

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**CONTROLES DE MINERALIZACIÓN DEL YACIMIENTO EPITERMAL DE
ALTA SULFURACIÓN ANCOS, AYACUCHO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
GEÓLOGO**

Presentado por:

Bach. Karina Lissette Soto León

Asesor:

MCs. Ing. José Alfredo Siveroni Morales

Cajamarca-Perú

2018

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme guiado a lo largo de mi vida, por ser mi apoyo, mi luz y mi camino.

A mi Alma Mater, Universidad Nacional de Cajamarca, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, de la cual me siento muy orgullosa, a sus catedráticos por sus enseñanzas y en especial al Ing. José Siveroni Morales, por su orientación y ayuda para la realización de esta tesis.

Gracias a la minera APUMAYO S.A.C., que me brindó la oportunidad de desarrollarme en el campo laboral y permitirme la realización de la presente tesis.

DEDICATORIA

A mi madre Bertha, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por su motivación constante, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Roque, por todo su esfuerzo y apoyo incondicional perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mis hermanos Suguey, Oscar y Percy por su ejemplo, quienes me enseñaron que con el trabajo y perseverancia se encuentra el éxito profesional.

CONTENIDO

	pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE FOTOS	ix
LISTA DE PLANOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2 BASES TEÓRICAS	3
2.2.1 Depósito epitermal de alta sulfuración	3
2.2.2 Marco geológico de los depósitos de alta sulfuración	4
2.2.3 Alteraciones hidrotermales y zonamiento de depósitos de alta sulfuración	6
2.2.4 Control estructural	8
2.2.5 Brechas Relacionadas a la Mineralización	14
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	17
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.1.1 Ubicación Geográfica	18
3.1.2 Ubicación Política.....	18
3.1.3 Accesibilidad, Clima y Vegetación	18
3.2 PROCEDIMIENTOS	21
3.3 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	22
3.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO	22
3.5 MUESTRA	22
3.6 UNIDAD DE ANÁLISIS	22
3.7 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	23
3.8 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	23

	pág
3.9 GEOLOGÍA REGIONAL	25
3.9.1 Formación Murco	25
3.9.2 Formación Arcurquina.....	26
3.9.3 Formación Para.....	27
3.9.4 Grupo Tacaza.....	28
3.9.5 Grupo Barroso	29
3.10 TECTÓNICA Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	32
3.11 GEOLOGÍA LOCAL	33
3.11.1 Litología.....	33
3.11.2 Alteración	39
3.11.3 Geología Estructural	44
3.12 MINERALIZACIÓN.....	46
3.13 GEOQUÍMICA DE Au SUPERFICIE.....	47
3.14 PERFORACIÓN	49
3.15 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	49
3.15.1 Descripción de las herramientas y programas utilizados.....	50
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	51
4.1.1 Control litológico.....	51
4.1.2 Control de alteración hidrotermal	57
4.1.3 Control estructural	61
4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	64
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1 CONCLUSIONES.....	66
5.2 RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

ÍNDICE DE TABLAS

	pág.
Tabla 1: Tramos y distancias desde Lima hacia proyecto Ancos.....	18
Tabla 2: Operacionalización de variables.....	23
Tabla 3: Datos de estructuras medidas en terreno, en total 30 datos.....	62
Tabla 4: Datos de estructuras medidas en terreno, en total 30 datos.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1: Diagrama esquemático de los tipos de fluidos y zonificación de alteraciones alrededor de los sistemas epitermales de alta y baja sulfuración. (White y Hedenquist, 1995, pág. 13).....	4
Figura 2: Mapa generalizado de alteración de la superficie (A) y sección transversal (B) del depósito de alta sulfuración Rodalquilar y Lomilla calderas, en el sureste de España. Los límites que se muestran entre las zonas de alteración son irregulares y gradacionales. (Arribas et al, 1995, pág. 420).....	5
Figura 3: Corte transversal de las zonas de alteración características de los depósitos de alta sulfuración, como se observa en el depósito Summitville Au-Cu, Colorado. El diagrama a la izquierda muestra una zonación esquemática hacia fuera de un cuerpo subvertical mineralizado, mostrado a la derecha (Stoffregren, 1987, pág. 202)..	7
Figura 4: Representación gráfica del campo de esfuerzos como elipsoide de esfuerzos con ejes de esfuerzo principal perpendiculares entre sí. (Nelson, 2010, pág. 9).....	9
Figura 5: Elipse de deformación en comparación con el círculo de referencia de predeformación para el estado de cizallamiento puro; Flechas rojas = σ_1 . (Nelson, 2010, pág. 10).....	9
Figura 6: A. Las fracturas de apertura (= fractura de extensión) se forman en el plano perpendicular al eje de esfuerzo principal mínimo. B. Las aperturas también pueden formarse a lo largo de fracturas de corte (fallas) con cualquier desviación de la geometría de falla plana. (Nelson, 2010, pág. 12).....	10
Figura 7: Fracturas de cizalla (fallas) forman un ángulo de $\sim 30^\circ$ con respecto al eje de esfuerzo principal máximo. (Nelson, 2010, pág. 13).....	11
Figura 8: Desarrollo local de las fracturas del modo de apertura (extensión) fracturas en jog de falla (formando una serie de veta en echelon) y estructuras en curvatura de falla. Las flechas grises ilustran la orientación del esfuerzo principal máximo. (Nelson, 2010, pág. 14).....	12
Figura 9: Ilustración de la permeabilidad estructural desarrollada preferentemente a lo largo de la dirección σ_2 en disposición de vetas en echelon, jogs de fallas de dilatación y curvaturas de fallas de dilatación. El ejemplo usado aquí son fallas de rumbo (horizontal) en las cuales las líneas slickenline buzan $\sim 0^\circ$. (Nelson, 2010, pág. 16)..	13

Figura 10: Sección representativa del modelo litológico del C° Chucchupata. Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565	52
Figura 11: Sección representativa de Au del C° Chucchupata. Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565	53
Figura 12: Sección representativa de Au vs Andesita del C° Chucchupata. Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565	54
Figura 13: Sección representativa de Au vs Brecha Freatomagmática del C° Chucchupata. Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565	55
Figura 14: Sección representativa de Au vs Brecha Hidrotermal del C° Chucchupata. Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565	56
Figura 15: Sección representativa de Au vs Sílice Masiva del C° Chucchupata. Ubicación A: 615254,8336165/ B: 615946,8336565	57
Figura 16: Sección representativa de Au vs Sílice Granular del C° Chucchupata. Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565	58
Figura 17: Sección representativa de Au vs Sílice Alunita del C° Chucchupata. Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565	59
Figura 18: Sección representativa de Au vs Sílice Alunita del C° Iñahuato. Ubicación A: 614639,8336445/ B: 615331,8336845	60
Figura 19: Estación estructural C° Iñahuato, esfuerzo principal con rumbo NO/SE.	61
Figura 20: Estación estructural C° Chucchupata, esfuerzo principal con rumbo NE/SO.	64

ÍNDICE DE FOTOS

	pág.
Foto 1: Andesita con textura porfirítica alterada a sílice granular moderada.....	34
Foto 2: Andesita obliterada de tono gris alterada a sílice masiva.	35
Foto 3: Tufo alterada a sílice granular deleznable.....	36
Foto 4: Brecha freatomagmática matriz soportada, presencia de fragmentos de hasta 5mm, alterada a sílice granular compacta.	36
Foto 5:(A) Brecha hidrotermal alterada a sílice granular moderada con protolito andesítico. (B) Brecha hidrotermal con presencia de fragmentos polimícticos alterada a sílice granular compacta.	37
Foto 6: (A) Andesita alterada a sílice masiva. (B)Brecha hidrotermal con OxFe diseminados alterada a sílice masiva.	39
Foto 7: (A) Brecha hidrotermal alterada a sílice granular compacta. (B) Brecha con OxFe diseminados con alteración sílice granular moderada. (C) Brecha freaatomagmática con fragmentos polimícticos alterada a sílice granular deleznable...	40
Foto 8: Tufo en C° Chuchupata alterado a sílice alunita, roca deleznable de tono blanquecino.....	41
Foto 9: Andesita con alteración sílice clay y óxidos de fierro en fracturas.....	42
Foto 10: Andesita de tono blanquecino con alteración clay.....	42

LISTA DE PLANOS

	pág.
Plano 1. Plano de ubicación.....	19
Plano 2. Plano de accesibilidad	20
Plano 3. Plano de geología regional	30
Plano 4. Sección regional	31
Plano 5. Plano de litología.....	38
Plano 6. Plano de alteración hidrotermal.....	43
Plano 7. Plano estructural	45
Plano 8. Plano de geoquímica de superficie	48

RESUMEN

El proyecto Ancos es un yacimiento epitermal de alta sulfuración, emplazado en rocas volcánicas del Grupo Tacaza; el tipo de roca y el control estructural en la zona ha favorecido la circulación de fluidos hidrotermales que han alterado la roca caja. Además, se han identificado brechas hidrotermales cortando el sistema. Los trabajos de campo realizados han permitido determinar un cuerpo mineralizado, la identificación de los controles de mineralización en el yacimiento permitirá comprender la naturaleza y zonamiento de la mineralización, así como la de targets de exploración a nivel regional. El objetivo principal de esta investigación es determinar los controles de mineralización en el yacimiento epitermal de alta sulfuración Ancos. Se plantea como hipótesis que los controles de mineralización que condicionan la ocurrencia de oro en el Proyecto Ancos, están asociados a la litología, estructural y alteración hidrotermal; que han permitido la circulación de fluidos y el emplazamiento de brechas asociadas a la mineralización. El tipo de investigación será de nivel descriptivo, explicativo y relacional, con un diseño no experimental y transversal en el tiempo. Se empleará el método explicativo y descriptivo. La investigación permitió demostrar que el tipo de litología que controla la mineralización en el yacimiento son las brechas hidrotermales que en superficie y en profundidad presentaron altas leyes de oro, el tipo de alteración hidrotermal que controla la mineralización es la alteración sílice granular en donde se puede identificar altas leyes de Au, el control estructural en el cerro Ñahuato se identificó un sistema de fallamiento N30°E y en el cerro Chuchupata el sistema de fallamiento N45°O, que permitieron el emplazamiento de la mineralización.

Palabras Claves: Yacimiento epitermal, mineralización, alteración hidrotermal, brecha hidrotermal.

ABSTRACT

The Ancos project is a high sulphidation epithermal deposit, located on volcanic rocks of the Tacaza Group; The type of rock and structural control in the area has favored the circulation of hydrothermal fluids that have altered the box rock. In addition, hydrothermal vents have been identified by cutting the system. The field work carried out has allowed the determination of a mineralized body, the identification of the mineralization controls in the reservoir to understand the nature and zoning of the mineralization, as well as the exploration objectives at a regional level. The main objective of this research is to determine the mineralization controls in the high sulphidation epithelial deposit Ancos. It was hypothesized that the mineralization controls that condition the occurrence of gold in the Ancos Project are associated with lithology, structural and hydrothermal alteration; that have allowed the circulation of fluids and the location of gaps associated with mineralization. The type of research is descriptive, explanatory and relational, with a non-experimental and cross-sectional design over time. The explanatory and descriptive method will be used. The research shows that the type of lithology that controls the mineralization in the deposit are the hydrothermal breaches that in the surface and in the depth of the flood, the type of hydrothermal alteration that controls the mineralization is the granular silica alteration where it can be identified the laws of Au, the structural control in the hill Iñahuato identified a system of faulting N30°E and in the hill Chucchupata the system of faulting N45°W, that allowed the location of the mineralization.

Key words: epithermal deposit, mineralization, hydrothermal alteration, hydrothermal gap.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El proyecto Ancos, perteneciente a la Minera Apumayo, ubicado en los Distritos de Chaviña y Sancos, Provincia Lucanas (Ayacucho-Perú); a una altitud de 3700 msnm, es un yacimiento epitermal de alta sulfuración, emplazado en rocas volcánicas del Grupo Tacaza; el tipo de roca y el control estructural en la zona ha favorecido la circulación de fluidos hidrotermales que han alterado la roca caja. Además, se han identificado brechas hidrotermales cortando el sistema.

En consideración de lo expuesto, se planteó la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los controles de mineralización en el proyecto Ancos?

El estudio tiene como propósito estudiar las principales características geológicas, y petrográficas del yacimiento. Todo esto será posible al realizar un cartografiado geológico detallado, estudios geoquímicos, geofísicos y petrográficos. Este estudio nos permitirá entender la evolución del depósito y principales eventos de mineralización desarrollados en ella.

Planteándose como hipótesis que los controles de mineralización que condicionan la ocurrencia de oro en el Proyecto Ancos, están asociados a la litología, estructural y alteración hidrotermal; que han permitido la circulación de fluidos y el emplazamiento de brechas asociadas a la mineralización.

El objetivo general de esta investigación es determinar los controles de mineralización en el yacimiento epitermal de alta sulfuración Ancos; y los objetivos específicos son identificar el tipo de litología que controla la mineralización, determinar los tipos de alteraciones que controlan la mineralización y analizar los esfuerzos y deformaciones que permitieron el emplazamiento de fluidos mineralizantes.

La metodología de investigación utilizada en la presente tesis es de nivel descriptivo, explicativo y relacional, con un diseño no experimental y transversal en el tiempo. Se aplica el método explicativo y descriptivo.

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

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Hedenquist (2004). "Late Miocene high-sulphidation epithermal gold deposits of the Aruntani district, southern Peru: Recent discovery of a new ore type in an abandoned mining district". Este trabajo se enfoca en describir la geología regional y local, alteraciones y características del depósito epitermal de alta sulfuración en el distrito de Aruntani, en el sur del Perú.

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

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Depósito epitermal de alta sulfuración

Mediante datos de inclusiones fluidas, se indica que los minerales epitermales se forman en un intervalo de temperaturas $<150^{\circ}\text{C}$ a $\sim 300^{\circ}\text{C}$, desde la superficie hasta una profundidad de 1 a 2 km, donde destaca las características generales de dos estilos principales de mineralización epitermal, en los que el oro es el metal económico dominante (White, 1995, pág. 10).

Los sistemas de alta sulfuración y sus minerales de estado de sulfuración relativamente alta se asocian con fluidos ácidos y oxidados formados en un ambiente magmático-hidrotermal adyacente a los volcanes jóvenes. Los componentes reactivos del ambiente de alta sulfuración derivados de una fuente magmática oxidada ascienden a la superficie cercana con poca interacción agua-roca en profundidad. El vapor rico en HCl y SO₂ pueden ser absorbidos por las aguas subterráneas, resultando en un fluido caliente (200-

300°C), altamente ácido (pH 0-2) y oxidado que reacciona y lixiviana ampliamente la roca huésped en aguas poco profundas (Hedenquist, 1994, pág. 519).

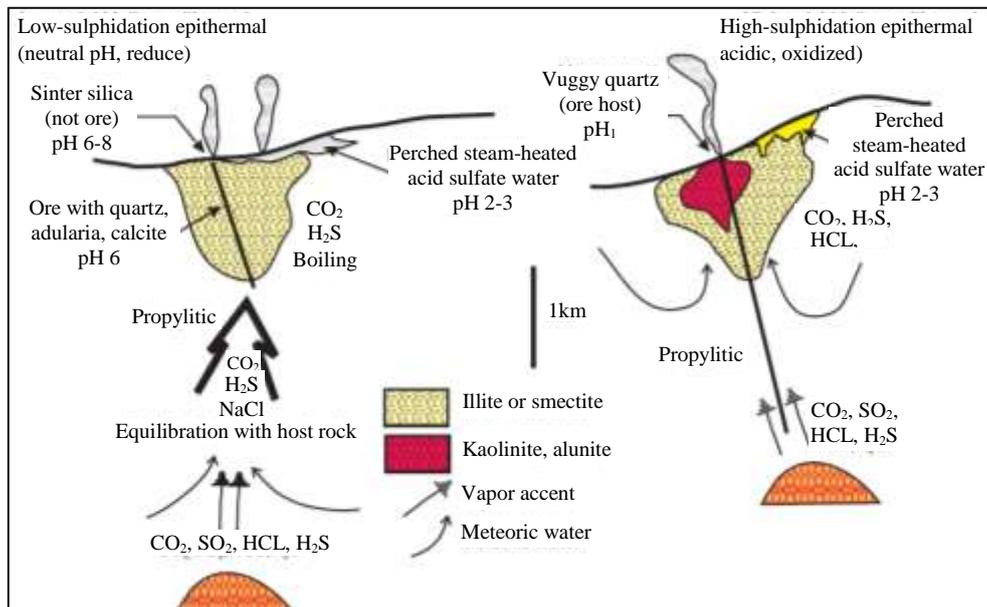


Figura 1: Diagrama esquemático de los tipos de fluidos y zonificación de alteraciones alrededor de los sistemas epitermales de alta y baja sulfuración. (White y Hedenquist, 1995, pág. 13).

2.2.2 Marco geológico de los depósitos de alta sulfuración

Los principales depósitos de alta sulfuración o prospectos documentados a nivel mundial muestran un conjunto de características comunes. Los depósitos de alta sulfuración se producen en dos escenarios principales: en arcos de islas y en márgenes continentales. Algunos depósitos (Goldfield, Rodalquilar, Summitville) se formaron en regiones intracontinentales durante los períodos de extensión que siguieron la compresión regional y la subducción por varios millones de años. Predominan los depósitos paleógenos de alta sulfuración, y sólo unos pocos depósitos corresponden al Mesozoico (Pueblo Viejo, Zijinshan), Paleozoico (Temora y otros en el sureste de Australia) o Precámbrico (el depósito de oro Enasen del Proterozoico temprano situado en el escudo Báltico de Suecia Central). Los depósitos más jóvenes son del Pleistoceno (<1,6 Ma) y ocurren en el Pacífico central occidental (Kelly, Lepanto y Chinkuashih). La concentración de depósitos en áreas volcánicas jóvenes es principalmente un reflejo del hecho de que es más probable que los depósitos de alta sulfuración más antiguos se erosionen. Los depósitos de alta sulfuración se producen principalmente dentro de las secuencias de roca volcánica de composición intermedia con edades ampliamente

similares a las de la mineralización. Cuando se dispone de abundantes edades radiométricas, la edad de las rocas hospedantes y la edad de mineralización están dentro de la precisión analítica; donde se indica una diferencia, es típicamente inferior a ~1,0 Ma. (Arribas, 1995, pág. 419).

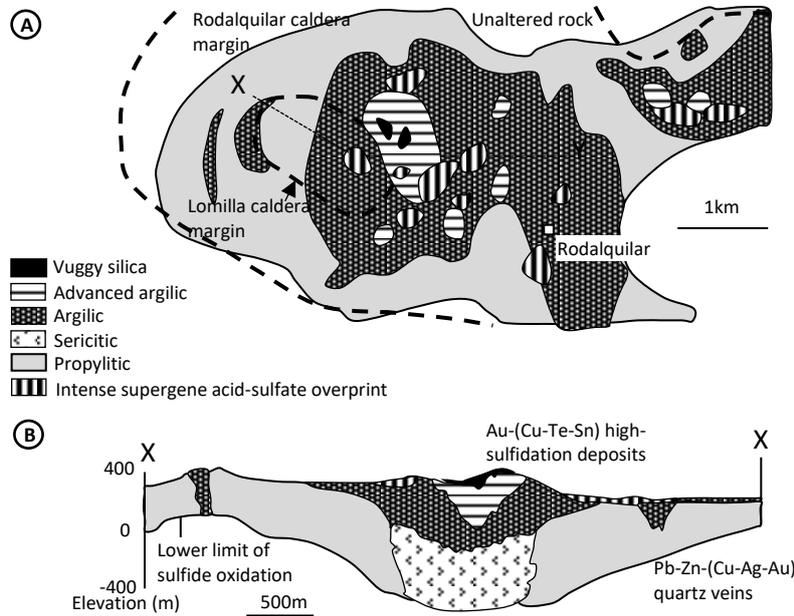


Figura 2: Mapa generalizado de alteración de la superficie (A) y sección transversal (B) del depósito de alta sulfuración Rodalquilar y Lomilla calderas, en el sureste de España.

Los límites que se muestran entre las zonas de alteración son irregulares y gradacionales. (Arribas et al, 1995, pág. 420)

Existe una asociación espacial común entre los depósitos y las intrusiones superficiales, típicamente porfídicas. Estas intrusiones son interpretadas como el origen de domos volcánicos o alimentadores de volcanes de ventilación central o complejos maar-diatrema, los tres principales lugares volcánicos para los depósitos de alta sulfuración. Algunos depósitos se alojan enteramente dentro de un solo domo (Summitville), o dentro de un complejo de domos (Julcani). En la mayoría de los casos, la mineralización se extiende desde la intrusión subvolcánica hasta la roca caja, como el depósito Main Vein de Cu-Au-Ag y los depósitos de brechas asociados en el área de Panshan del distrito de Chinkuashih. Sin embargo, algunos depósitos no muestran ninguna asociación espacial (conocida) con intrusiones subvolcánicas que se piensa que son genéticamente relacionadas a la mineralización. Los magmas que se creen genéticamente relacionados con los depósitos de alta sulfuración tienen una variación de composición notablemente limitada. Los rangos de % en peso de K₂O y SiO₂ para los

doce depósitos se superponen en gran medida y muestran una dominancia de composiciones calcoalcalinas andesíticas y dacíticas, con riolita subordinada (Arribas, 1995, pág. 422).

2.2.3 Alteraciones hidrotermales y zonamiento de depósitos de alta sulfuración

La mineralogía y la zonificación de los ensambles de alteración hidrotermal es otra característica distintiva. Muchos minerales de alteración son estables a temperaturas y/o rangos de pH limitados, y por lo tanto proporcionan información importante para reconstruir la estructura termal y geoquímica del sistema hidrotermal. Debido al origen casi superficial de estos depósitos y al entorno dinámico en que se forman (incluyendo la posibilidad de erosión significativa durante la actividad hidrotermal), la alteración que sobreimprime el sistema debe distinguirse de la asociada con el mineral. (White, 1995, pág. 11)

La zonificación de alteración lateral que es característica de los depósitos de alta sulfuración refleja la reacción y la neutralización de fluidos ácidos de alta temperatura con la roca caja. La zona más interna de sílice vuggy o sílice masiva comúnmente tiene límites marcados con una zona que puede contener cuarzo, alunita, caolinita, dickita, pirofilita, diásporo y zunyita. Este ensamble argílico avanzado gradúa se clasifica en una segunda zona de alteración argílica, compuesta de minerales como cuarzo, caolinita, illita, sericita y esmectita, y un halo de alteración propilítica más exterior, con clorita, illita, esmectita y carbonatos. La amplitud de cada zona varía ampliamente; por ejemplo, la sílice vuggy y las rocas con alteración argílica avanzada forman bordes estrechos (<70 cm) en Julcani, pero forman cuerpos rocosos amplios (>50 m) en Summitville o Lepanto. Las venillas planares de cavidades rellenas de la etapa tardía en Julcani y El Indio pueden extenderse fuera de la zona de alunita-caolinita. En la mayoría de los depósitos alta sulfuración, sin embargo, la mayor parte del mineral está contenido dentro del núcleo de sílice, dentro de la zona argílica avanzada. Las zonas de alteración con el aumento de profundidad típicamente gradúan de una zona silícica poco profunda a través de argílico avanzado, argílico, argílico/sericita, hacia una zona sericítica o fílica con cuarzo, sericita y piritita. Esta secuencia de alteración se produce a lo largo de un intervalo vertical que oscila entre unos pocos cientos de metros a más de 1000 m. En Lepanto, la alteración sericítica a profundidades de 400 a 500 m por debajo del depósito epitermal da paso, lateralmente hacia el sur, a la alteración potásica del depósito FSE tipo pórfido Cu-Au. La mineralización de pórfido tipo stockwork en Paradise Peak está

contenida dentro de los minerales sericíticos del depósito East Zone, que se formó debajo de los principales cuerpos de alta sulfuración en la zona. Una zona de cuarzo-sericita-pirita con trazas de calcopirita y molibdenita rodea una intrusión de pórfido de monzonita >300 m por debajo del depósito alta sulfuración en Summitville. (Arribas, 1995, pág. 424)

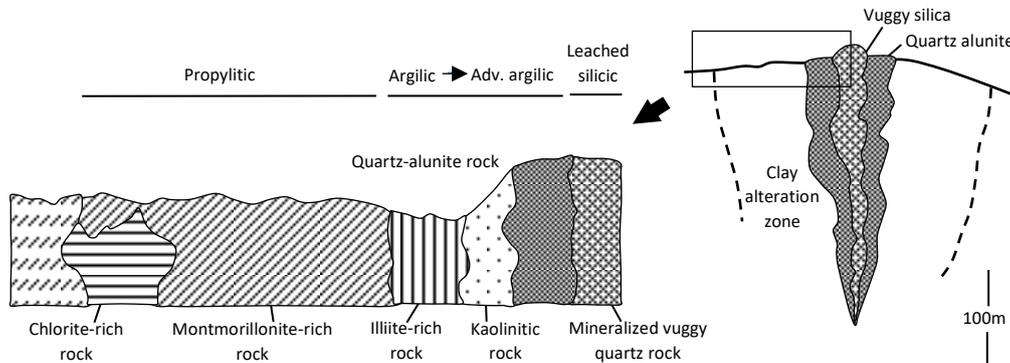


Figura 3: Corte transversal de las zonas de alteración características de los depósitos de alta sulfuración, como se observa en el depósito Summitville Au-Cu, Colorado. El diagrama a la izquierda muestra una zonación esquemática hacia fuera de un cuerpo subvertical mineralizado, mostrado a la derecha (Stoffregren, 1987, pág. 202).

Las zonas de alteración lateral y vertical descritas anteriormente corresponden a un modelo generalizado. Son útiles en la exploración porque ayudan en la comprensión del ambiente genético de un depósito y proporcionan espacialmente "marcadores" dentro del sistema hidrotermal extinto. Los datos experimentales sobre la estabilidad relativa de minerales como alunita, caolinita, pirofilita y diásporo, junto con los rangos de temperatura observados para estos y otros minerales ácidos relacionados en sistemas activos, también proporcionan información que contribuye a la definición de los paleoconductos en los sistemas extintos. Si se estudia en detalle, se pueden reconocer en la mayoría de los depósitos varias etapas superpuestas y transversales de mineralización penetrante y de fractura (conducto). Estos son el resultado esperado de las variaciones, durante el curso de la mineralización, en temperatura, presión y la composición del fluido hidrotermal y el grado de interacción de la roca madre. Los estudios detallados de campo y petrográficos en Monte Negro en el yacimiento Pueblo Viejo han permitido la identificación de dos etapas de mineralización, interpretadas para corresponder a dos pulsos magmáticos distintos. Durante la primera etapa (responsable del ~60% del Au en el depósito), se desarrollaron zonas poco profundas de caolinita-cuarzo-pirita y de zonas profundas de alunita-cuarzo-pirita-cuarzo, con mineralización de oro en asociación con

la pirita diseminada en el roca madre; durante la segunda etapa (responsable de alrededor del 40% del Au), una extensa zona de silicificación con vetas de pirita ± esfalerita ± enargita formadas a niveles poco profundos, por encima de una zona de alteración pirofilita-diáspora". (Arribas, 1995, pág. 425)

2.2.4 Control estructural

El comprender apropiadamente el control estructural que presenta un yacimiento viene a ser base fundamental en la exploración de recursos minerales, bajo el punto de vista de mineralizaciones hidrotermales, son las zonas extensionales las más favorables para el desarrollo de estas, la extensión genera espacios por donde los fluidos pueden circular con mayor facilidad y las masas minerales serán mayores; las fallas y estructuras presentes en un yacimiento servirán como canales de migración de los fluidos hidrotermales y determinar el sentido de movimiento de una falla individual o zona de cizalla será vital para predecir la presencia de zonas de extensión. La geología estructural en exploración minera, expone una revisión de los principios estructurales, en base a las estructuras que mejoran la permeabilidad estructural y alojan yacimientos controlados estructuralmente. (Nelson, 2010, pág. 9)

Los temas cubiertos incluyen:

Conceptos de esfuerzo

El esfuerzo es la fuerza por unidad de área, y es una propiedad de campo 3D en la corteza. Puede ser pensado como un conjunto infinito de vectores de fuerza en todas las orientaciones que actúan en un punto determinado de la corteza, todas con orientación y magnitud. Simplificamos el campo de esfuerzos definiendo tres esfuerzos principales mutuamente perpendiculares:

σ_1 = esfuerzo principal máximo

σ_2 = esfuerzo principal intermedio

σ_3 = esfuerzo principal mínimo

Estos esfuerzos principales pueden representarse gráficamente como los ejes del elipsoide de esfuerzos. La forma y orientación del elipsoide representan el estado de esfuerzo (o campo de esfuerzo) en cualquier punto dado de la corteza (Nelson, 2010, pág. 10)

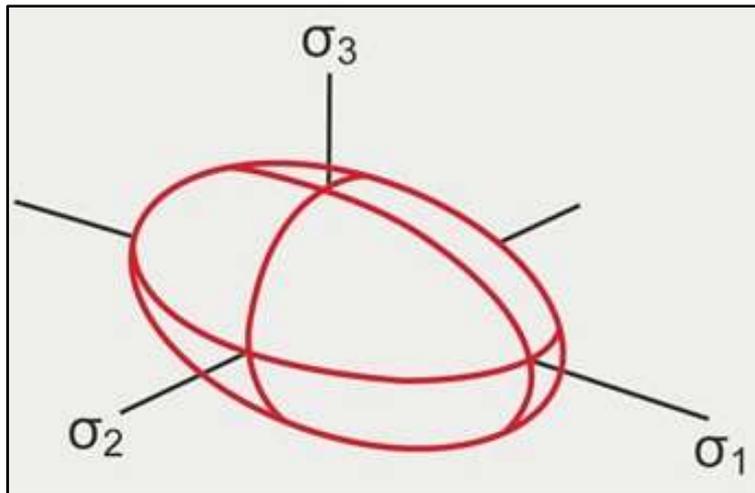


Figura 4: Representación gráfica del campo de esfuerzos como elipsoide de esfuerzos con ejes de esfuerzo principal perpendiculares entre sí. (Nelson, 2010, pág. 9).

Conceptos de deformación

La deformación es una propiedad tridimensional que describe la deformación dentro de una roca o región. La deformación 3D se puede describir con las longitudes y orientaciones de los ejes de deformación principales en comparación con una esfera de deformación previa de radio unitario (Figura. 5). De importancia para la exploración es que los ejes de deformación principal largo (λ_1) y corto (λ_3) representan las direcciones finitas (o producto final) de extensión y acortamiento, respectivamente. (Nelson, 2010, pág. 10).

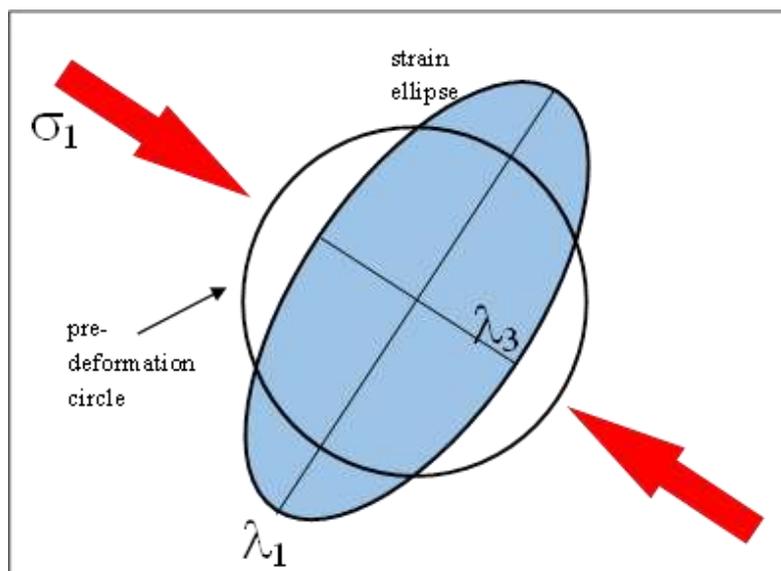


Figura 5: Elipse de deformación en comparación con el círculo de referencia de predeformación para el estado de cizallamiento puro; Flechas rojas = σ_1 . (Nelson, 2010, pág. 10)

En la exploración es importante reconocer el tipo de deformación. En áreas de deformación plana, los brotes de mineral controlados cinemáticamente o dilatados deben tener la misma orientación general en todo el distrito. Sin embargo, en áreas de deformación no plana tales cuerpos mineralizados se diferenciarán en orientación porque pueden formarse múltiples conjuntos de fallas. (Nelson, 2010, pág. 11)

Mecánica de la fractura

Las fracturas, que causan permeabilidad estructural y son los sitios de la mayoría de los yacimientos estructuralmente controlados, se forman en dos modos fundamentales de miembro final: 1) modo de apertura y 2) modo de cizallamiento. Las fracturas de apertura (también denominadas fracturas de extensión) se forman mediante el movimiento de las paredes de fractura perpendiculares al plano de la fractura; se forman en el plano σ_1 - σ_2 y perpendiculares a σ_3 (Figura 6. A). (Nelson, 2010, pág. 12)

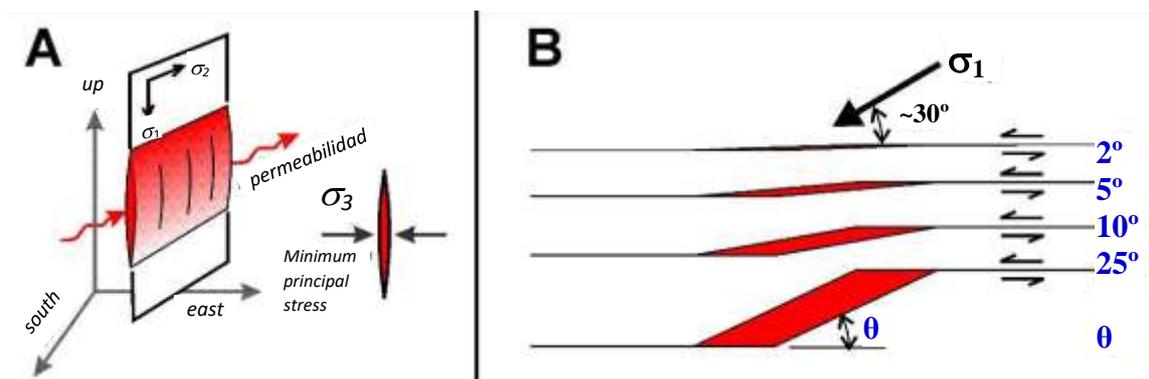


Figura 6: A. Las fracturas de apertura (= fractura de extensión) se forman en el plano perpendicular al eje de esfuerzo principal mínimo. B. Las aperturas también pueden formarse a lo largo de fracturas de corte (fallas) con cualquier desviación de la geometría de falla plana. (Nelson, 2010, pág. 12)

Fracturas de cizalla (fallas) se forman por el movimiento de las paredes de fractura paralelas al plano de la fractura. Teóricamente, se forman entre 45° a σ_1 debido a que el esfuerzo máximo de cizalla se desarrolla en planos de esta orientación. Sin embargo, observaciones empíricas en los experimentos de deformación de rocas muestran que las fracturas por cizalladura forman un ángulo de $\sim 30^\circ$ a σ_1 , y pueden formarse como un conjunto conjugado (fallas con sentido de deslizamiento opuesto y con un ángulo interplanar de $\sim 60^\circ$ que es cortado por σ_1). (Nelson, 2010, pág. 13)

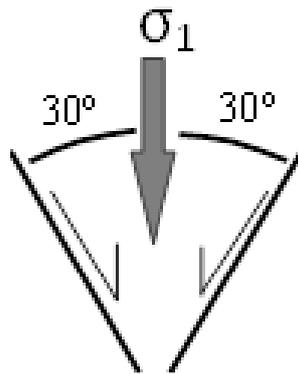


Figura 7: Fracturas de cizalla (fallas) forman un ángulo de $\sim 30^\circ$ con respecto al eje de esfuerzo principal máximo. (Nelson, 2010, pág. 13)

En la práctica, la mayoría de las fracturas que contienen yacimientos probablemente se forman con componentes de modo de apertura y de cizalla. Esto es debido a que cualquier desviación leve de la geometría de la falla planar (por ejemplo, en curvatura de falla), causará algún componente del modo de apertura a lo largo de la falla (Figura 6. B), y conduzca así al flujo de fluido potencial y a la precipitación del mineral. (Nelson, 2010, pág. 14)

Es importante destacar que, para la formación de yacimientos, las fracturas de extensión forman la permeabilidad estructural principal, preferentemente en la dirección σ_2 . Sin embargo, las fracturas de extensión pueden formarse localmente a lo largo de fallas donde la orientación del plano de falla se dobla para acercarse al paralelismo a σ_1 o en las zonas de desplazamiento (Figura 6. B, 8). Estos lugares a lo largo de las fallas son los objetivos principales para la exploración. Tenga en cuenta que los jogs y curvaturas son funciones tridimensionales y pueden formarse en cualquier orientación; sin embargo, la orientación está relacionada con la cinemática de la falla (Nelson, 2010). (Nelson, 2010, pág. 15)

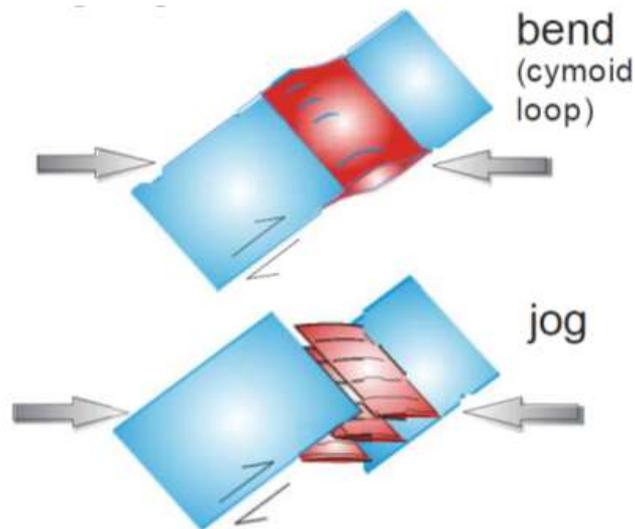


Figura 8: Desarrollo local de las fracturas del modo de apertura (extensión) fracturas en jog de falla (formando una serie de veta en echelon) y estructuras en curvatura de falla. Las flechas grises ilustran la orientación del esfuerzo principal máximo. (Nelson, 2010, pág. 14)

Controles estructurales sobre la permeabilidad

La permeabilidad estructural, y por lo tanto la formación del mineral, se localiza en las áreas de mayor apertura de fractura y densidad de fractura. La evidencia física del paso del flujo del fluido incluye vetas de extensión, zonas de fallas mineralizadas y brechas con matriz precipitado hidrotermalmente (cemento), todas las cuales pueden ocurrir en la misma estructura. Las mallas de permeabilidad por fallas-fracturas pueden formarse en varias geometrías. Nótese, sin embargo, que el enfoque, no la dispersión, de los fluidos mineralizantes es un proceso necesario para la formación de mineral. La focalización de la permeabilidad a lo largo de la dirección σ_2 en mallas de falla-fractura puede ocurrir en una serie de ajustes estructurales (Figura 9), incluyen:

- Jogs y curvaturas de fallas de dilatación. (Figura 9. B, 9. C)
- Disposición de vetas en echelon (Figura 9. A.)
- Zonas de intersección (falla-falla, falla-capas, falla-dique, dique-capas, etc.)

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

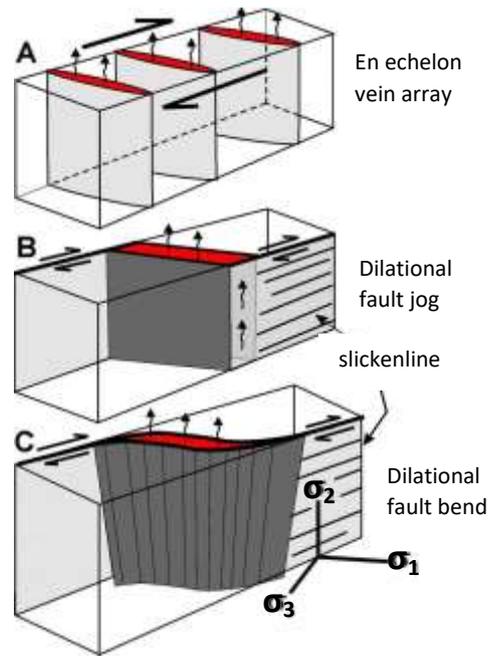


Figura 9: Ilustración de la permeabilidad estructural desarrollada preferentemente a lo largo de la dirección σ_2 en disposición de vetas en echelon, jogs de fallas de dilatación y curvaturas de fallas de dilatación. El ejemplo usado aquí son fallas de rumbo (horizontal) en las cuales las líneas slickenline buzan $\sim 0^\circ$. (Nelson, 2010, pág. 16)

Los condicionantes que llevan a la precipitación de mineralizaciones hidrotermales en zonas profundas (mesotermiales) y someras (epitermales). Mientras que en el ambiente somero epitermal se encuentra caracterizado por condiciones de presión hidrostática (P =columna de agua) los sectores profundos (varios kilómetros) presentan condiciones de presión litostática (P =columna de roca). Entre un ambiente y otro existe toda una zona transicional que se denomina de presión suprahidrostática. En el caso de los yacimientos auríferos, los epitermales, formados a profundidades de 1 km o menos se han generado bajo condiciones netamente hidrostáticas. Los grandes yacimientos auríferos mesotermiales asociados a zonas de cizalla en régimen dúctil-frágil, corresponden por su parte a situaciones donde la presión ha sido suprahidrostática a litostática. Una de las premisas fundamentales es que las mineralizaciones se generan en sistemas de falla activos, es decir, en relación con actividad sísmica. La capacidad de ruptura de un sismo induce abruptamente el movimiento de fluidos en una falla, y, por lo tanto, la precipitación de su carga metálica en zonas estructuralmente favorables (en extensión) donde se crean las condiciones físicas adecuadas. (Sibson, 1990, pág. 93)

2.2.5 Brechas Relacionadas a la Mineralización

Es de suma importancia entender los procesos que dieron origen a brechas asociadas a la mineralización, sus características y el rol que cumplieron en la formación de yacimientos minerales. Se describen siete tipos de brechas que pueden ocurrir en depósitos minerales epitermales-mesotermas. Algunos se dividen en subtipos dependiendo de si ocurren en la superficie o subsuperficie de la Tierra. Los diversos tipos de brechas se describen a continuación en aproximadamente el orden de su aparición en el ciclo geológico: es decir, los primeros tipos formados se describen primero. También más o menos en orden de temperatura decreciente de la fase móvil. (Lawless, 1990, pág. 197)

Brechas Intrusivas

Estos se subdividen en tres miembros finales, para ilustrar los diferentes procesos que operan en este entorno, pero existe una intergradación continua entre los miembros finales. La mineralización dentro de este tipo de brechas no está directamente relacionada con el proceso de brechificación, pero la brechificación puede proporcionar una preparación adecuada de la roca huésped para la mineralización posterior. La ubicación de estas brechas en un ambiente intrusivo significa que es probable que se sometan a mineralización por otros procesos magmáticos o hidrotermales. El seguimiento de la extensión de la brecha es importante durante la exploración debido a su correlación empírica con el mineral, pero existe una buena posibilidad de que la mineralización se extienda a otras formaciones. (Lawless, 1990, pág. 197)

Brechas Volcánicas

La característica esencial de estas brechas es que la brechificación que causa la energía se deriva de la liberación de la presión de volátiles magmáticos. La exploración en esta situación puede hacer uso de los principios estratigráficos para predecir la extensión y la ubicación del cuerpo de la brecha. Debido a que la mineralización probablemente fue posterior e independiente a la fecha del proceso de brechificación, es esencial interpretar la naturaleza de la mineralización, así como también la de la brechificación, ya que la mineralización puede no limitarse solo a la unidad de brecha. (Lawless, 1990, pág. 198).

Brechas Freatomagmáticas

La brecha freatomagmática ocurre cuando una corriente convectiva ascendente de magma encuentra agua. Esto puede ser agua subterránea, agua de sedimentación o un cuerpo de agua superficial. Estos comúnmente forman tuberías casi verticales conocidas como diatremas. Son comúnmente polimícticos, a menudo con una gran proporción de clastos de la roca caja. Estas brechas casi siempre son matriz-soportadas. La matriz se compone de una mezcla de clastos triturados y finamente dividido, a menudo material juvenil tufáceo ("tuffisita"). Por definición, algunos de estos últimos deben estar presentes o serían brechas magmáticas-freáticas. Las chimeneas de brechas freatomagmáticas pueden contener una mezcla caótica de tipos de clastos, o puede haber capas subhorizontales identificables que representan la secuencia estratigráfica de las rocas encajantes a través de las cuales han pasado, a menudo indicando muy poco transporte vertical neto a pesar del amplio redondeo de clastos y una alta proporción de matriz. Sin embargo, en algunas chimeneas de brechas freatomagmáticas, los clastos de composición distintiva se encuentran hasta 1000m por debajo de su posición estratigráfica equivalente en las formaciones circundantes. La mineralización en brechas de este tipo no está directamente relacionada con el proceso de brechamiento, pero pueden proporcionar una roca huésped adecuadamente fracturada para fluidos de mineralización posterior. Del mismo modo, son propensos a la mineralización debido a su ubicación en áreas de magmatismo activo. El entorno geológico y tectónico en el que estos magmas tienden a producirse es más favorable para la mineralización que, por ejemplo, las áreas de basaltos de meseta. En términos de exploración, la aplicación de principios estratigráficos puede ser útil para predecir la ubicación y extensión del cuerpo de la brecha, pero dado que el proceso de brechificación probablemente no estuvo directamente relacionado con la mineralización, el proceso de mineralización debe evaluarse por separado (Lawless, 1990, pág. 199)

Brechas Freático-Magmáticas

La brecha magmática-freática ocurre a través del destello o expansión de un fluido que está compuesto de agua o vapor que puede contener una proporción de volátiles magmáticos pero que es predominantemente de origen meteórico, subterráneo o connato, y que ha sido directamente calentado por la intrusión de magma, y donde la brecha resultante no contiene productos magmáticos juveniles. (Lawless, 1990, pág. 200)

Brechas Freáticas

La brechificación freática es causada por la expansión del vapor y el gas de un fluido dominado por el agua, con solo un componente menor de volátiles magmáticos, y que el mecanismo de transporte de energía al foco de la brechificación debe ser en algún momento una columna de fluido hidráulico subcrítico de convección libre, aunque el proceso puede implicar un destello (separación de vapor y fase gaseosa). También incluye la fracturación hidráulica de las formaciones que contienen fluidos hidrotermales. (Lawless, 1990, pág. 200)

Brechas Tectónicas

Las brechas tectónicas se forman por la interrupción mecánica de las rocas en respuesta a esfuerzos tectónicos. La rotura mecánica puede moler los clastos formando harina de roca o milonita. Las brechas tectónicas tienden a ocurrir en planos de fallas identificables, por lo general abruptamente sumergidas. Si la mineralización está asociada con una brecha tectónica en un terreno volcánico no metamorfoseado, es poco probable que el tectonismo haya causado la mineralización, por lo que la función de la brecha probablemente solo sea proporcionar un camino permeable para la mineralización de fluidos. La estrategia de exploración debe consistir en rastrear la extensión de la brecha e interpretar por separado el proceso de mineralización. Si la mineralización parece tener fallamiento previo, se debe considerar la posibilidad de zonas mineralizadas de corte oculto. (Lawless, 1990, pág. 201)

Brechas Sedimentarias

En el ambiente epitermal / mesotérmico típico, consisten principalmente de material volcánico. Los sedimentos volcanoclásticos van desde depósitos epiclásticos, como los depósitos laháricos o de avalancha, que tienen poca evidencia de procesos sedimentarios, hasta bien clasificadas pumicitas o areniscas volcanogénicas. La característica esencial de estas brechas es que han sido emplazadas en la superficie de la Tierra por procesos predominantemente sedimentarios. La mineralización en este entorno no está directamente relacionada con el proceso de brechificación. En términos de exploración, se aplican comentarios similares a una brecha volcánica exógena. La extensión y ubicación de la brecha se puede predecir por estratigrafía, pero el proceso de mineralización debe evaluarse por separado. (Lawless, 1990, pág. 201)

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

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

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

Hidrotermal: Significa aguas calientes. Pueden ser profundas circulaciones de aguas subterráneas en un área de alta temperatura por gradiente geotérmico o aguas con componentes juveniles provenientes de actividad ígnea (Stanton, 1972).

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

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

Zona de Falla: Se trata de una estructura frágil compuesta por innumerables planos de falla, sub-paralelos o marcadamente oblicuos entre sí, interconectados, y estrechamente espaciados. En algunos sectores la zona de falla puede contener zonas de brecha o harina de falla (fault gouge) que obviamente no permitirán observar los planos interconectados antes mencionados. (Oyarzún, 2013).

Control: Se denomina así al efecto regulador de un agente o parámetro sobre la evolución de un sistema o proceso. En el estudio de los yacimientos metalíferos es esencial determinar el control ejercido por la litología (control litológico) y por las estructuras (control estructural) en la distribución de la mineralización económica. De igual manera, ambos controles influyen en la distribución de los cuerpos mineralizados a escala local, distrital, regional y de fajas metalíferas a escala continental. En consecuencia, son factores claves en la exploración geológico-minera (Oyarzún, 2009).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Ubicación Geográfica

El proyecto se ubica dentro de las concesiones Nancy I y Nancy II que tiene en conjunto 1600 Ha. Los trabajos de exploración estuvieron concentrados en los cerros Ñahuato y Chucchupata, con un área de 2.5 x 2.0 Km. Entre las coordenadas 613000E – 8334000N y 617000E – 8339000N, con cotas que van desde los 3200 a 3900 metros.

La presente investigación se realizó durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2017.

3.1.2 Ubicación Política

Políticamente se ubica en los distritos de Chaviña y Sancos en la provincia de Lucanas, región Ayacucho.

3.1.3 Accesibilidad, Clima y Vegetación

El acceso se realiza desde la ciudad de Nazca, siguiendo la carretera asfaltada hasta Puquio, de donde se sigue la carretera asfaltada, que va hacia Coracora, hasta la repartición hacia Sancos; a partir de allí se sigue aproximadamente por 15 km la ruta hacia Sancos para llegar al proyecto.

RUTA	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE VÍA
Lima – Nazca	455 km	6 h	Asfaltada
Nazca - Puquio	151 km	3 h	Asfaltada
Puquio – Desvío Sancos	48 km	1 h	Asfaltada
Desvío Sancos - Proyecto	15 km	1 h	Afirmado
TOTAL	669 km	11 h	-

Tabla 1: Tramos y distancias desde Lima hacia proyecto Ancos

Plano 1. Plano de ubicación

Plano 2. Plano de accesibilidad

El clima de Sancos es un clima estepa local. A lo largo del año se presentan pocas precipitaciones. Este clima es considerado BSk según la clasificación climática de Köppen-Geiger. La temperatura promedio en Sancos es 12.7 °C. Entre los meses más secos y más húmedos, la diferencia en las precipitaciones es 96 mm. Las temperaturas medias varían durante el año en un 3.9°C. La fuente ha sido la página web: <https://es.climate-data.org/>

Encima de los 3,000 m.s.n.m., el clima es frío, con un invierno seco y un verano lluvioso. En invierno, durante la noche la temperatura baja y el frío es intenso, produciéndose las “heladas”. En este lugar

El distrito presenta gran diversidad ecológica, en este lugar la vegetación natural está dada por el “ichu”, entre otras especies como la retama, el aliso, el huaranhuay, el mutuy, la tara, la cantuta, la cabuya, sauco, molle, quisuar, eucalipto, pino y ciprés, así como varios tipos de cactáceas como la tuna, el sanqui, la jacana, el huyo, etc. En las partes más altas de la región podemos el queñual (usada en la comunidad como combustible), colle, lloque, chacacomo, puya Raimondi, entre otros.

3.2 PROCEDIMIENTOS

Las etapas para la recolección de datos fue la siguiente:

Etapa preliminar de gabinete

Corresponde a la recolección de documentos bibliográficos físicos y digitales, asociados a yacimientos epidermales de alta sulfuración, litologías, alteraciones, estructuras geológicas y otros; lo cual permitió determinar las limitaciones de la investigación y elaborar el plan de trabajo.

Etapa de campo

Consiste en realizar el reconocimiento y cartografiado geológico del proyecto Ancos a escala 1/2000, recolección de información geológica (litología, alteración, estructuras y mineralización) que será analizada y comparada, permitiéndonos definir el comportamiento geológico del lugar.

Etapa de análisis e interpretación

La información recopilada de campo es interpretada y analizada en gabinete, para la construcción de los modelos geológicos 3D de oro, alteraciones y litología, se procesa

información de la geología, geoquímica de las perforaciones ejecutadas en las campañas de perforación haciendo uso del software Leapfrog Geo.

Los modelos geológicos 3D, permiten realizar la interpretación de los controles a los cuales se encuentra asociada la mineralización en el depósito.

3.3 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación será de nivel descriptivo, explicativo y relacional, con un diseño no experimental y transversal en el tiempo. Se empleará el método explicativo y descriptivo.

3.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO

Cerros Iñahuato y Chucchupata del Proyecto Ancos, Ayacucho.

3.5 MUESTRA

Litología, Geología Estructural, Alteración.

3.6 UNIDAD DE ANÁLISIS

Se analiza la petromineralogía, tipos de litología, alteración, estructuras y brechas.

3.7 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Las variables que intervienen en el estudio son:

Variable	Definición Conceptual	Indicadores	Índice/ Ítem
Variable Independiente (Causas)			
Litología	La litología es la parte de la Geología que trata sobre las rocas. Estudia, por tanto, sus características y los diferentes tipos de rocas existentes.	Rocas volcánicas	tipo
Geología Estructural	Rama de la geología que estudia las propiedades físicas de las rocas y sedimentos, sus deformaciones y fracturas y la mecánica de las fuerzas que actúan sobre ellas.	Esfuerzos Deformaciones	tipo, estructuras
Alteración Hidrotermal	Término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en térmicos químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas.	Alteración Hidrotermal en Depósitos de alta sulfuración	tipo
Variable Dependiente (Efecto):			
Control de Mineralización	Es la combinación de factores litológicos, de alteración, estructurales, intensidad de venillas, y otros; que en sectores debido a la combinación de los mismos se generan zonas de mineralización.	Zonas de alta ley	g/t Au

Tabla 2: Operacionalización de variables

3.8 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas empleadas para el acopio de la información fueron:

Cartografiado Geológico

Se realizó el cartografiado por afloramientos a escala 1/2000, se colocó una ortofoto y se contornearon los afloramientos en campo identificando el tipo de roca, alteración; así mismo la geología estructural, para lo cual se realiza toma de rumbos y buzamientos.

Como actividad complementaria se realizó el análisis de ortofotos, identificando alineamientos y estructuras que se verificaron con las salidas de campo.

Muestreo Geoquímico

Se realizó muestreo geoquímico basándose en su representatividad, proporcionalidad y pureza; se ha utilizado los métodos Rock Chip, Canales, Selectivo; que permitieron determinar los elementos presentes en la roca y zonas de alta ley (Au) en superficie.

También se realizó el muestreo de los sondajes de perforación de aire reverso para la obtención de las leyes de Au en profundidad.

Perforación de Sondajes

Se ejecutaron campañas de perforación de aire reverso que permitió obtener información geológica en profundidad de litología, alteración y leyes de Au; lo que ha permitido realizar un modelamiento en 3D y un cálculo de recursos del yacimiento.

Logueo geológico de sondajes

Consistió en la descripción geológica de cada sondaje perforado, la información fue ingresada en el programa Fusion 8, para posteriormente ser utilizada en la generación de secciones y el modelamiento 3D en Leapfrog Geo.

Elaboración de modelos geológicos 3D

Haciendo uso del software Leapfrog Geo, se realizó la construcción de los modelos geológicos 3D, mediante el procesamiento e interpretación de todos los datos obtenidos del proceso de cartografiado, logueo y muestreo de los sondajes.

Los modelos geológicos generados y la correlación con información de superficie y geofísica permitieron interpretar la asociación de la litología, alteración hidrotermal y geología estructural con la mineralización de oro en el depósito.

- Cartografiado Geológico
- Muestreo Geoquímico
- Logueo y Relogeo Geológico de Testigos de Perforación
- Elaboración de modelos geológicos 3D
- Los siguientes materiales han sido empleados en la presente tesis:
- Tablero para cartografiado
- Plantillas para cartografiado 1/2000
- Imagen Satelital 1/2000
- Brújula tipo Brunton azimutal.

- Picota
- Lupa de 20X.
- Rayador o lápiz de dureza.
- Navegador GPS
- Protactor de escala 1/2000
- Libreta de campo
- Flexómetro de 5m
- Bolsas para muestras.
- Cámara Fotográfica Digital

3.9 GEOLOGÍA REGIONAL

La geología en los alrededores del proyecto Ancos consiste de secuencias de rocas volcánicas post-miocénicas con centros volcánicos alterados, parcialmente erosionados. El proyecto en estudio se encuentra emplazado en rocas volcánicas neógenas mayormente de composición andesítica, pertenecientes a la Grupo Tacaza, que se extienden en dirección NNO-SSE a lo largo de 20 km., que infrayacen en discordancia angular al Grupo Barroso.

3.9.1 Formación Murco

JENKS (1948) dio este nombre a un afloramiento que se localiza en el valle de Sigwas, a corta distancia aguas arriba del pueblo de Murco. Posteriormente, BENAVIDES (1962) calculó una sección en dicha localidad.

Esta formación aflora hacia el SE del proyecto Ancos., se caracteriza por su matiz rojizo y se destaca fácilmente por estar limitada entre las cuarcitas blancas de la Formación Hualhuani y las calizas grises de la Formación Arcurquina. Su grosor máximo es de 300 m.

En general, está compuesta por arenisca gris verdosa de grano grueso, con estratificación gradada y laminación cruzada, cuya polaridad indica que los estratos están en posición normal y que las corrientes que los originaron venían del NO.

La estratificación entrecruzada indica que la formación se ha depositado en una zona de aguas agitadas, mientras que la estratificación gradada y laminaciones señalan que la sedimentación se llevó a cabo en aguas más tranquilas, evidenciando que ha existido un ambiente marino oscilante.

Además, la unidad se ha depositado en condiciones oxidantes (aeróbicas), en una época donde ha existido poca estabilidad tectónica y el levantamiento debe haber sido rápido. Es característica de esta facies la naturaleza altamente feldespática de los sedimentos, su color rojo y la ausencia de caliza.

En ninguna de las localidades donde aflora esta formación se han encontrado fósiles, ya que la edad ha sido designada solamente de acuerdo a su posición estratigráfica. Como descansa sobre la Formación Hualhuani del Neocomiano superior e infrayace a la Formación Arcurquina del Albiano, se le asigna una edad Neocomiano superior-Aptiano.

Se le correlaciona con las Formaciones Huancané de Puno, Farrat y Goyllarisquizga del norte del Perú. (Olchousqui, 1980, pág. 30)

3.9.2 Formación Arcurquina

En ninguna de las localidades donde aflora esta formación se han encontrado fósiles, ya que la edad ha sido designada solamente de acuerdo a su posición estratigráfica. Como descansa sobre la Formación Hualhuani del Neocomiano superior e infrayace a la Formación Arcurquina del Albiano, se le asigna una edad Neocomiano superior-Aptiano. Se le correlaciona con las Formaciones Huancané de Puno, Farrat y Goyllarisquizga del norte del Perú.

Esta formación aflora hacia el SO de Ancos, en el área de influencia del proyecto la litología es similar; se ha conseguido diferenciar dos miembros, los que se denominan Aguas Verdes el inferior y Arenizo el superior. (Olchousqui, 1980, pág. 30)

Miembro Aguas Verdes

Concordante entre la Formación Murco y el Miembro Arenizo de la Formación Arcurquina, se encuentra el Miembro Aguas Verdes.

Está constituido por un facie calcárea consistente en 400 m. de calizas grises de diferentes tonalidades, variables desde las más claras a las más oscuras, con predominio de las últimas. Las calizas tienen abundantes concreciones de sílice y toman color blanco por alteración. Las capas poseen una estratificación bien marcada y tienen un grosor que varía entre 1 y 2 m., conteniendo abundantes fósiles.

El origen es netamente marino y se ha depositado en un mar poco profundo, en condiciones de hundimiento. (Olchousqui, 1980, pág. 32)

Miembro Arenizo

El Miembro Arenizo yace concordantemente sobre las calizas grises del Miembro Aguas Verdes e infrayaciendo con aparente discordancia angular a las areniscas conglomerádicas rojas de la Formación Huanca del Cretácico superior – Paleógeno.

La litología de este miembro consiste en calizas blanquecinas y arenisca calcáreas blanco-amarillentas o verdes claras. Posee algunas intercalaciones de capitas de yeso y se presenta estratificado en capas delgadas, no mayores de 50 cm., tiene un grosor aproximado de 150 m.

Se diferencia del miembro inferior por sus colores claros, su carácter arenáceo, por presentarse en capas delgadas y por su menor resistencia para plegarse.

La litología de este miembro indica que se ha depositado en un ambiente marino de menor profundidad que el Miembro Aguas Verdes, en un período de emersión, poco antes de que se depositen las areniscas rojas del Cretácico superior – Paleógeno.

Cronológicamente corresponde a la Formación Arcurquina de Arequipa, el Grupo Moho de Puno y las Formaciones Chulec y Pariatambo del norte y centro del Perú. (Olchousqui, 1980, pág. 32)

3.9.3 Formación Para

Esta formación aflora hacia el S y SE del área de estudio, se expone una secuencia de rocas sedimentarias intercaladas con piroclásticos y que afloran en la localidad de Para, en ambos flancos del río Larapaje.

La base de esta secuencia no se observa, porque el contacto con las formaciones cretácicas está fallado. La unidad supra yacente más antigua es el Volcánico Tacaza, en contacto discordante. También, sobreyacen con discordancia angular las Formaciones Sencca y Barroso. La parte expuesta tiene un grosor aproximado de 1000 m.

Litológicamente, está constituida por una intercalación de areniscas tobáceas de grano fino, blancas y verdes, con areniscas conglomerádicas con abundante cuarzo y elementos que llegan hasta 3 mm. de diámetro; también lutitas grises, limolitas

amarillas, aglomerados en capas de 10 a 50 cm., andesita microbrechosa, tobas, lapillis blancos y cenizas.

Las rocas sedimentarias de esta unidad son de origen lacustre, el material ha sido acarreado por corrientes rápidas e influenciado por un período de actividad volcánica explosiva.

Los restos de tallos encontrados dentro de las limolitas no han permitido precisar la edad de la formación, pero como infrayace con discordancia angular al Volcánico Tacaza del Mioceno y asumiendo que es más joven que la Formación Huanca, tentativamente se le considera una edad Oligocena.

Se correlaciona con la Formación Quemillone del cuadrángulo de Ichuña (MAROCCO y DEL PINO, 1966) y a parte del Grupo Puno de la región del Altiplano (Olchausqui, 1980). (Olchausqui, 1980, pág. 34)

3.9.4 Grupo Tacaza

NEWELL, (1949) definió esta unidad en la mina Tacaza, distrito de Santa Lucía, departamento de Puno. Guevara C. & Dávila D. describen este vulcanismo, con dataciones de 36.5 – 18 MA, esta unidad es de mucha importancia, ya que es conocida como metalotecto, el cual alberga numerosos yacimientos minerales en el sector sur del país, en el área del proyecto afloran ampliamente en el sector central y sur, descansando con discordancia angular sobre la Formación Para; está constituida por lavas y piroclásticos intercalados con rocas sedimentarias tobáceas. Se presenta en bancos más gruesos y con menor cantidad de clásticos que la Formación Para. Los buzamientos de los estratos son de poca inclinación.

En el área del proyecto infrayace una serie volcánico-clástica con discordancia angular al Grupo Barroso y sobreyace a las formaciones cretácicas con igual relación; el contacto con la Formación Para está dado por una falla. Litológicamente está compuesto por tobas de color blanco intercaladas con paquetes de arenisca tobácea gris clara, con un espesor de 2 a 50 cm., luego conglomerados con rodados de andesita marrón y verde con un diámetro que llega hasta 20 cm. y finalmente andesita gris verdosa a marrón, porfirítica y microbrechosa. Asimismo, se tiene abundantes arcillas y sílex, formados por alteración de roca volcánica ácida.

Esta unidad representa la fase volcánica que se desarrolló contemporáneamente a los movimientos tectónicos, mayormente como levantamientos epirogenéticos durante el Mioceno (Fase Quichuana).

El Grupo Tacaza en el área de estudio se halla descansando discordantemente sobre la Formación Para, que se asume representa el Oligoceno e infrayace al Volcánico Sencca del Plioceno, razón por la cual se le atribuye tentativamente una edad miocénica (Olchusqui, 1980, pág. 35)

3.9.5 Grupo Barroso

WILSON (1962) reconoció como Formación Barroso a un conjunto de rocas volcánicas que identifican la cordillera del Barroso. Posteriormente, MENDIVIL (1965) la elevó a la categoría de Grupo, reconociendo tres unidades; en el área de trabajo se han diferenciado dos secuencias, una inferior y otra superior y pre prefiere denominarlos Volcánico Barroso inferior y Volcánico Barroso superior.

El Volcánico Barroso Inferior, corresponde a las primeras pulsaciones y está constituido por una alternancia de derrames de andesita y piroclásticos; los primeros corresponden a andesitas y traquiandesitas y los segundos a brechas y aglomerados volcánicos. Es pertinente mencionar que existe un predominio de los derrames sobre los piroclásticos, en su mayoría estas rocas se encuentran alteradas producto de fluidos hidrotermales.

El Volcánico Barroso Superior, está constituido por una secuencia de rocas piroclásticas, cuya sección inferior está constituida por intercalaciones de bancos gruesos de tobas soldadas de aspecto masivo y cavidades vacuolares con pómez, granos angulares de cuarzo, biotita, plagioclasas y vidrio volcánico; la roca presenta coloración gris violácea en superficie fresca.

El Grupo Barroso descansa con discordancia erosional sobre la Formación Capillune del Plioceno y está cubierto por morrenas pleistocénicas y por el volcánico Sarasara del Cuaternario Reciente, razón por la cual se le asigna tentativamente una edad Plio-pleistocénica. (Olchusqui, 1980, pág. 41)

Plano 3. Plano de geología regional

Plano 4. Sección regional

3.10 TECTÓNICA Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La corteza del sur del Perú está formada por diferentes bloques estructurales yuxtapuestos, cada uno de los cuales tiene su propia evolución sedimentaria, tectónica, magmática y metalogénica. Los límites de estos grandes bloques están marcados por complejos sistemas de fallas NO-SE, en algunos casos también por unidades magmáticas mesozoicas y cenozoicas, y además por depósitos minerales. Estos bloques estructurales condicionaron la paleogeografía mesozoica, la que a su vez controló la evolución andina. Estos bloques han controlado la evolución y el emplazamiento de los yacimientos minerales, definiendo varias franjas metalogénicas

El área de estudio estaría ubicada en el dominio geotectónico Puquio-Caylloma-Incapuquio, el cual está formado principalmente por rocas volcánicas que van del Paleoceno al Plioceno. Este dominio presenta cinco épocas metalogénicas. La formación de grandes pórfidos de Cu-Mo y ocurrencias polimetálicas durante el Paleoceno-Eoceno estuvo controlada por el sistema de fallas Incapuquio. Desde el Oligoceno al Plioceno, es importante la mineralización de Au-Ag en depósitos epitermales donde la mineralización tuvo un control litológico y estructural (Sistema de Fallas Condoroma-Caylloma).

Como se observa en la geología del área en estudio todas las rocas que están aflorando se iniciaron a depositar en el Paleógeno, por lo cual es necesario recordar que el movimiento orogénico conocido como Fase Peruana, de fines del Cretácico superior, puso término a la sedimentación marina y dio paso al desarrollo de condiciones continentales (Bellido, E. 1969). La erosión de los sectores levantados originó la deposición de las capas rojas (cuya parte superior estaría representada en el área de estudio por la Formación Para) luego de lo cual el vulcanismo acumuló grandes cantidades de derrames y piroclastos (Carlotto, 1998).

La Fase Inca está registrada en el área de estudio y actuó plegando la secuencia Paleozoica-Mesozoica y además plegando a la Formación Para de edad Oligoceno, caracteriza a esta fase la generación de esfuerzos compresivos generando pliegues, fallas inversas, sobreescurrecimientos. La edad asignada para la Fase Inca por Palacios, O. et al (1995:18) es del Eoceno, sin embargo, en el área de estudio la Fase Inca afecta a los sedimentos de la Formación Para de edad Oligoceno Inferior, por lo cual en este estudio se considera que la Fase Inca corresponde al Oligoceno medio.

Durante la Fase Quechua 1 se depositó la secuencia volcánica Tacaza, desde el Oligoceno Superior hasta el Mioceno Superior, quedando afectadas posteriormente por plegamientos y levantamientos. Luego de esta fase se originó el biselamiento general de la región que dio lugar a la denominada Superficie Puna, los esfuerzos comprensivos de esta fase son menos intensos que la Fase Inca.

La Fase Quechua 2 se caracteriza por que sobre la Superficie Puna, se levantaron los productos de un intenso vulcanismo post-orogénico, que marca un nuevo ciclo de distensión, durante el cual se enterraron vastas áreas y se depositaron en discordancia erosional los productos del vulcanismo Barroso, en un proceso que tuvo lugar durante el Plioceno-Pleistoceno.

3.11 GEOLOGÍA LOCAL

El contexto del área está dominado por rocas volcánicas post-miocénicas con centros volcánicos alterados, parcialmente erosionados, la actividad explosiva y efusiva de estos centros volcánicos, produjo el relleno con material piroclástico y lávico de la paleotopografía de las áreas entre Ñahuato y Chuchupata. En estas áreas se desarrolló un centro de actividad epitermal que colapsó debido al auto sellamiento por formación de una sílica cap, formando un cráter de explosión relleno por brechas freatomagmáticas (diatrema).

Múltiples pulsos de brechamiento hidrotermal han alterado sucesivamente a esta roca. Hacia el norte afloran rocas poco o nada alteradas, constituidas por secuencias de tufos y lavas andesíticas.

3.11.1 Litología

El área de estudio afloran secuencias de lavas andesíticas, que han sido cortada por un evento de brechas freatomagmáticas, posterior a ello se tiene diversos eventos de brechas de hidrotermales.

La secuencia de lavas andesíticas cubre los flancos sur a norte de los cerros Ñahuato y Chuchupata, entre las cotas 3350 a 3750. Posteriormente sobre las andesitas se han depositado un nivel de tufos, suprayaciendo a los tufos se observa las brechas freatomagmáticas, que resaltan en campo por la presencia de escarpes pronunciados. Las brechas hidrotermales han cortado a todo el sistema y han sido expuestas en campo debido a la intensa erosión que han sufrido los cerros Ñahuato y Chuchupata.

Andesita

Los trabajos de campo han permitido reconocer dos niveles de estas lavas. Hacia la parte inferior, que va de cota 3475 a 3550m, presenta textura porfirítica gruesa, con fenos euhedrales de hasta 4mm; su mayor exposición está hacia el sur del C° Iñahuato. Gran parte de esta secuencia presenta alteración argílica avanzada y lixiviación con textura vuggy sílica hacia el tope.



Foto 1: Andesita con textura porfirítica alterada a sílice granular moderada.

La otra secuencia ha sido reconocida en el flanco sur-sureste del C° Chucchupata, entre los 3600 y 3725m; presenta textura porfirítica fina a media, en algunas partes los fenos llegan hasta los 2cm. Este nivel presenta una silicificación masiva gris que oblitera la textura original, en algunos sectores; también presenta extensas zonas con alteración argílica y argílica avanzada como caja de las estructuras de brecha hidrotermal que la atraviesan.



Foto 2: Andesita obliterada de tono gris alterada a sílice masiva.

Tufo

Sobreyacen a las lavas andesíticas. Han sido observados en el flanco norte y sur del C° Ñahuato y en el flanco noroeste del C° Chucchupata. En las partes bajas, se componen de fragmentos polimícticos, angulosos a subangulosos, menores a 2cm, soportados por una matriz andesítica de grano fino; presentan leve alteración propilítica. Hacia los flancos de los cerros Ñahuato y Chucchupata estos tufos de lapilli son monomícticos hasta polimícticos, matriz-soportados y mal clasificados. La matriz está silicificada y más o menos lixiviada, aparece reemplazada por sílice granular. Los tufos presentan pseudoestratificación en bancos irregulares. Hacia la cumbre del C° Ñahuato estas capas buzcan hacia el oeste, en la parte sur buzcan hacia el norte. En el C° Chucchupata los tufos buzcan hacia el norte.



Foto 3: Tufos alterados a sílice granular deleznable.

Brecha Freatomagmática

Presentan matriz de sílice blanca, granular a microgranular (polvo silíceo), con fragmentos angulosos a sub angulosos de sílice gris oscura y fragmentos de andesita porfírica de diversas tonalidades, se observa en algunos sectores fragmentos juveniles. Estas brechas afloran hacia la cima del cerro Ñahuato; en el cerro Chuchupata los afloramientos de este tipo de roca presentan una mayor extensión.



Foto 4: Brecha freatomagmática matriz soportada, presencia de fragmentos de hasta 5mm, alterada a sílice granular compacta.

Brecha Hidrotermal

Las brechas hidrotermales están relacionadas íntimamente con la mineralización de Au, en el área de Iñahuato presentan rumbo N60°-70°O con buzamiento 80°S. Este sistema de brechas puede ser reconocido en superficie a lo largo de 300m, entre las cotas 3570 a 3750. Estas rocas fuertemente silicificadas pueden ser de protolito andesítico, con textura porfirítica remanente; o presentar un protolito de brecha freatomagmática, en el que se aprecian fragmentos subangulosos a subredondeados, lixiviados por tramos, con cavidades subredondeadas rellenas con limonitas pardas. Este sistema de brechas presenta valores que van desde 0.4 g/t Au.

En el cerro Chucchupata, el sistema N70°E es el que trae la mineralización principal, sus afloramientos están ubicado en el sector Este, aquí se puede reconocer claramente la brecha hidrotermal que corta toda la secuencia litológica, las características son similares a las brechas de Iñahuato, con mayor cantidad de limonitas en la matriz.



Foto 5:(A) Brecha hidrotermal alterada a sílice granular moderada con protolito andesítico. (B) Brecha hidrotermal con presencia de fragmentos polimícticos alterada a sílice granular compacta.

Plano 5. Plano de litología

3.11.2 Alteración

Chucchupata e Iñahuato presentan importantes zonas de alteración hidrotermal, en ambas áreas, el zonamiento de alteración es marcado hacia el sur de Iñahuato como una franja continua que va hasta el flanco oeste de Chucchupata; las franjas de alteración argílica avanzada están rodeando las franjas silíceas. En las zonas argílicas avanzadas hay una predominancia del tipo cuarzo-alunita, con intervalos discontinuos del tipo cuarzo-caolín. Las zonas argilizadas y propilitizadas comprenden las partes topográficamente más bajas. Hacia el norte el zonamiento también está presente pero en menor magnitud que hacia el sur, con franjas de alteración silícea y argílica avanzada menos extensas y con amplias zonas argílicas, propilitizadas y de rocas inalteradas.

Sílice Masiva

Este tipo de alteración presenta distintos tipos de sílice masiva, en afloramientos se ha podido reconocer un pequeño cuerpo hacia la ladera sur del C° Iñahuato. En las perforaciones han podido ser reconocida asociada a estructuras de brecha hidrotermales clasto a matriz soportadas, se aprecian hasta dos generaciones de sílice que la alteran, las cuales van de sílice masiva gris en los fragmentos levemente fracturados, finalmente se presenta un evento de sílice crema en bandas. Esta alteración también puede ser apreciada en campo y perforación asociada a andesitas obliteradas grises.



Foto 6: (A) Andesita alterada a sílice masiva. (B) Brecha hidrotermal con OxFe diseminados alterada a sílice masiva.

Sílice Granular

Se presenta como sílice sacaroidea de una tonalidad grisácea, en el área de estudio es la alteración que presenta mayor desarrollo, además se observan rocas con textura vuggy silica en la cual la matriz presenta sílice microgranular, sacaroidea, de tono gris claro.

Esta alteración ha sido dividida en tres tipos, teniendo en cuenta su grado de compactación, es así que se tiene sílice granular compacta, sílice granular moderada y sílice granular deleznable.

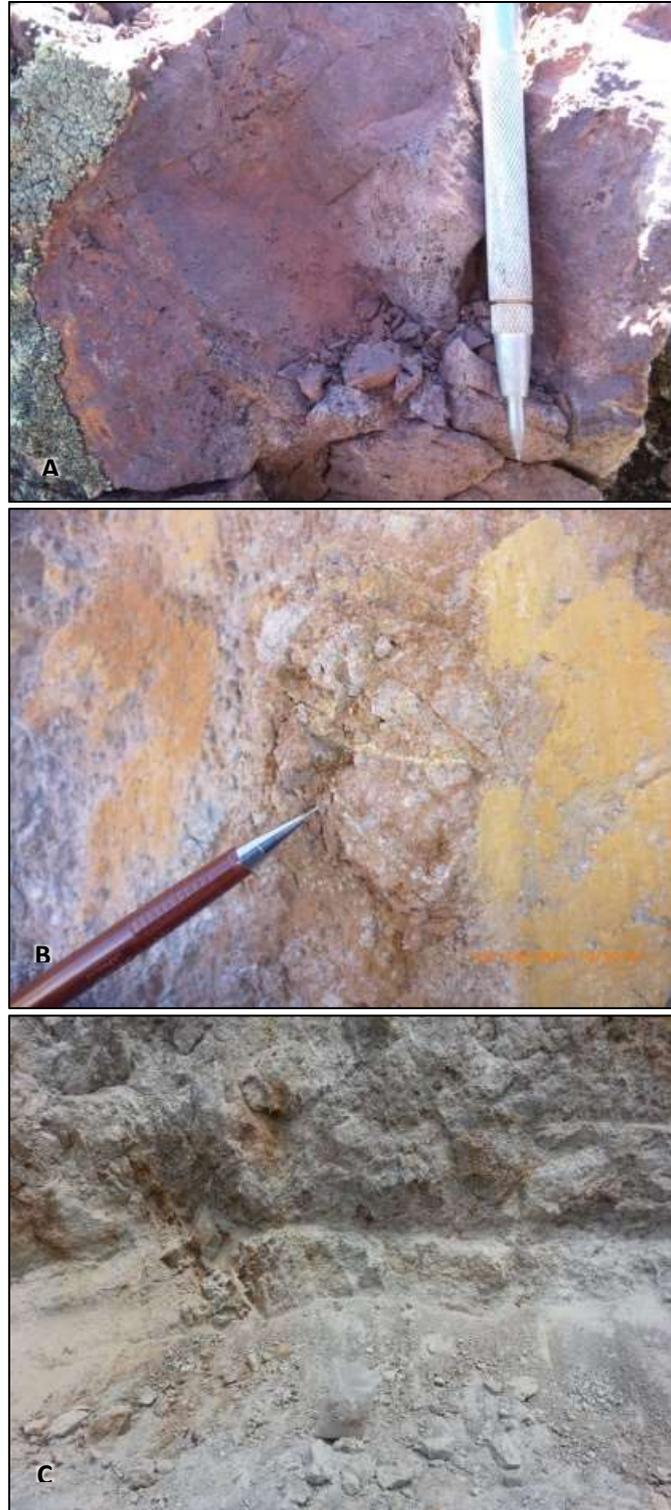


Foto 7: (A) Brecha hidrotermal alterada a sílice granular compacta. (B) Brecha con $OxFe$ diseminados con alteración sílice granular moderada. (C) Brecha freatomagmática con fragmentos polimícticos alterada a sílice granular deleznable.

Sílice Alunita

Predomina el ensamble cuarzo alunita. Se localiza en la parte oeste y sur del C° Ñahuato y en puntuales afloramientos hacia el SO del C° Chucchupata. La alunita se presenta como finos granos, de color blanco a crema amarillento, relleno de cavidades de fenocristales de lavas lixiviadas u obliterando la textura original de la roca como alunita de grano fino y de aspecto terroso, entrecrecida con sílice microgranular. Texturas tipo parche han sido reconocidas en los tufos y brechas afectados por esta alteración.



Foto 8: Tufo en C° Chucchupata alterado a sílice alunita, roca deleznable de tono blanquecino.

Sílice Clay

Se localiza en los extremos de los cerros Ñahuato y Chucchupata, casi exclusivamente se encuentra afectando a las andesitas que se encuentran en la base de la secuencia litológica. Al estar asociada a zonas de menor temperatura las ubicamos en la parte baja del yacimiento y en las partes altas y distantes de los centros de alteración.



Foto 9: Andesita con alteración sílice clay y óxidos de hierro en fracturas.

Clay

La asociación caolín–arcillas grises se localiza en los flancos Este y Norte de Chucchupata afectando a lavas andesíticas; y hacia el este en Iñahuato donde se afecta de igual manera principalmente a lavas andesíticas.



Foto 10: Andesita de tono blanquecino con alteración clay.

Plano 6. Plano de alteración hidrotermal

3.11.3 Geología Estructural

En los cerros Chucchupata e Ñahuato, empleando los resultados de la geoquímica de superficie se identificaron aquellas zonas con altas leyes de Au, posteriormente se realizaron estaciones estructurales que permitieron determinar las direcciones de los controles de mineralización de la zona de interés.

Es importante señalar que los lineamientos estructurales principales, más antiguos y dominantes son los andinos.

Las orientaciones de las estructuras de brechas hidrotermales y fracturas en Ñahuato tiene rumbo N60°-70°O/70°-80°S; otros sistemas son: N40°E, N80°E y N5°O a N25°O, transversales a las anteriores y posiblemente posteriores a éstas, los que afectan los sectores norte y sur de esta área.

En Chucchupata, se ha podido reconocer hasta 4 sistemas, las brechas en este sector tienen un rumbo N70°E, otros sistemas reconocidos son, N60°O, N85°E y N-S, todos subverticales.

Hacia la Quebrada entre el C° Chucchupata e Ñahuato se ha observado canales discontinuos de brecha tectónica de rumbo N20°E, que al parecer controla este rasgo fisiográfico y que constituye su límite físico. En el abra se ha observado fracturas que guían la alteración pasando de dirección NE en el flanco este de Chucchupata, a EO en plena abra, y luego a dirección N30°E.

Plano 7. Plano estructural

3.12 MINERALIZACIÓN

Según los análisis reportados por laboratorio químico, se ha podido determinar que los valores de oro están asociados principalmente a estructuras de brechas hidrotermales, también a tufos de lapilli y brechas silicificadas, con fragmentos de sílice gris y sílice microgranular gris clara en matriz consolidada a levemente lixiviada y frecuente ocurrencia de una sílice gris oscura.

Los minerales reconocidos son:

Limonitas ($\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$)

Se presentan principalmente en las zonas de brechas, en forma de venillas o como finas diseminaciones, rellenando cavidades o como cemento de la brecha (clasto-soportada); presenta tono pardo oscuro a naranja, con abundancia de hasta 15%.

Hematita (Fe_2O_3)

Su ocurrencia es frecuente en las zonas de silicificación masiva compacta, craquelada y de aspecto brechoso, rellenando fracturas con abundancias de hasta un 3%.

Pirita (FeS_2)

Observada como finas diseminaciones y ligada a zonas argílicas; llega a alcanzar hasta un 10%.

Baritina (BaSO_4)

Se presenta como agregados granulares, asociada a venillas de sílice gris clara que cruzan zonas argilizadas en Chucchupata; en Iñahuato, se encuentra rellenando fracturas y cavidades en tufos finos con sílice granular, o en la caja de brechas hidrotermales silicificadas y lixiviadas.

Escorodita ($\text{Fe}^{3+}\text{AsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Su ocurrencia es escasa, y se encuentra como impregnaciones de color verde limón.

Azufre (SO_2)

Se presenta en trazas como finos granos anhedrales, rellenando cavidades en las zonas de brecha con alteración sílice lixiviada o en rocas porfiríticas lixiviadas.

3.13 GEOQUÍMICA DE Au SUPERFICIE

Como parte de los primeros trabajos de exploración en Ancos se ha realizado una campaña de muestreo de superficie. Se han logrado extraer en la actualidad un total de 2399 muestras con las cuales se definieron los primeros sectores a perforar.

Au: Se muestran dos anomalías bien marcadas de valores superiores a 0.20 g/t Au en los Cerros Ñahuato y Chucchupata. El 40% de las muestras tiene valores > 0.1 g/t Au. Los valores mayores a 0.40 g/t Au están asociados a la presencia de brechas alteradas a sílice granular y sílice vuggy. Además, se han localizado 2 nuevas anomalías geoquímicas al S y SO del C° Chucchupata.

La anomalía de Ñahuato es de aproximadamente 500 x 250 m mientras que la del Chucchupata es de 500 x 300 m, los valores más consistentes se encuentran en Ñahuato, esto se debe a que en este sector las brechas hidrotermales son más potentes que en Chucchupata, sin embargo, en este último las brechas son mucho más continuas en profundidad.

Ag: Es el elemento que mejor correlaciona con el Au, se presenta en la brecha freatomagmática con valores con rangos entre 0.4 a 7 ppm.

As: Asociado a la brecha freatomagmática, principalmente, con valores entre 100 a 28600 ppm.

Bi: No tiene un control litológico ni estructural definido; en la brecha freatomagmática alcanza valores entre 15 a 1330 ppm.

Pb: Tiene sus mayores concentraciones en los bordes de los centros de mineralización de Au, donde alcanza valores entre 200 y 4960 ppm; en los focos de mineralización predominan los valores entre 30 y 200 ppm.

Cu: Alcanza las mayores concentraciones en el borde de los focos de mineralización, donde fluctúa entre 100 y 923 ppm; dentro de los focos, sus leyes están en el rango de 50 a 100 ppm.

Mo: Los valores más altos están asociados a la silicificación con craquelamiento, con un característico color gris violáceo, y fluctúan entre 30 y 1845 ppm.

Plano 8. Plano de geoquímica de superficie

3.14 PERFORACIÓN

Previamente se contaban con 51 taladros de Aire Reverso (RC) ejecutadas por la empresa Santa Bárbara.

La primera fase de perforación se realizó con perforación Diamantina (DDH), realizando taladros gemelos con el objetivo de poder corroborar la información brindada por Santa Bárbara, se obtuvo un muy buen contraste de leyes para los taladros.

La segunda etapa se realizó perforaciones con DM-45, pudiéndose perforar taladros de hasta 134 m de profundidad.

De los resultados de la campaña de perforación se ha podido definir la existencia de dos niveles de mineralización muy bien definidos en el área de Ancos. El primer nivel se encuentra a 3670 msnm y el segundo se ubica a 3560 msnm. El nivel de mineralización ubicado a 3670 msnm en el C° Ñahuato no ha sido ubicado, esto se debería a que probablemente este nivel ha sido erosionado.

En el C° Chucchupata se han localizado los dos niveles mineralizados, sin embargo, en las secciones se puede apreciar que los taladros perforados con DM-45 ubicados en la parte central del cerro no cortan el nivel mineralizado 3560 msnm, lo que deja completamente abierta la posibilidad de continuar perforando con taladros DDH con la finalidad de poder ampliar el cuerpo de Au.

Uno de los buenos resultados obtenido en la campaña de perforación es el hecho de que se han cortado valores de Au altos en la parte baja de C° Chucchupata, asociado a la presencia de Andesita, esto ha ampliado considerablemente las reservas.

3.15 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para el tratamiento de datos se empleó la información recopilada en campo; se realizó un cartografiado 1/2000, que fue plasmado en folios y planos, posteriormente se realizó una interpretación de litología, alteración y estructural de la zona de interés.

Se ha empleado la información de logueo de las campañas de perforación realizadas en Ancos; se realizaron 51 taladros de RC, 4 taladros DDH y 176 taladros DM. En una segunda etapa se realizó el relogueo de los taladros ejecutados con la finalidad de generar los modelos geológicos en 3D.

Además, para la realización del modelo de Au se emplearon los resultados 2399 muestras de geoquímica de superficie muestras y 14229 muestras de sondajes de perforación.

El tipo de análisis aplicado en la investigación es descriptivo e inferencial, debido a que a partir de la información de cartografiado y la data de relogueo obtenida se podrá determinar los mecanismos implicados en la mineralización del proyecto Ancos.

Los resultados serán presentados mediante secciones, así como planos de litología, alteración, estructuras, geoquímica de superficie; de los resultados obtenidos y mediante la interpretación de los modelos geológicos y de oro se podrá determinar los controles de mineralización en el área de estudio.

3.15.1 Descripción de las herramientas y programas utilizados

El equipo empleado en campo para el cartografiado fueron: imágenes satelitales, tablero para cartografiado, lápices de color, picota, lupa, brújula, Navegador GPS Garmin 62s.

Para el muestreo geoquímico de superficie se necesitó de bolsas de muestro, etiquetas, rotulador, picota.

El equipo utilizado para el procesamiento de la información obtenida en campo se empleó los siguientes programas:

ArcGis 10.3

Software para la visualización, creación, manipulación y gestionamiento de información geográfica. Se empleó para la generación de planos de ubicación, geología, geoquímica y otros.

Leapfrog

Software de modelamiento geológico en 3D, permitirá la generación de los modelos geológicos. Ha sido empleado la generación de modelos geológicos y de Au.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En campo se realizaron estaciones estructurales en los cerros Ñahuato y Chucchupata, en los sectores de brechas hidrotermales, se asocia la mineralización a este tipo de roca, en el cerro Chucchupata se identifica que las brechas hidrotermales presentan un rumbo N60°-70°O/70°-80°S y en el cerro Ñahuato dichas brechas tienen un rumbo N70°E.

Para la generación de modelos geológicos y del cuerpo de oro, se hace uso del software Leapfrog. Posteriormente se realizó una combinación de modelos de cuerpo de Au y litología; cuerpo de Au y brechas; mediante secciones se logró identificar controles de la mineralización.

4.1.1 Control litológico

Los trabajos de campo realizados en el área de estudio, cartografiado y logeo de los testigos de perforación, permitieron la generación del modelo litológico 3D empleando el software Leapfrog Geo. Una sección realizada en el cerro Chucchupata nos permitirá revisar las diferentes litologías presentes en la zona de interés.

Se aprecian niveles de andesita de tonalidades grises a blanquecinas, que fueron fuertemente afectadas por un evento de brechas freatomagmáticas, este evento favoreció el emplazamiento posterior de brechas hidrotermales, que han sido asociadas al evento mineralizante. En la sección del cuerpo de Au se identifican sectores con leyes de oro mayores a 1.0 g/t Au.

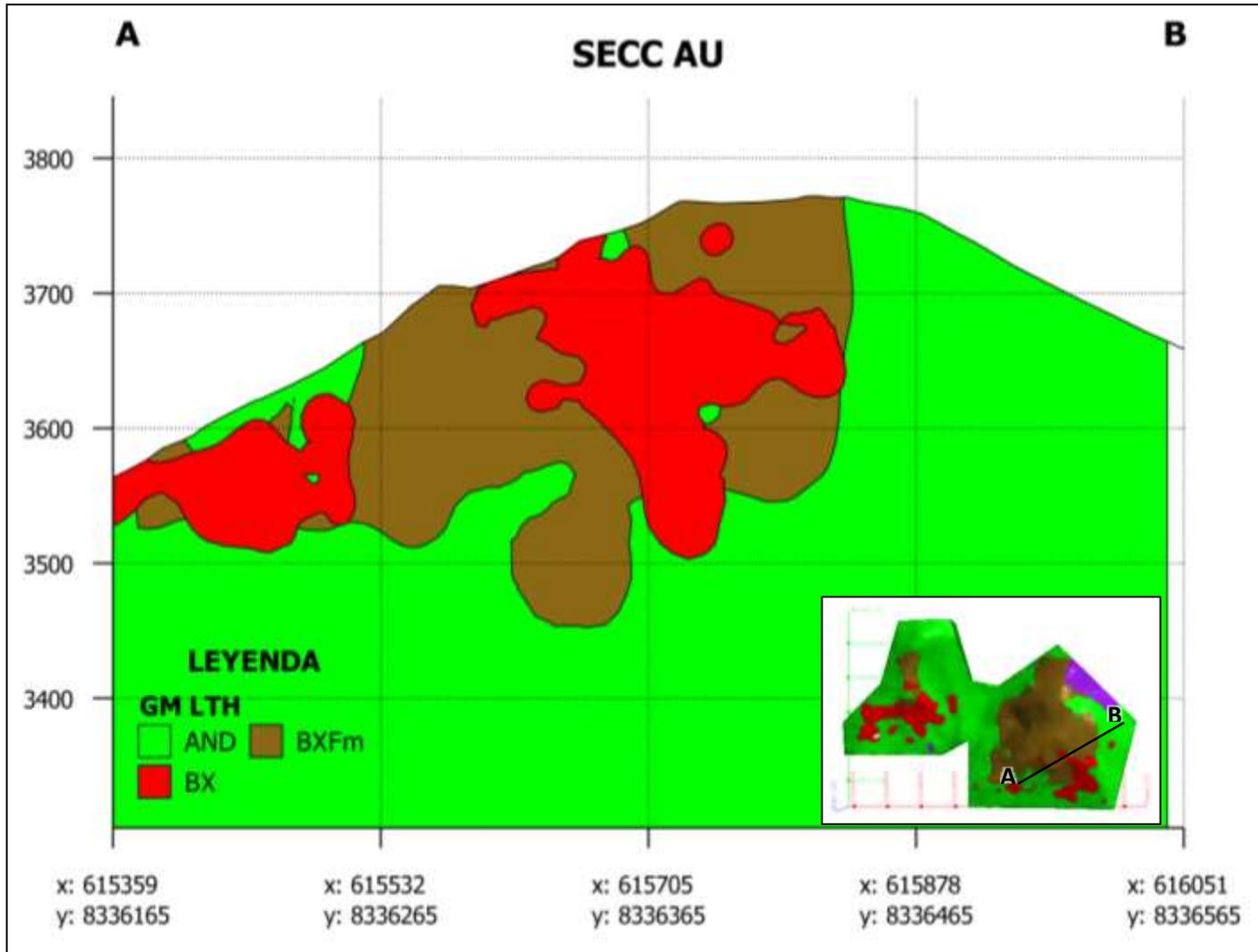


Figura 10: Sección representativa del modelo litológico del C° Chucchupata. Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565

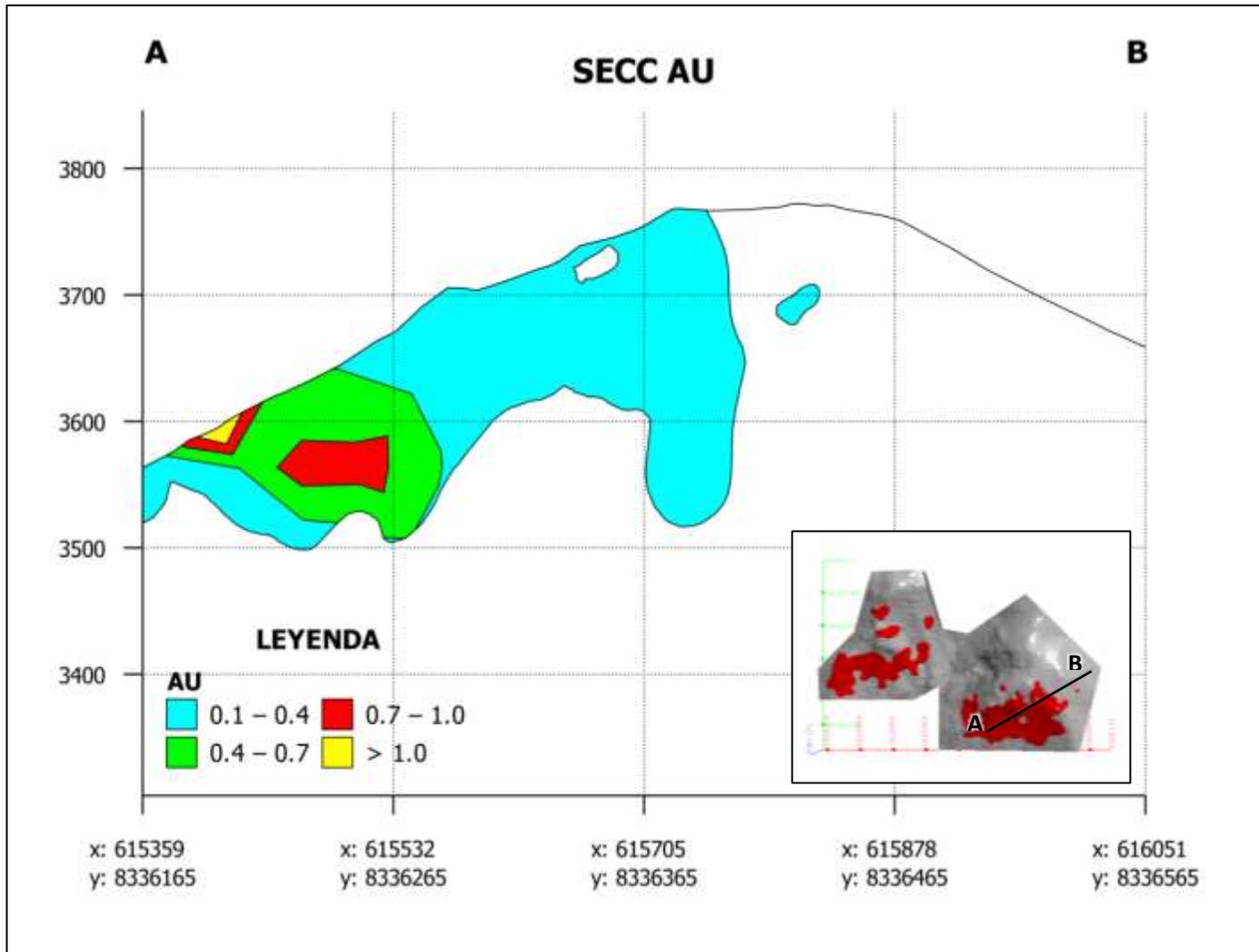


Figura 11: Sección representativa de Au del C° Chucchupata. Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565

Andesita

En el área de estudio se han identificado lavas de composición andesítica que en superficie presentan valores de interés, en campo se logró identificar que estas rocas presentan tramos levemente brechados ya que han sido caja de las brechas hidrotermales, esto sumado a la porosidad de la roca a determinado la mineralización de esta roca.

Este tipo de litología presente leyes altas de Au, mayores a 1.0 g/t Au, en sectores cercanos a brechas hidrotermales.

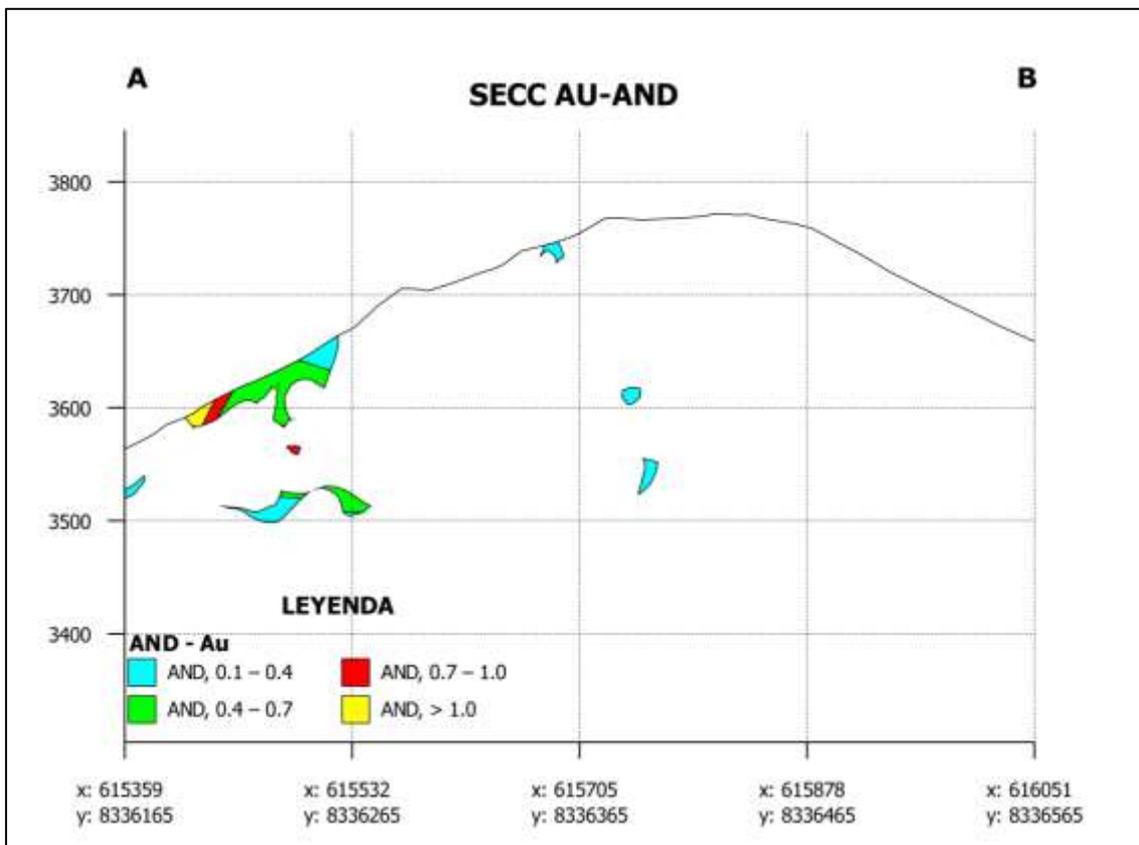


Figura 12: Sección representativa de Au vs Andesita del C° Chucchupata. Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565

Brecha Freatomagmática

Posteriormente a la secuencia de lavas, se presentan las brechas freatomagmáticas, que han cortado a los niveles de andesita, también se encuentra que estas brechas freatomagmáticas han sido caja de las brechas hidrotermales.

Los trabajos de campo indican que la mineralización no está directamente relacionada con estas brechas, pero proporcionaron una roca huésped adecuadamente fracturada para fluidos de mineralización posterior; en este tipo de rocas se encuentran sectores con un rango de ley de 0.7 – 1.0 g/t Au.

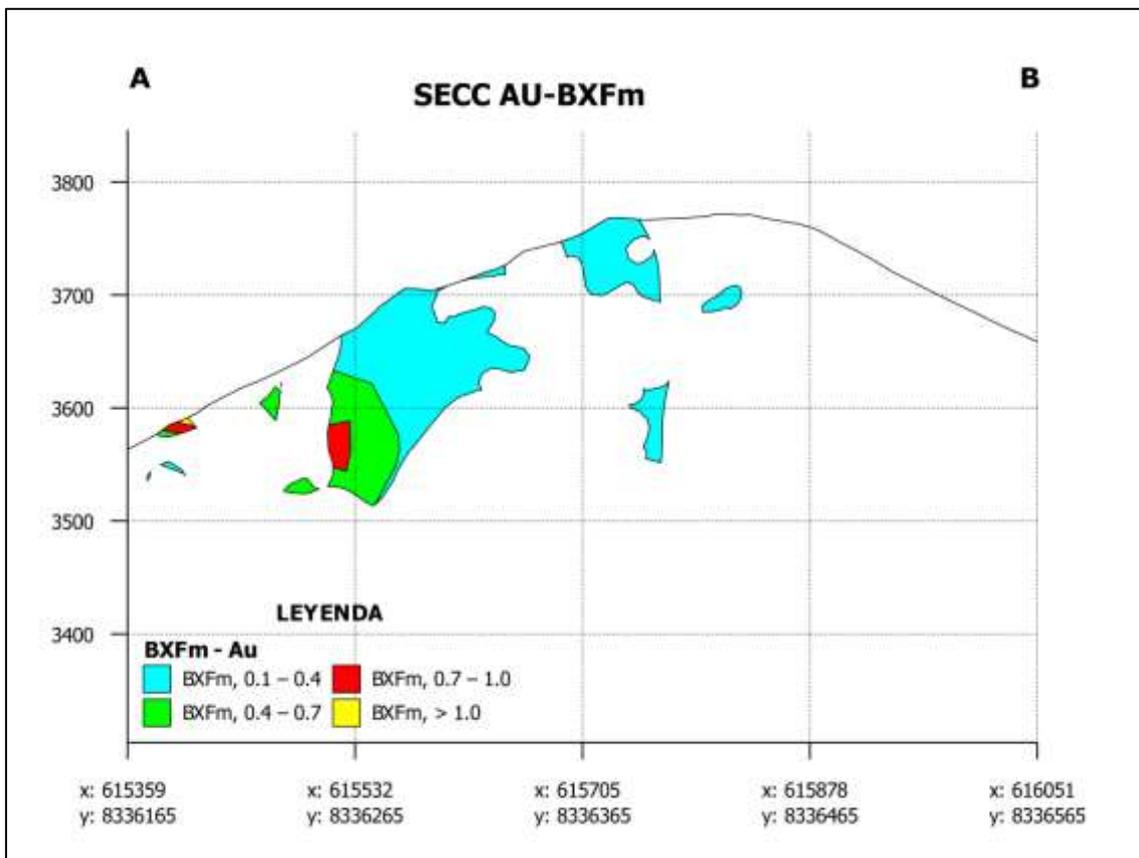


Figura 13: Sección representativa de Au vs Brecha Freatomagmática del C° Chucchupata. Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565

Brecha Hidrotermal

Las brechas hidrotermales se presentan cortando todo el sistema, se presentan brechas hidrotermales con un protolito de andesita y de brechas freatomagmáticas; en el contacto de estas brechas con la roca caja se ha identificado un halo de alteración en el que se evidencia fluidización.

Los trabajos de campo permitieron determinar que estas estructuras trajeron consigo la mineralización y que ha sido diseminada a la roca caja (brecha freatomagmática y andesita); esto es corroborado por las leyes de Au, en esta sección se aprecian leyes con rangos entre 0.7 – 1.0 g/t Au.

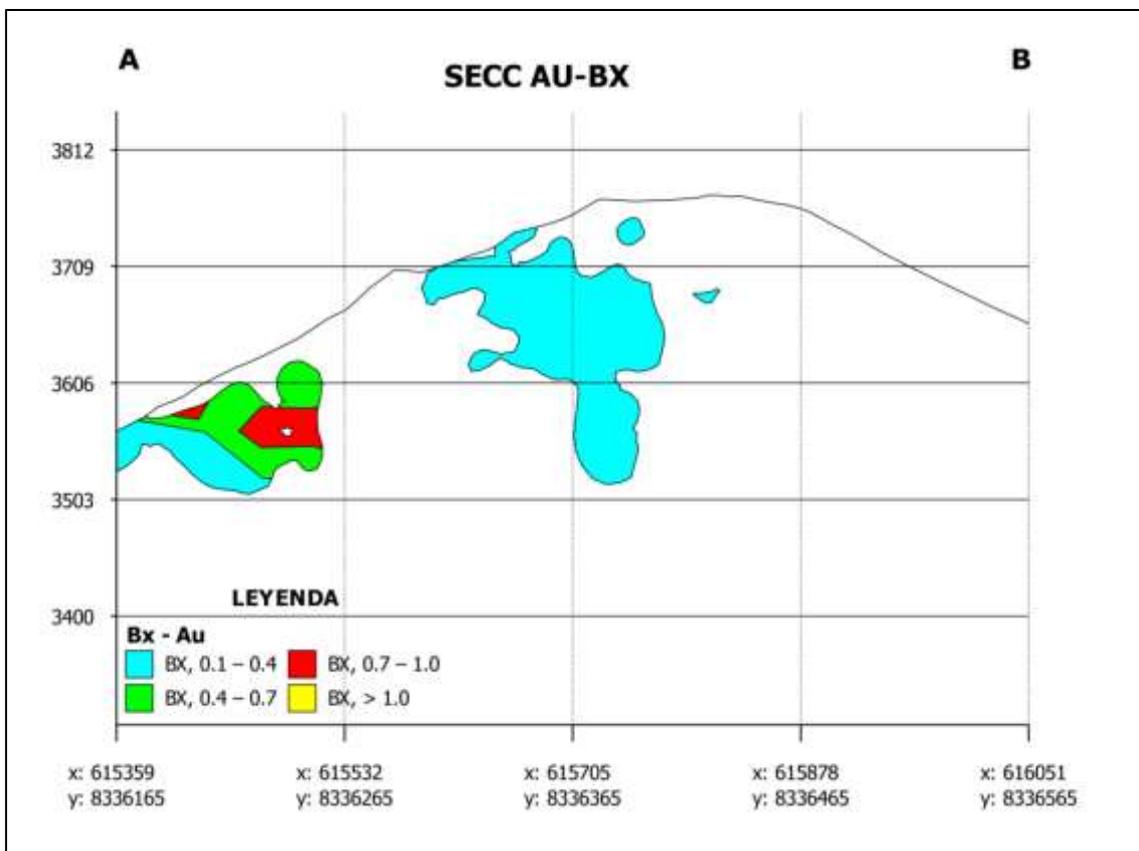


Figura 14: Sección representativa de Au vs Brecha Hidrotermal del C° Chucchupata.
Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565

4.1.2 Control de alteración hidrotermal

Sílice masiva

La sílice masiva se presenta en campo y testigos de perforación como una sílice cerrada que no ha permitido el paso de fluidos hidrotermales, en profundidad se observa que si bien se encuentra mineralizada, está asociada a una ley baja de 0.1 – 0.4 g/t Au.

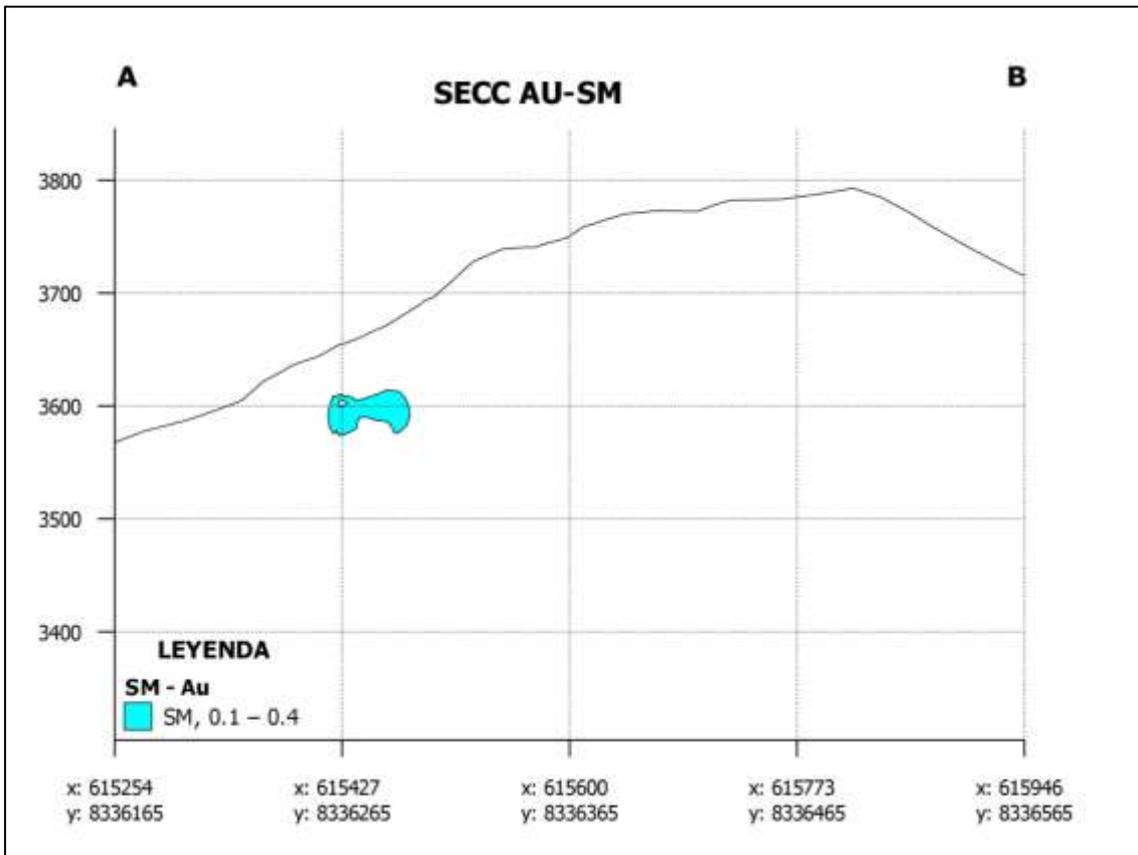


Figura 15: Sección representativa de Au vs Sílice Masiva del C° Chucchupata.
Ubicación A: 615254,8336165/ B: 615946,8336565

Sílice granular

La sílice granular presenta un mayor desarrollo dentro del proyecto, la sección permite identificar un alto rango de leyes, a la sílice granular se asocia las leyes altas de Au, se tienen leyes mayores a 1.0 g/t Au. Esta alteración puede ser encontrada en andesitas, brechas freatomagmáticas y brechas hidrotermales.

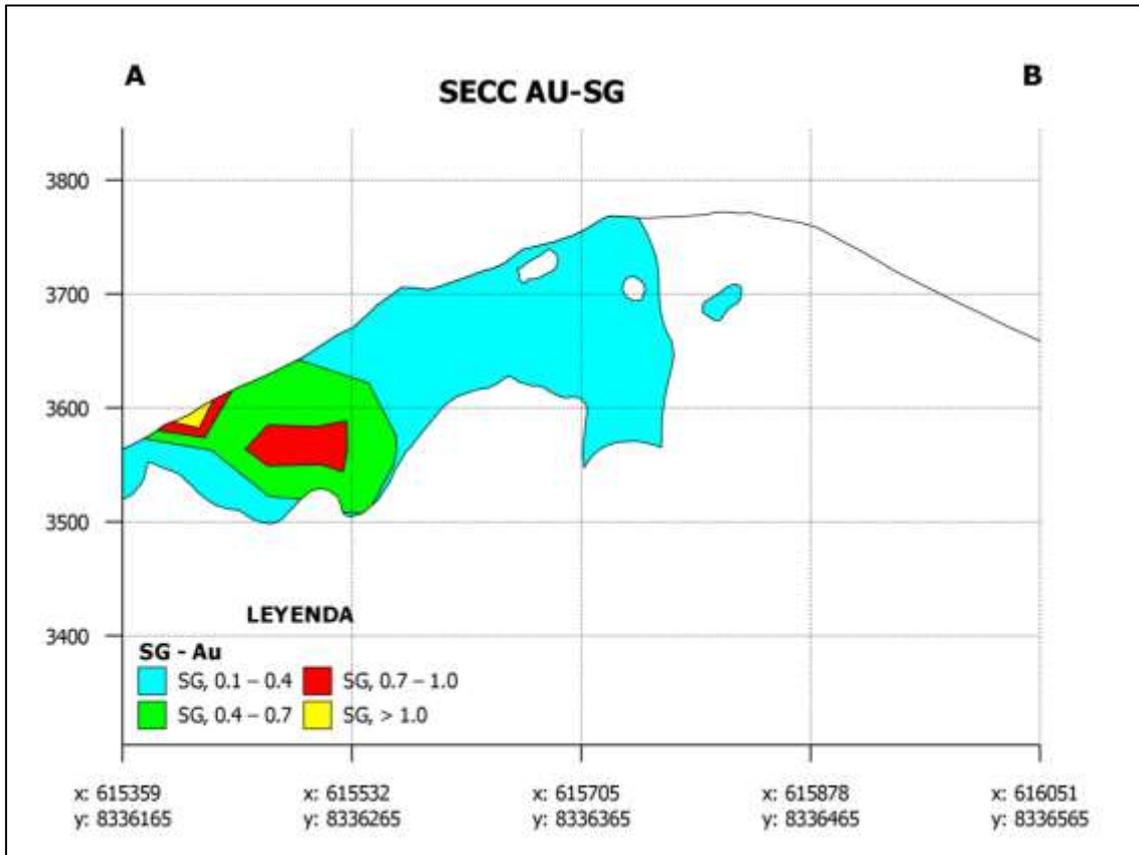


Figura 16: Sección representativa de Au vs Sílice Granular del C° Chucchupata.
Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565

Sílice alunita

Representado por el ensamble cuarzo-alunita, este tipo de alteración bordea la silicificación, esta alteración presenta una mayor desarrollo en el cerro Ñahuato, se observa que en profundidad presenta mineralización; sin embargo su ley es baja, que oscila entre 0.1 – 0.4 g/t Au.

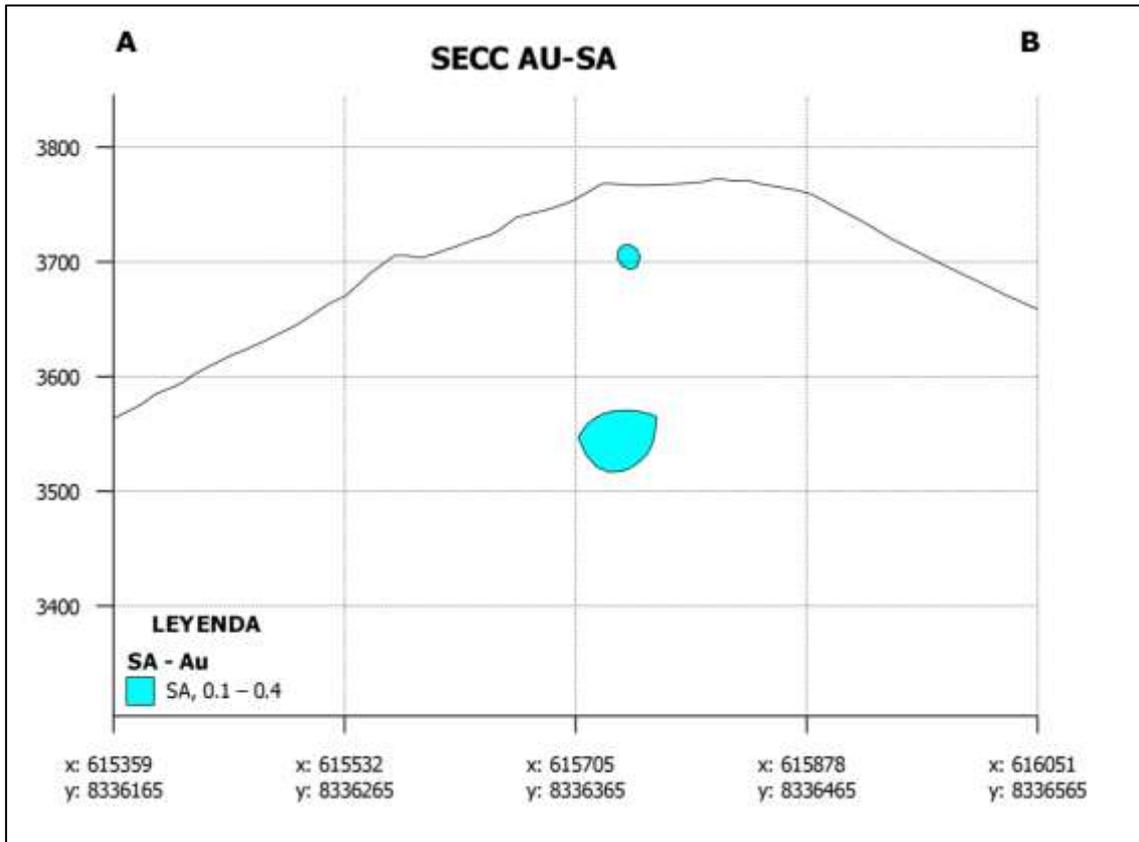


Figura 17: Sección representativa de Au vs Sílice Alunita del C° Chucchupata.
Ubicación A: 615359,8336165/ B: 616051,8336565

Sílice clay

La alteración sílice clay presenta sectores con mineralización en mayor proporción en el C° Iñahuato, se puede apreciar en la sección que está asociada a leyes bajas de Au, que van de 0.1 – 0.4 g/t Au.

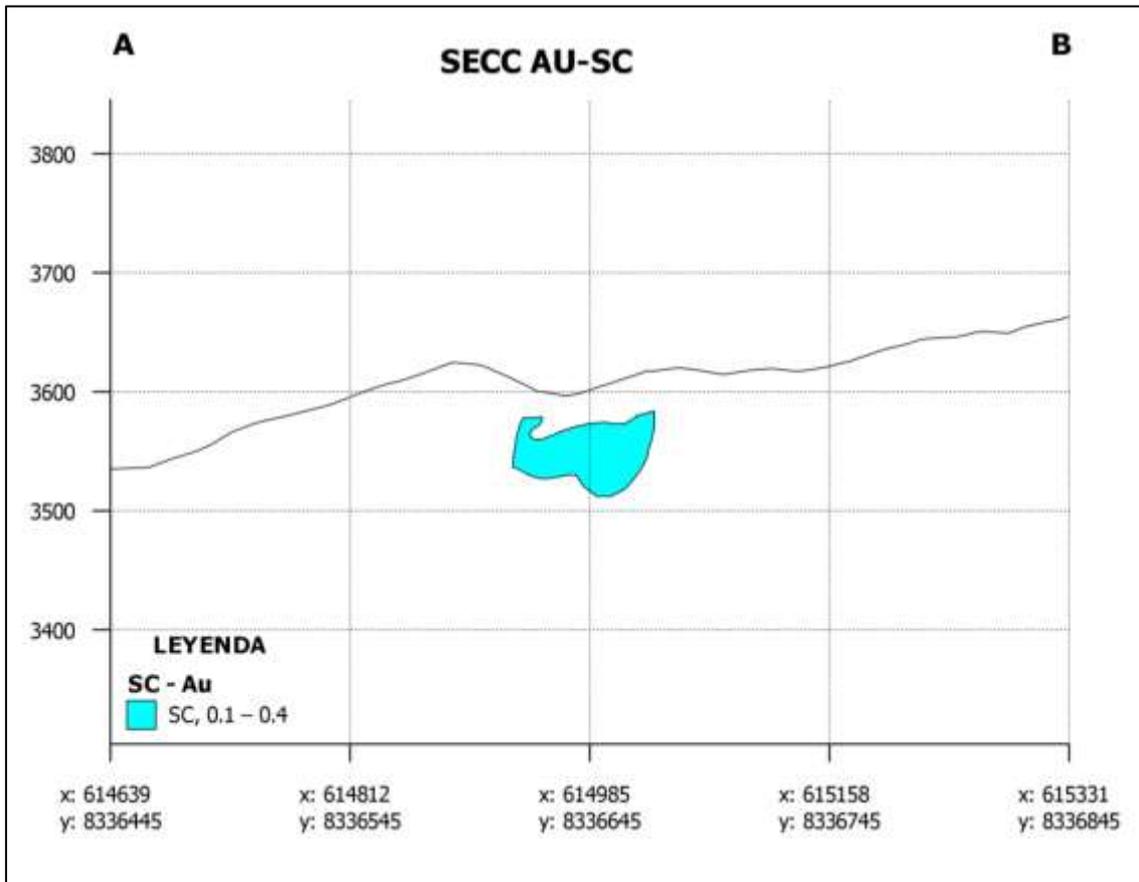


Figura 18: Sección representativa de Au vs Sílice Alunita del C° Iñahuato. Ubicación A: 614639,8336445/ B: 615331,8336845

4.1.3 Control estructural

Sistema de fallamiento N35E

En el sector de alta ley de brechas hidrotermales del cerro Ñahuato con coordenadas E: 614750/N: 8336545, se buscó identificar el rumbo de dichas brechas como control estructural en este sector.

Este sistema de fallamiento normal está asociado a las estructuras de sílice y brechas hidrotermales que son las que presentan mejor mineralización de oro. El esfuerzo principal presenta un rumbo NO/SE.

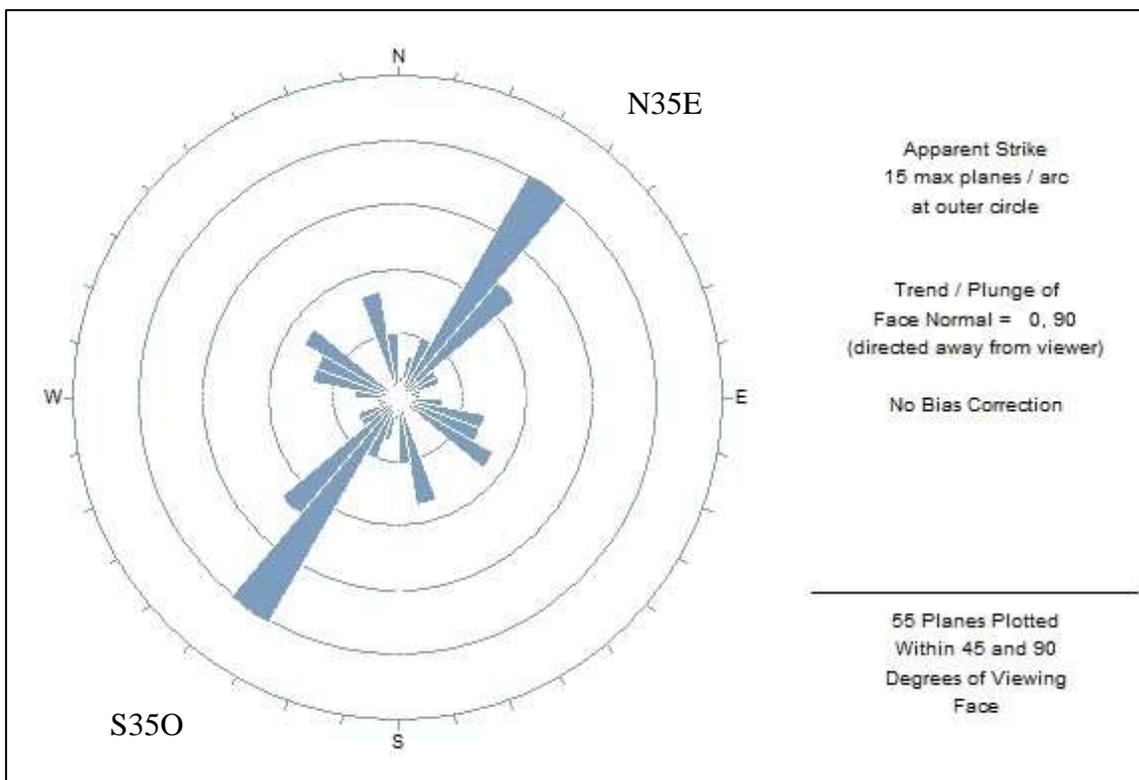


Figura 19: Estación estructural C° Ñahuato, esfuerzo principal con rumbo NO/SE.

En Chucchupata, se reconocer un sistema con rumbo NE/SO siendo este el sistema principal.

ESTACIÓN					
PTO	ESTE	NORTE	COTA	AZIMUTH	BUZAMIENTO
1	614750	8336545	3545	343	58
2	614727	8336547	3542	241	76
3	614742	8336540	3550	42	89
4	614750	8336527	3527	206	31
5	614717	8336530	3530	18	80
6	614740	8336535	3531	271	22
7	614701	8336540	3514	219	70
8	614752	8336544	3516	342	75
9	614720	8336545	3515	247	76
10	614727	8336547	3540	235	64
11	614700	8336552	3542	211	74
12	614772	8336560	3520	333	68
13	614753	8336558	3541	219	56
14	614749	8336550	3542	219	72
15	614753	8336551	3517	357	84
16	614711	8336570	3523	343	88
17	614715	8336578	3530	129	86
18	614728	8336582	3536	49	84
19	614751	8336543	3535	305	44
20	614779	8336550	3517	204	60
21	614751	8336527	3519	274	76
22	614750	8336536	3520	196	37
23	614728	8336539	3517	314	7
24	614714	8336542	3541	212	63
25	614746	8336541	3537	309	6
26	614753	8336559	3548	202	37
27	614762	8336563	3550	301	7
28	614755	8336574	3554	4	76
29	614742	8336586	3561	285	55
30	614720	8336591	3539	27	84

Tabla 3: Datos de estructuras medidas en terreno, en total 30 datos.

Sistema de fallamiento N45O

En el sector con mayor exposición de brechas hidrotermales con alta ley del cerro Chucchupata con coordenadas E: 615725/N: 8336270, se identifica el rumbo de las brechas como control estructural para la mineralización en el sector.

El esfuerzo principal presenta un rumbo NE/SO en donde se han desarrollado las principales estructuras con mineralización económica de oro.

ESTACIÓN					
PTO	ESTE	NORTE	COTA	AZIMUTH	BUZAMIENTO
1	614512	8336540	3520	311	61
2	614519	8336523	3527	305	64
3	614527	8336517	3532	355	68
4	614532	8336529	3542	35	70
5	614539	8336536	3535	49	82
6	614541	8336541	3527	100	79
7	614540	8336539	3521	18	78
8	614552	8336518	3517	224	59
9	614561	8336527	3536	284	83
10	614554	8336561	3541	293	79
11	614559	8336553	3542	311	83
12	614555	8336570	3539	286	82
13	614517	8336518	3547	296	84
14	614529	8336529	3518	344	45
15	614523	8336563	3517	334	51
16	614536	8336557	3517	329	59
17	614541	8336542	3526	94	82
18	614554	8336540	3531	316	52
19	614527	8336561	3534	319	40
20	614562	8336527	3539	304	84
21	614514	8336532	3543	76	82
22	614541	8336539	3553	134	55
23	614526	8336545	3516	326	48
24	614517	8336549	3627	301	82
25	614525	8336531	3500	271	50
26	614536	8336525	3506	276	34
27	614517	8336526	3511	296	42
28	614514	8336519	3514	293	64
29	614522	8336541	3512	310	69
30	614529	8336527	3516	305	36

Tabla 4: Datos de estructuras medidas en terreno, en total 30 datos.

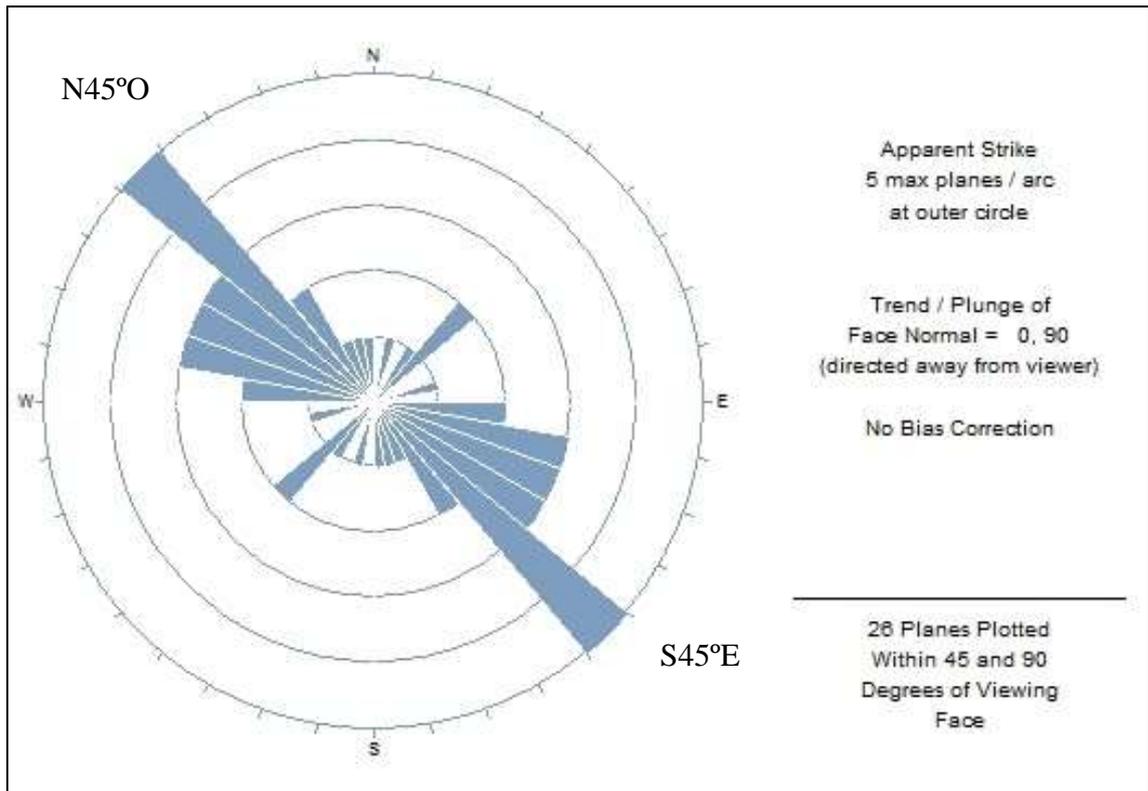


Figura 20: Estación estructural C° Chucchupata, esfuerzo principal con rumbo NE/SO.

4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En la hipótesis se plantea que los controles de mineralización que condicionan la ocurrencia de oro en el Proyecto Ancos, están asociados a la litología, estructural y alteración hidrotermal.

La presente investigación permitió demostrar que son las brechas hidrotermales con diseminación de óxidos las que presentaron, en superficie, altas leyes de oro, información que fue corroborada a profundidad por los sondajes ejecutados. Estas brechas hidrotermales han generado un halo de alteración y la mineralización ha diseminado a la roca caja (andesitas y brechas freatomagmáticas).

En la alteración hidrotermal tanto la geoquímica de superficie como la leyes de los sondajes ejecutados, determinan que la zona silicificada (sílice masiva y sílice granular), argílica avanzada y argílica presentan mineralización; sin embargo es en la alteración sílice granular en donde se puede identificar altas leyes de Au, por lo cual esta alteración vendría a ser guía para la mineralización de oro.

Al identificarse que la mineralización viene asociada a las brechas hidrotermales que cortan a todo el sistema, se realizaron en las zonas de alta ley en superficie estaciones

estructurales que permitieron identificar los sistemas de fallamiento en el proyecto. En el cerro Chuchupata se tiene un sistema principal asociado a la mineralización con rumbo NE/SO; en el cerro Iñahuato los esfuerzos principales ligados a la mineralización presentan rumbo NO/SE.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El tipo de litología que controla la mineralización en el yacimiento son las brechas hidrotermales que en superficie y en profundidad, por los sondeos ejecutados presentando altas leyes de oro. Las brechas hidrotermales han generado un halo de alteración y la mineralización ha diseminado a la roca caja, mineralizando a las andesitas y brechas freatomagmáticas.
- El tipo de alteración hidrotermal que controla la mineralización es la zona silicificada, es en la alteración sílice granular en donde se puede identificar altas leyes de au; las alteraciones sílice masiva, sílice alunita y sílice clay presentan leyes bajas de oro.
- En los sectores de alta ley de brechas hidrotermales en los cerros Chucchupata e Ñahuato se realizaron estaciones estructurales, en el cerro Ñahuato se identificó un Sistema de fallamiento N35°E y en el cerro Chucchupata el sistema de fallamiento es N45°O, siendo estos sistemas los que permitieron el emplazamiento de la mineralización

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa APUMAYO S.AC. emplear los criterios presentados en la siguiente investigación para la búsqueda de nuevos targets de exploración.
- Realizar una campaña de muestreo de roca para análisis petrográfico y de TerraSpec como trabajo complementario a la investigación, permitirá una mejor interpretación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arribas, A., (1995). Characteristics of high sulphidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid: Mineralogical Association of Canada Short Course Vol. 23, p.419-443.
- Arribas, A., Cunningham, C., Rytuba, J., Rye, R., Kelly, W., Mckee, E., Podwysocky, M. and Tosdal, R. (1995a): Geology, geochronology, fluid inclusions, and isotope geochemistry of the Rodalquilar Au-alunite deposit, Spain: Economic Geology, p. 90.
- Arribasplata, D., (2016). Modelo genético del proyecto los mantos, provincia de Aconcagua- Región De Valparaíso- Chile: Universidad Nacional De Cajamarca, p. 1-72.
- Dávila, J. 2011. Diccionario geológico: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima – Perú, p. 263-638.
- Díaz, M., (2012). Geología, alteración y mineralización aurífera en El Proyecto San Antonio, Franja Chañarillo, Región de Atacama Universidad de Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, p. 1-8.
- Hedenquist, J. and Lowenstern, J., (1994). The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits: Nature, v. 370, p. 519-527.
- Hedenquist, J., (2004). Late Miocene high-sulphidation epithermal gold deposits of the Aruntani district, southern Peru: Recent discovery of a new ore type in an abandoned mining district. Lima.
- Lawlees, J. and White, P., (1990). Ore-related breccias: A revised genetic classification, with particular reference to epithermal deposits: New Zealand Geothermal Workshop, v. 12, p. 197-201.
- Lindgren, W., (1922). A suggestion for the terminology of certain mineral deposits: Economic Geology, v. 17, p. 292.294.
- Lindgren, W., (1933). Mineral deposits, 4th ed.: New York, McGraw-Hill, p. 930.

- Maksaev, V., (2001). Alteraciones hidrotermales: Capítulo del Curso GL 54^a Metalogénesis, p.1-14.
- Nelson, E., (2010). Structural Geology in Mineral Exploration: Colorado School of Mines, p. 9-19.
- Oblitas, M., (2012). Controles de mineralización del pórfido Au– Cu Morocha – Minas Conga, Cajamarca –Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, p 1-8.
- Olchanski, E., (1980). Geología de los cuadrángulos de Jaquí, Coracora, Chala y Chaparra, Lima.
- Oyarzún, J., (2014). Léxico de Geología Económica: Términos de uso común en España e Iberoamérica, Ediciones GEMM, p 34-35.
- Quispe, J., (2015) Determinación de los controles de mineralización del depósito de alta sulfuración Ciénaga Norte, Hualgayoc-Cajamarca: Universidad Nacional De Cajamarca, p. 1-43.
- Ramirez, Z., (2015). Determinación petrográfica y alteraciones hidrotermales asociadas a la mineralización de oro y cobre en El Proyecto Mirador, Tantauatay Cajamarca-Perú: Universidad Nacional De Cajamarca, p. 1-26.
- Ransome, F., (1907). The association of alunite with gold in the Goldfield district, Nevada: Economic Geology, v. 2, p. 667-692.
- Sánchez, O., (2016). Castañeda controles de mineralización en el sistema de vetas Sn-(Cu) Santo Domingo - proyecto Santo Domingo – Puno: Universidad Nacional Mayor De San Marcos, p. 2-5.
- Sibson, R., (1990). Faulting and fluid flow, in Nesbitt, B.E., ed., Short course on fluids in tectonically active regimes of the continental crust: Mineralogical Association of Canada, p. 93-132.
- Sillitoe, R., (1985). Ore-Related Breccias in Volcanoplutonic Arcs: Economic Geology, p. 1468.
- Stanton, R. (1972). Ore Petrology. Ed. McGraw-Hill. New York, p. 540-542.

Stoffregen, R. and Alpers, C., (1987). Woodhouseite and svanbergite in hydrothermal ore deposits: products of apatite destruction during advanced argillic alteration: *The Canadian Mineralogist*. 25, p. 201-211.

White, N. and Hedenquist, J., (1995). Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration: *Society of Economic Geologists Newsletter*, No 23, p. 1, 9-13.