alta sulfidação e para "Zoned base metal veins" com temperatura de até 350 ° C é indicada por seta cinzenta com a etiqueta "T". As montagens sulfídicas nos últimos depósitos descrevem um retorno de sulfidação muito alta para os estados intermediários de sulfidação do "tampão de rocha". (Einaudi e Hedenquist, 2003). Da mesma forma, HS os depósitos epitermais consistem em uma assembleia inicial precoce em cobre e alta sulfidação, seguida de um estágio rico em Au com estados intermediários de sulfidação. Os depósitos epitermais (não mostrados) são de cerca de 250 ° C e principalmente no intermediário estados de sulfidação. Os veios de ouro epitermal de LS são mostradas perto de 200 ° C e em estados de sulfidação baixos a intermediários próximos a tamponação pela interação com a rocha. Outros depósitos de pórfiro que se formam em estados de sulfidação baixos e até muito baixos (escuros, finos as setas denominadas "Mount Pleasant" W-Mo e as veias relacionadas com Sn-Zn-Cu (Retirado de Einaudi e Hedenquist, 2003)

As rochas estudadas no presente trabalho apresentam-se intensamente alteradas hidrotermalmente. As paragéneses dos minerais de alteração são compostas

majoritariamente por calcita, sericita e clorita, e subordinadamente plagioclásio, quartzo e k-feldspato, dos quais variam suas porcentagens na rocha alterada. Os minerais hidrotermais se apresentam tanto na matriz, alterando parcialmente e até completamente a mineralogia ígnea original e as texturas da rocha original, apresentando fortes foliações, e crenulações associadas com alguns bandamentos gerados por eventos cisalhantes, os minerais de alteração também se apresentam como megacristais orientados pela foliação principal, que, em algumas porções.

Com base nos minerais principais de alteração e na característica do fluido mineralizador, sugere-se que as alterações hidrotermais nas rochas estudadas são alteração clorítica, sericitização e carbonatização, das quais podem-se se sobrepor devido a diferentes e distintas características do fluido mineralizador.

7.4 Análise estrutural e tectônica

É observado nas amostras uma forte foliação na paragênese hidrotermal que indicam um possível evento de esforços contemporâneo ou posterior aos eventos hidrotermais. Esses eventos possivelmente estão relacionados com a percolação dos fluidos hidrotermais e formação deposição do minério. Sendo os minerais de minério estão hospedados em grandes falhas.

É identificado, com base na análise das fraturas atuantes na área, fortes estruturações com trend NE-SW com mergulho alto de direção NW. Observa-se que esse sistema de fratura não está correlacionado com a Deformação Andina, uma vez que este é marcado por falhamentos de empurrão com direções de strike NNW e mergulho de alto ângulo para SW (Lepry, 1981). Entretanto, o evento deformacional que originou o sistema de fraturas estudado apresenta estruturação semelhante com o Veio Andaychagua, sugerindo uma correlação entre a formação da estrutura que hospeda a mineralização e as estruturas observadas em campo. É atribuído ao evento de Orogenia Hercyana a formação da Anticlinal Chumpe (Mégard, 1947), e a formação de estruturas com direção principal NE-SW. Sugere-se, então, que a formação das estruturas estudadas no trabalho e a falha hospeda o Veio Andaychagua foram formadas durante esse evento tectônico paleozoico. (Lepry, 1981).

Com base nas estruturas observadas em microscopia de luz transmitida e feições macroscópicas das rochas estudadas, observa-se feições que identificam feições texturais que sugerem fortemente cisalhamento. Essas feições se dão pelos argilominerais da matriz e megacristais em forma anastomosada, que indicam que teve um possível fator rotacional durante as fases de deformação dessas litologias. Também são encontrados alguns

bandamentos que apresentam graus distintos de estiramento mineralógico, sugerindo, também, cisalhamento atuante na área.

Os veios milimétricos oblíquos e tardios em relação a foliação principal apresentam em sua composição mineralógica adularia, quartzo, calcita e sulfetos e sugerem uma desestabilização do fluido mineralizador, uma vez que adularia sugere fluidos hidrotermais de *low sulfidation* (Einaudi, 2003) e não são encontradas na matriz. A desestabilização do fluido mineralizador também pode ser representada pela formação da textura de Chalcopyrite Disease que, por mais que ainda não é uma feição de alta compreensão em depósitos minerais, pode ser indicativo de variações físico-químicas do fluido mineralizador (Bortnikov, 1991). As feições de desequilíbrio ou de variações do fluido mineralizador são comuns em depósitos epitermais polimetálicos (Einaudi & Hedenquist, 2003) e, de acordo com as texturas encontradas nas rochas estudadas, se aplicam ao depósito de Andaychagua.

8. CONCLUSÕES

Por meio deste estudo conclui-se que as rochas estudadas neste trabalho, anteriormente não identificadas de forma clara, apresentam-se origem vulcânica e são classificadas de acordo com o diagrama QAP como andesitos. As evidências de origem ígnea se apresentam em bolsões de menor alteração hidrotermal, uma vez que, de forma geral essas litologias apresentam-se elevado hidrotermalismo. As intensas atividades hidrotermais são caracterizadas como carbonatização, cloritização e sericitização, das quais foram responsáveis por alterar os minerais quase que completamente a textura ígnea. A mineralogia hidrotermal se apresenta tanto na forma de megacristais de calcita e clorita milimétricos, quanto na matriz, fina e muito fina composta por calcita, clorita, quartzo, plagioclásio e k-feldspato.

Com base na paragênese hidrotermal presentes nesta rocha, e com base na bibliografia estudada, conclui-se que o depósito de Andaychagua apresenta em maior proporção fluidos *intermediate sulfidation*. Entretanto, com base nas análises de veios com oblíquos a foliação principal e relações texturais entre as mineralogias, sendo elas as duas fases de ocorrência de calcopirita e *chalcopyrite-disease* em esfalerita, sugere-se que tenha ocorrido pelo menos um evento hidrotermal posterior ao principal, associado com um fluido de característica *low sulfidation*, uma vez que em depósitos polimetálicos é comum a variação ou desestabilização dos fluidos hidrotermais.

Este trabalho trouxe os primeiros dados de caracterização do fluido, alterações hidrotermais e classificação da litologia estudada no depósito de Andaychagua. Para uma melhor caracterização das atividades hidrotermais e de interação fluido-rocha, sugere-se que sejam realizados estudos de isótopos de Pb nos sulfetos, São indicados como estudo futuros ,visando uma melhor caracterização, com isótopos aplicados nos sulfetos e nos minerais de ganga (Pb,Sr,Nd) isótopos estáveis (C e O H e S) e inclusões fluídas, possibilitando a análise das fontes do fluido, e a relação de água meteórica e fluido magmático, para que se determine de forma mais precisa as relações de fluido-rocha. Sugere-se, também, uma análise mais aprofundada sobre a composição dos sulfetos em suas diferentes fases de mineralização para que se possa determinar de forma precisa a proporção dos elementos que os compõe e obter maior classificação sobre o estilo de mineralização e também caracterizar de forma mais direta os eventos mineralizantes no depósito de Andaychagua.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abinson, T., Nelson C.E. (2001). Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: constraints from fluid inclusion and stable isotope data. *SEG SPECIAL PUBLICATION*. 8. 1-32.

Barnes, H.L. (1979) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. New York: John Wiley & Sons.

Barton Jr., P.B., Skinner, B.J. (1979). Sulfide mineral stabilities. In: H.L. Barnes *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2 ed., H.L. 278–403. New York: John Wiley & Sons.

Barton Jr., P.B, Bethke, P.M. (1987). Chacopyrite Disease in Sphalerite: Pathology Epidemiology. *American Mineralogist*, 72, 451-467,

Bartos, P.J (1987). Quiruvilca, Peru; mineral zoning and timing of wall-rock alteration relative to Cu-Pb-Zn-Ag vein-fill. *Economic Geology*.82. 1431-1452.

Baumgartner, R., Fontboté, L. (2008). Mineral Zoning and Geochemistry of Epithermal Polymetallic Zn-Pb-Ag-Cu-Bi Mineralization at Cerro de Pasco, Peru. *Economic Geology*, 103, 493-537.

Benavides-Caceres, V. (1999). The Andean cycle. In: Skinner, B.J. (Ed.), *Geology and ore deposits of the Central Andes: Society of Economic Geologists Special Publication*. 7, 61-107.

Bendezú, R., Fontboté, L., (2002). Late timing for high sulfidation cordilleran base metal lode and replacement deposits in porphyry-related districts: the case of Colquijirca, central Peru. *Global exploration 2002: Integrated methods for discovery*. Denver: SEG.

Bendezú, R., Fontboté, L. (2008). Cordilleran Epithermal Cu-Zn-Pb-(Au-Ag) Mineralization in the Colquijirca District, Central Peru: Deposit-Scale Mineralogical Patterns. *Economic Geology*, 104, 905-944.

Bente, K., Doering, T. (1995). Experimental studies on the solid state diffusion of Cu + In in ZnS and on 'Disease', DIS (Diffusion Induced Segregations), in sphalerite and their geological applications. *Mineral and petrology*, 53, 285-305.

Bortnikov, N.S, Genkin, A.D., Dobrovol'skaya, M.G., Muravitskaya, G.N., Filimonova, A.A. (1991). The nature of chalcopyrite inclusions in sphalerite: exsolution, coprecipitation, or "Disease"? *Economic Geology*, 86, 1070-1082.

Cooke, D.R., Simmons, S.F. (2000) Characteristics and genesis of epithermal gold deposits, *Reviews in Economic Geology*, 13, 221-244.

Einaudi M.T. (1982). Descriptions of skarns associated with porphyry copper plutons, southwestern North America. In: S.R. Titley. *Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits: Southwestern North America*. Tucson: Univ. Arizona Press. 139-184.

Einaudi, M.T., Hedenquist, J.W., Inan, E.E. (2003). Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments. *Society of Economic Geologists Special Publication* 10, p.285-313.

Fontboté, L., and Bendezú, R., (2009), Cordilleran or Butte-type veins and replacement bodies as a deposit class in porphyry systems. *Society of Geology Applied to Ore Deposits Meeting*, 10^a Bienal, 521–523. Townsville: SGA.

Guilbert, J.M., Park Jr. C.F. (1985). The Geology of ore deposits. Freeman and Company.

Hamley, J.J, Hunt, J.P., (1992) hydrothermal ore-forming processes in the light of studies in rock-buffered systems; II, Some general geologic applications: II. Some general applications. *Economic Geology*. 87.23-43.

Harrison, J.V. (1940). Nota preliminar sobre la geología de Los Andes Centrales. *Bol. Sociedad Geológica del Perú* 10. 5-29.

Hedenquist, J.W., Arribas A., Gonzales-Urien, E., (2000). Exploration for epithermal gold deposits. *SEG Reviews*. 13. 245-277.

Henley, R.W., Ellis, A.J. (1983). Geothermal systems, ancient and modern: a geochemical review. *Earth Science Reviews*, 19, 1-50.

Jacay, J. (2005). Analisis de la sedimentacion del sistema cretácico de los Andes de Perú Central. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, (Vol.8) N.15, 49-59.

John, D.A (2001). Miocene and Early Pliocene Epithermal Gold-Silver Deposits in the Northern Great Basin, Western United States: Characteristics, Distribution, and Relationship to Magmatism. *Economic Geology*. 96. 1827-1853.

Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Mineral Council of Australia. (2012). Australasian code for reporting of exploration results, mineral resources and ore reserves. AusIMM.

Kobe, H W. (1990). Metallogenic Evolution of the Yauli Dome, Central Peru. A Summary In: L. Fontboté, G.C Amstutz, M. Cardoso, E. Cedillo e J. Frutos. *Stratabound ore deposits in Andes*. 267-278. Special publication no. 8 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits. New York: Springer - Verlag.

Kouzmanov, K., Pokrovski, G.S, (2012). Hydrothermal Controls on Metal Distribution in Porphyry Cu (-Mo-Au) Systems. In: *SEG Special Publication 16: Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe*. Society of Economic Geologists, 573-618.

Le Bas, M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27(3), 745-750.

Lepetit, P., Bente, K. Doering, T, Luckhaus, S. (2003). Crystal chemistry of Fe-containing sphalerites. *Physical Chemistry Minerals*. 30. 185-191.

Lepry Jr., L.A. (1983). *The structural geology of the Yauli Dome region, Cordillera Occidental, Peru*. Tese (Mestrado). University of Arizona: Department of Geosciences.

- Lindgren, W. (1933). *Mineral Deposits*, 4 Ed. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Macfarlane, A.W., Petersen, U. (1990). Pb isotopes of Hualgayoc area, northern Peru: Implications of metal provenance and genesis of a Cordilleran polymetallic mining district. *Economic Geology*. 85. 1303-1327.
- Mégard, F. (1984). The Andean Orogenic Period and its major structures in central and northern Peru. *Journal of Geological Society*, v. 141/1984, 893-900.
- Mégard, F. (1987). Structure and evolution of the Peruvian Andes. In: Schaer, J.-P., Rodgers, J. (Eds.) *The anatomy of mountain ranges (179-210)*. Princeton University Press, Princeton.
- Meyer, C., Shea, E.P., Goddard C, Staff. (1968). Ore deposits at Butte, Montana, In: *Ore deposits of the United States, 1933–1967: Graton Sales volume*. New York: American Institute of Mining and Metallurgical Engineers (AIME), 1372–1416.
- Moulin, N. (1989). *Facies et sequences de dip & de la plate-forme du Jurassique moyen d l'Albien, et une coupe structurale des Andes du Pirou central*. Tese (Doutorado). Montpellier University: Sciences et techniques du languedoc.
- Noble, D.C, Mckee, E.H., Mégard, F., (1979). Early Tertiary "Incaic" tectonism, uplift, and volcanic activity, Andes of Central Peru. *Geol.Soc. America Bul.*, 90, 903-907.
- Pirajno, F (2009). *Hydrothermal processes and mineral systems*. New York: Springer-Verlag.
- Robb, L. (2005). *Introducing to ore-forming processes*. Melbourne: Wiley-Blackwell.
- Rosas, S., Fontboté, L. Tankard, A. (2007). Tectonic evolution and paleogeography of the Mesozoic Pucará Basin, central Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, 24, 1–24.
- Sawkins, F.J. (1972). Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics. *The Journal of Geology*. 80(4). 377-397.
- Sawkins, F.J. (1972). Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics. *The Journal of Geology*. 80(4). 377-397.
- Sillitoe R.H. (2010) Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*. 105. 3-41.

Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W., (2003). Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits. Economic Geologists, Special Publication, 10. Cap 18.

Simmons, S.F., White, N.C. (2005). Geological characteristics of epithermal precious and base metal veins. Economic Geology 100th anniversary volume. 485-522.

Soto, V. (1979). Faces y ambientes deposicionales cretácicos, área Centro-Sur de la cuenca Marañon. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 60, 233–250.

Streckeisen, A.L, Le Bas, M.J. (1991) The IUGS systematic of igneous rocks. Journal of the geological society, 148, 825-833.

Volcan Compañía Minera S.A.A (2015). Estimación de Recursos y Reservas Minerales de Andaychagua, Peru. Relatório interno.

White, D.E. (1974). Diverse origin of hydrothermal ore fluids. Economic Geology, 69, 954-973.

Wilson, J.J. (1963) Cretaceous stratigraphy of central Andes of Peru. *Am Assoc Petrol Geol Bull*, 47,1-34.

ANEXO I

Tabela de Rochas Amostradas - Projeto Mina Andaychagua 2017

Coordenadas UTM						Acesso	Litologia	Observações
Amostra	Ponto Amostrado	X	Y	Z	Nível			
RDAT-AND-1	P.1	389528.775	8702609.737	4239.907	770	1064	Veta Prosperidad Este	Veio mineralizado de baixos teores
RDAT-AND-2	P.1	389530.221	8702609.157	4239.907	770	1064	Andesito Afanítico	Rocha encaixante do Veio Prosperidade Este
RDAT-AND-3	P.2	389108.164	8701477.77	4765.928	250	901	Veta Esther	Veio mineralizado com elevados teores
RDAT-AND-4A	P.2	389108.976	8701476.271	4765.928	250	901	Quartzoz Monzonito	Rocha encaixante do Veio Esther com Alteração Argílica
RDAT-AND-4B	P.2	389107.17	8701478.875	4765.928	250	901	Quartzoz Monzonito	Rocha encaixante do Veio Esther com Alteração Argílica próximo ao contato com veio piríticos milimétricos
RDAT-AND-5	P.3	389288.171	8702156.399	3794.413	1225 225 E		Veta Andaychagua (Pobre)	Veio mineralizado da porção do footwall que está ao lado de mineralização maciça com baixos teores (↑Py+Qtz+Carbonato)
RDAT-AND-6	P.3	389288.882	8702155.881	3794.413	1225 225 E		Veta Andaychagua Rica	Veio de elevados teores e maciço (↑ Marmatina, Silverita, Py e Carbonatos Beges (?))
RDAT-AND-7	P.3	389290.035	8702155.232	3794.413	1225 226 E		Filito Encaixante do Veio Andaychagua	Filito com pequenos veios de Py que compõe a porção footwall da rocha encaixante do Veio Andaychagua
RDAT-AND-8	P.4	388975.232	8701682.3	4499.986	540	5514	Filito + Metavulcânica Andesítica Encaixantes do Veio Andaychagua	Rca Encaixante do Veio AndaychaguaBloco de Filito intercalado com Andesito vulcânico com presença de veios milimétricos de Py
RDAT-AND-9	P.4	388976.703	8701680.81	4499.986	540	5514	(Veio)Qtz. Monzonito com Alteração Argílica Pervasiva	Rca Intrusiva e Encaixante do Veio Andaychagua Bloco de Qtz. Monzonito de coloração Bege com elevada alteração argílica pervasiva, ao lado do veio.
RDAT-AND-10	P.4	388977.627	8701679.4	4499.986	540	5514	Filito com Veios Encaixante V. Andaychagua	Rca encaixante do veio andaychagua Bloco de Filito encaixante com alteração hidrotermal não pervasiva com elevada presença de veios de sulfetos
DDH-U-AN-16-078	Amostras enviadas p/ Brasi	389206.158	8702887.468	4466.928			Metavulcânicas enc. Veio Andaychagua	Amostras enviadas para o Brasil. Vulcânica encaixante do Veio Andaychagua (Sondagem)
DDH-U-AN-16-004	Amostras enviadas p/ Brasi	389410.1854	8702505.615	3855.3524			Metavulcânicas enc. Veio Andaychagua	Amostras enviadas para o Brasil. Vulcânica encaixante do Veio Andaychagua (Sondagem)
DDH-U-AN-16-037	Amostras enviadas p/ Brasi	389459.044	8702469.26	3854.032			Metavulcânicas enc. Veio Andaychagua	Amostras enviadas para o Brasil. Vulcânica encaixante do Veio Andaychagua (Sondagem)
DDH-U-AN-16-048	Amostras enviadas p/ Brasi	389494.545	8702326.63	3831.435			Metavulcânicas enc. Veio Andaychagua	Amostras enviadas para o Brasil. Vulcânica encaixante do Veio Andaychagua (Sondagem)
DDH-U-AN-16-080	Amostras enviadas p/ Brasi	389648.215	8702509.56	3853.477			Metavulcânicas enc. Veio Andaychagua	Amostras enviadas para o Brasil. Vulcânica encaixante do Veio Andaychagua (Sondagem)
DDH-U-AN-16-085	Amostras enviadas p/ Brasi	389866.49	8702732.542	3856.754			Metavulcânicas enc. Veio Andaychagua	Amostras enviadas para o Brasil. Vulcânica encaixante do Veio Andaychagua (Sondagem)
RDAT-AND-11	P.5	389294.748	8702170.601	3794.413	1225	225	Veta Andaychagua	PT. DE REFERÊNCIA (10.103 +30NE) Veio Andaychagua finos com propoções variáveis de Gal e Py
RDAT-AND-12	P.5	389296.756	8702169.94	3794.413	1225	225	Veta Andaychagua	PT. DE REFERÊNCIA (10.103 +30NE) Veio Andaychagua finos com propoções variáveis de Gal e Py
RDAT-AND-13	P.5	389297.749	8702169.421	3794.413	1225	225	Veta Andaychagua	PT. DE REFERÊNCIA (10.103 +30NE) Veio Andaychagua finos com propoções variáveis de Gal e Py
RDAT-AND-14	P.6	389617.927	8702619.697	3866.686	1150	662	Veta Andaychagua	Veio Andaychagua com elevadíssimos teores de Zn e Ag.
RDAT-AND-15	P.6	389618.394	8702619.51	3866.686	1150	662	Veta Andaychagua	Veio Andaychagua com elevadíssimos teores de Zn e Ag + Qtz
RDAT-AND-16	P.6	389619.643	8702619.129	3866.686	1150	662	Filito Encaixante do Veio Andaychagua	Filito Gr. Excelsior encaixantes do Veio Andaychagua
RDAT-AND-17	P.7	389526.799	8702606.482	3849.805	1150	661	Filito Encaixante do Veio Prosperidade I	Filito Gr. Excelsior encaixantes do Veio Prosperidad I. Apresenta Ankerita + Qtz + Py - Piso
RDAT-AND-18	P.7	389526.107	8702605.544	3849.805	1150	661	Veio Prosperidad I Empobrecido	Veio Prosperidad I empobrecido com teores de Py
RDAT-AND-19	P.7	389525.428	8702604.83	3849.805	1150	661	Filito encaixante do V. Prosperidade I silicificado	Filito Gr. Excelsior encaixante do Veio Prosperidad I - Teto
RDAT-AND-20	P.8	389487.576	8702400.916	3816.177 1200 (12E+17.80)		36	Veio Andaychagua I	Veio Andaychagua I composto por bandas enriquecidas em Sph + Qtz + Ankerita + Siderita
RDAT-AND-21	P.8	389488.283	8702403.668	3816.177 1200 (12E+17.80)		36	Metavulcânica alterada Encaixante do veio And I	Filito da encaixante Andaychagua intercalada com Metavulcânica alterada
RDAT-AND-22	P.8	389486.191	8702405.238	3816.177 1200 (12E+17.80)		36	Rocha metavulcânica encaixante do And. I	Metavulcânica encaixante do veio Andaychagua I Alterada
RDAT-AND-23	P.9A	389381.764	8702603.142	3840.139 1170(12A+31.20)	082E		Rocha metavulcânica afanítica do veio Prosperidad I	Rocha metavulcânica afanítica encaixante do Veio P.I
RDAT-AND-24	P.9A	389381.274	8702605.397	3840.139 1170(12A+31.20)	082E		Veio Prosperidad 1	Veio Prosperidad I com elevados teores de Marmatina + Ankerita
RDAT-AND-25	P.98	389308.703	8702591.039	3841.296 1170(13E +32.80m)	082E		Filito Encaixante c/ Py em Veios e Sem Alteração Hidrotermal (Fresca)	Filito encaixante do Veio Andaychagua fresco com alguns veios pequenos de Py
RDAT-AND-26	P.98	389309.342	8702592.527	3841.296 1170(13E +32.80m)	082E		Rocha Metavulcânica encaixante do Prosp 1	Rocha metavulcânica afanítica encaixante do Veio P.I com veios disseminados de Py
RDAT-AND-27	P.98	389310.205	8702593.969	3841.296 1170(13E +32.80m)	082E		Rocha Metavulcânica encaixante do Prosp 1	Rocha metavulcânica afanítica encaixante do Veio Prosp I
RDAT-AND-28A	P.10	389117.922	8701478.541	4765.928	250	901	Rocha vulcânica Catalina enca. Veta Esther Alterada	Rocha Dacítica 'vulcânica' com alteração Hidrotermal Argílica principal
RDAT-AND-28B	P.10	389117.603	8701480.037	4765.928	250	901	Rocha Dacítica "vulcânica" Catalina enca. Veta Esther Alterada	Rocha Dacítica 'vulcânica' com alteração Hidrotermal Argílica principal
RDAT-AND-28C	P.10	389117.273	8701481.317	4765.928	250	901	Rocha Dacítica "vulcânica" Catalina enca. Veta Esther Alterada	Rocha Dacítica 'vulcânica' com alteração Hidrotermal Argílica principal
RDAT-AND-29	P.11	389057.111	8701461.58	4766.21	250	901	Veio Esther Mineralizado com elevado conteúdo de Ag	Veio esther mineralizado principal
RDAT-AND-30	P.11	389057.569	8701460.43	4766.21	250	901	Veio Esther Mineralizado com elevado conteúdo de Ag Rafinificado	Veio esther mineralizado de uma ramificação do principal
RDAT-AND-31	P.11	389056.558	8701463.335	4766.21	250	901	Encaixante Catalina c/ Alteração Hidrotermal	Rocha dacítica 'vulcânica' com alteração Hidrotermal Argílica Principal
RDAT-AND-32	P.12	389037.628	8701497.696	4689.374	350	22	Veio esther com Carbonatos	Veio esther Mineralizado com presença de carbonatos
RDAT-AND-33	P.12	389038.672	8701494.876	4689.374	350	22	Rocha encaixante dacítica piso Catalina	Rocha dacítica encaixante do veio estheer (catalina) piso
RDAT-AND-34	P.12	389037.334	8701498.827	4689.374	350	22	Rocha encaixante dacítica teto Catalina	Rocha dacítica encaixante do veio estheer (catalina) teto
RDAT-AND-35	P.13	389536.128	8702639.102	4239.863	770	1064	Intrusiva Catalina Fresca Veio Prosperidade E	Rocha dacítica catalina sem alteração hidrotermal (FRESCA)
RDAT-AND-36	P.13	389538.885	8702638.556	4239.863	770	1064	Alteração Hidrotermal da Veta Prosperidad E (Carbonato)	Rocha dacítica catalina com intensa alteração hidrotermal relacionada com o veio Prosp. E
RDAT-AND-37	P.13	389537.541	8702638.988	4239.863	770	1064	Veio Prosperidad Este com mineralização de Carbonatos	Veio Prosperidad Este mineralizado com Carbonatos
RDAT-AND-38	p.14	388866.837	8701483.839	4715.783	300	28	Rocha dacítica Catalina sem alteração	Amostras retirada da porção mais fresca da intrusiva catalina (mitu group)
RDAT-AND-39A	P.16	389538.571	8702643.954	4239.863	770	1064	Veio Prosperidade E	Veio Prosperidad Este Rico em Cabornatos
RDAT-AND-39B	P.16	389538.571	8702643.954	4239.863	770	1064	Veio Prosperidade E	Veio Prosperidad Este Rico em Cabornatos
RDAT-AND-39C	P.16	389538.571	8702643.954	4239.863	770	1064	Veio Prosperidade E	Veio Prosperidad Este Rico em Cabornatos
RDAT-AND-40	P.16	389537.252	8702644.484	4239.863	770	1064	Rocha Catalina com intensa alteação hidrotermal	Dacítica Catalina Intrusiva Hidrotemalizada sericificação e argilização
RDAT-AND-41	Amostrado por Carlos	20083.7986	9263.6237	4239.8631 800(4E+23.20m)		1064	Veio Prosperidad Este com textura coliforme	Veio Prosperidad e - Presença de Carbonatos, Prata e Sulfetos
RDAT-AND-42	Amostrado por Carlos	20083.3678	9264.8883	4239.8631 800(4E+23.20m)		1064	Encaixante Catalina Vulcânica com Silicificação	Piso do Veio P.E. Rocha Catalina Vulcânica Silificada com presença de bolsões de py
RDAT-AND-43	P.17	389646.014	8702613.168	3861.207	1150	662	Encaixante do Veio Anda. Metavulcânica Dacítica Hidrotermalizada	Rocha encaixante do Veio Andaychagua Dacítica Metavulcânica Hidrotermalizada
RDAT-AND-44A	P.17	389645.501	8702611.297	3861.207	1150	662	Rocha encaixante do Veio Anda. Metavulcânica Andesítica Hidrotermalizada (Andaych)	Encaixante do Veio Andaychagua Andesítica Metavulcânica Hidrotermalizada
RDAT-AND-44B	P.17	389645.501	8702611.297	3861.207	1150	662	Rocha encaixante do Veio Anda. Metavulcânica Andesítica Hidrotermalizada (Andaych)	Encaixante do Veio Andaychagua Andesítica Metavulcânica Hidrotermalizada
RDAT-AND-44C	P.17	389645.501	8702611.297	3861.207	1150	662	Rocha encaixante do Veio Anda. Metavulcânica Andesítica Hidrotermalizada (Andaych)	Encaixante do Veio Andaychagua Andesítica Metavulcânica Hidrotermalizada
RDAT-AND-45	P.18	389335.415	8702601.016	3862.878	1150	548	Rocha Metavulcânica dacítica hidrotermalizada Veio Prosperidade I	Rocha Encaixante metavulcânica dacítica do Veio P.I Hidrotermalizada
RDAT-AND-46A	P.18	389335.415	8702601.016	3862.878	1150	548	Veio Prosperidad I Enriquecido	Veio Prosperidad I Enriquecido em marmatita aspy e py
RDAT-AND-46B	P.18	389335.415	8702601.016	3862.878	1150	548	Veio Prosperidad I Enriquecido	Veio Prosperidad I Enriquecido em marmatita aspy e py
RDAT-AND-47A	P.18	389335.415	8702601.016	3862.878	1150	548	Rocha metavulcânica Dacítica Fresca	Rocha encaixante dacítica metavulcânica do Veio Prosperidad 1 (Grupo Excelsior)
RDAT-AND-47B	P.18	389335.415	8702601.016	3862.878	1150	548	Rocha metavulcânica Dacítica Fresca	Rocha encaixante dacítica metavulcânica do Veio Prosperidad 1 (Grupo Excelsior)
RDAT-AND-47C	P.18	389335.415	8702601.016	3862.878	1150	548	Rocha metavulcânica Dacítica Fresca	Rocha encaixante dacítica metavulcânica do Veio Prosperidad 1 (Grupo Excelsior)
RDAT-AND-48	P.19	388931.9788	8702528.352	3798.5806 1250(2E+11m)		120	Rocha Vulcânica Dacítica alterada	Rocha Encaixante Dacítica Vulcanica do Veio Andaychagua (Gr. Mitu)
RDAT-AND-49	P.20			10E+15.50	1200	35	Rocha Metavulcânica Dacítica Fresca	Rocha encaixante do Veio Andaychagua Dacítica Metavulcânica Fresca (Gr. Excelsior)
RDAT-AND-50A	P.21	389254.0657	8702070.673	3803.634 1200(,A1+4.40)		141	Rocha Filítica Excelsior Fresca	Rocha Filítica Gr Excelsior FRESCA
RDAT-AND-50B	P.21	389254.0657	8702070.673	3803.634 1200(,A1+4.40)		141	Rocha Filítica Excelsior Fresca	Rocha Filítica Gr Excelsior FRESCA
RDAT-AND-51	P.22	388984.774	8702583.622	3778.7584 1250(,AC6+5.50m)		231	Rocha Filítica Excelsior Fresca	Rocha Filítica Gr Excelsior FRESCA
RDAT-AND-52	P.23	390174.6233	8702357.523	4239.6631	1064	770	Veio Prosperidade E teto	Veio Prosperidade Este rico em Sph+Qtz+Ankerita
RDAT-AND-53	P.23	390176.2287	8702356.731	4239.6631	1064	770	Veio Prosperidade E Piso	Veio Prosperidade Este rico em Marmatita Py Gal disseminada e Ankerita (Piso)
RDAT-AND-54	P.24	389533.8122	8702616.308	4226.8 770(,A5+20.50)		811	Encaixante Catalina do Veio Andaychuaua Alterada	Rocha catalina Vulcânica Andesítica Afanítica com presençad Py disseminada + Cal (Veio Anday)
RDAT-AND-55	P.25	389431.501	8702240.24	4149.984	Nv.770 X Rampa 6		Encaixante Catalina Afanítica Fresca	Rocha Andesítica Vulcânica Catalina Fresca
RDAT-AND-56	P.26	389888.9879	8702854.006	4216.3463	BP800 X Rampa 13		Rocha Encaixante Catalina Porfírica Fresca	Rocha Andesítica Vulcânica Catalina Fresca
RDAT-AND-57	p.27	389980.953	8703060.347	4472.592	BP.1360 X Rampa 3 (Nv. 540)		Rocha Encaixante Catalina Porfírica Fresca	Rocha Andesítica Vulcânica Catalina Fresca Porfírica Negra
RDAT-AND-58	P.28	390116.658	8703205.957	4617.413	Ac.166 X Rampa 2(Nv470)		Rocha Encaixante Catalina Afanítica Fresca	Rocha Catalina Andesítica Afanítica com presença de veios de Qtz e Py disseminada
RDAT-AND-59	P.29	389883.354	8702921.148	4531.13	BP.1409 x Rampa 1(Nv.470)		Rocha Encaixante Catalina Andesítica Fresca	Rocha Catalina Andesítica Afanítica Fresca
RDAT-AND-60	P.5	389296.756	8702169.94	3794.413	1225	225	Encaixante do Veio Anda. Extremamente alterado	Rocha encaixante do Veio Andaychuagua Com alteração Pervasiva (Verificar qual é a litologia)

RDAT-AND-61	P.32	387403	8699870	4769	Superfície	Manto moisés	Manto moisés estratiforme aoscarbonatos do Grupo Pucará
RDAT-AND-62	P.33	387439	8699831	4788	Superfície	Manto Moisés	Manto moisés estratiforme aoscarbonatos do Grupo Pucará
RDAT-AND-63	P.34	387401	8699864	4783	Superfície	Corpo mineralizado discordante com a Estratificação (V. And ???)	Corpo ajacente ao manto moisés porém discordante com a S0 pucará, e concordante com o sistema de FRATURAS (//And)
RDAT-AND-64	P.35	387364	8699887	4754	Superfície	Manto moisés com elevado teor de Calcita	Manto moisés encaixado no Carbonato Pucará com elevado teor de calcita (Rb/Sr)
RDAT-AND-65	P.36	387215	8700004	4728	Superfície	Manto moisés Típico	Manto moisés Encaixado no Carbonato Pucará
RDAT-AND-66	p.37	387021	8700037	4731	Superfície	Rocha Básica intrusiva do Carbonato Pucará	Rocha Equi. Grossa (Anf/Px + Plg) intrusiva e subconcordante com Gr. Pucará
RDAT-AND-67	P.37	387021	8700037	4731	Superfície	Rocha Básica intrusiva do Carbonato Pucará	Rocha Equi. Grossa (Anf/Px + Plg) intrusiva e subconcordante com Gr. Pucará
RDAT-AND-68	P.37	387021	8700037	4731	Superfície	Rocha Básica intrusiva do Carbonato Pucará	Rocha Equi. Grossa (Anf/Px + Plg) intrusiva e subconcordante com Gr. Pucará
RDAT-AND-69	P.38	386941	8700145	4744	Superfície	Rocha Básica intrusiva do Carbonato Pucará	Rocha Maciça Eggran. Fina
RDAT-AND-70	P.39	386856	8700216	4755	Superfície	Rocha Básica intrusiva do Carbonato Pucará	Rocha Ineq. Bimodal (Anf+Plg;chl) básica intrusiva do Gr. Pucará Subconcordante com a estratificação
RDAT-AND-71	P.39	386856	8700216	4755	Superfície	Rocha Básica intrusiva do Carbonato Pucará	Rocha Ineq. Bimodal (Anf+Plg;chl) básica intrusiva do Gr. Pucará Subconcordante com a estratificação
RDAT-AND-72	P.40	388426	8700855	4638	Superfície	Rocha ácida intrusiva (CHUMPE) Qtz- Monzonito ?	Rocha Clara (Plg+Kfeldsp+Qtz) Equigranular Média-Grossa com Py disseminada (QTZ-MONZONITA??)
RDAT-AND-73	P.40	388426	8700855	4638	Superfície	Rocha ácida intrusiva (CHUMPE) Qtz- Monzonito ?	Rocha Clara (Plg+Kfeldsp+Qtz) Equigranular Média-Grossa com Py disseminada (QTZ-MONZONITA??)
RDAT-AND-74	P.40	388426	8700855	4638	Superfície	Rocha ácida intrusiva (CHUMPE) Qtz- Monzonito ?	Rocha Clara (Plg+Kfeldsp+Qtz) Equigranular Média-Grossa com Py disseminada (QTZ-MONZONITA??)