

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y
METALÚRGICA**



**“CONTROLES DE MINERALIZACION DE ALTA LEY
DE ORO EN LA ZONA DE SULFUROS DEL
DEPOSITO CHAQUICOCHA, CAJAMARCA - PERU”**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR
ERICK EDUARDO EGUREN TEJEDA**

**ASESORA
Ing. NORA NELLY REVOLLE ALVAREZ**

Lima - Perú

2013

DEDICATORIA

A toda mi familia, especialmente a mi querida madre Nora, mis hermanas Karen y Nataly, por brindarme siempre su apoyo, comprensión, y consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mi padre Cesar y abuelos Oscar y Flor, aunque no estén físicamente con nosotros, sé que desde el cielo siempre me cuidan y guían para que todo salga bien.

A mi futura esposa Vanessa por brindarme su amor, confianza, apoyo incondicional y el tiempo necesario para realizarme profesionalmente.

A mi hijo Fabián por ser el motivo y la fuerza que me empuja a seguir adelante.

INDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES	
1.1 Ubicación y Acceso	14
1.2 Antecedentes y Trabajos Previos	16
1.3 Metodología	20
1.3.1 Trabajo de Campo	20
1.3.2 Trabajo de Gabinete	21
CAPÍTULO II. GEOLOGÍA REGIONAL	
2.1 Estratigrafía	23
2.1.1 Rocas Sedimentarias	25
2.1.2 Rocas Volcánicas	27
2.1.2.1 Formación Llama	27
2.1.2.2 Formación Porculla	27
2.1.2.2.1 Volcánico Yanacocha	28
2.1.2.2.2 Volcánico Regalado	29
2.1.2.3 Formación Huambos	31
2.2 Rocas Intrusivas	32
2.3 Brechas	33
2.3.1 Brecha Freática	33
2.3.2 Brecha Freatomagmática	33
2.3.3 Brecha Hidrotermal	34
2.4 Alteración Hidrotermal	34
2.4 Geología Estructural	36

2.6 Metalogenia	39
-----------------	----

CAPÍTULO III. GEOLOGÍA LOCAL

3.1 Litología	44
3.1.1 Unidad Andesita Inferior	44
3.1.2 Unidad Tufo Fino Transicional	45
3.1.3 Unidad Tufo Transicional Eutaxítico	47
3.1.4 Unidad Tufo Lítico Superior	48
3.1.5 Unidad Andesítica Superior	50
3.1.6 Brechas	50
3.1.6.1 Brechas Freáticas	51
3.1.6.2 Brechas Hidrotermales	53
3.2 Alteración Hidrotermal	54
3.2.1 Alteración Sílice Masiva	54
3.2.2 Alteración Sílice Vuggy	55
3.2.3 Alteración Sílice Granular	57
3.2.4 Alteración Argílica Avanzada	60
3.2.5 Alteración Argílica	60
3.2.6 Alteración Propilítica	61
3.3 Geología Estructural	61
3.3.1 Sistemas de Fallas	62
3.3.2 Sistemas de Fracturas	65
3.3.3 Brechas	66
3.3.4 Venillas	67
3.3.5 Análisis de Estructuras de Taladros Orientados	68
3.3.5.1 Metodología de Trabajo	69
3.3.5.2 Resultados e Interpretación	70

CAPÍTULO IV. MINERALIZACIÓN	
4.1 Eventos Geoquímicos de Mineralización	81
4.2 Secuencia Paragenética	86
CAPÍTULO V. GEOQUÍMICA	
5.1 Muestreo	88
5.2 Análisis Estadístico	89
5.2.1 Análisis de Histogramas	90
5.3 Correlación de Elementos	94
5.3.1 Asociación Geoquímicas	99
5.4 Interpretación de Planos y Secciones Geoquímicas	100
CAPÍTULO VI. CONTROLES DE MINERALIZACIÓN	
6.1 Control Litológico	106
6.2 Control de Alteración	110
6.3 Control Estructural	112
6.4 Control Mineralógico	114
CONCLUSIONES	116
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	118

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.1	Plano de ubicación del Distrito Minero Yanacocha	15
Figura 2.1	Mapa geológico regional del Distrito Minero Yanacocha	24
Figura 2.2	Plano generalizado de litología del Distrito Minero Yanacocha	26
Figura 2.3	Columna estratigráfica del Distrito Minero Yanacocha	30
Figura 2.4	Columna estratigráfica del Grupo Calipuy	32
Figura 2.5	Plano de alteración del Distrito Minera Yanacocha	35
Figura 2.6	Geología estructural regional del Distrito Minero Yanacocha	38
Figura 3.1	Plano geológico del depósito Chaquicocha	42
Figura 3.2	Columna estratigráfica del depósito Chaquicocha	43
Figura 3.3	Sección A-A' de litología del depósito Chaquicocha	49
Figura 3.4	Plano de superficie de alteración del depósito Chaquicocha	58
Figura 3.5	Sección A-A' de alteración del depósito Chaquicocha	59
Figura 3.6	Diagrama mostrando los planos de las fallas y tabla con los datos de azimuth y buzamiento de las fallas	63
Figura 3.7	Plano mostrando las fallas del depósito Chaquicocha	64
Figura 3.8	Diagrama de densidad de polos de fracturas	65
Figura 3.9	Diagrama de rosas de brechas	66
Figura 3.10	Diagrama de densidad de polos de venillas	67
Figura 3.11	Diagramas de rosas y de densidad de polos para cada tipo de estructura	71
Figura 3.12	Histograma mostrando las inclinaciones de las brechas	72
Figura 3.13	Plano mostrando las ubicaciones de taladros y las zonas	73
Figura 3.14	Diagramas de rosas por zona y por tipo de estructura	74
Figura 3.15	Diagramas de rosas de estructuras en la unidad UphA de las zonas 6 y 7	76

Figura 3.16	Diagramas de rosas para cada tipo de venilla	77
Figura 4.1	Gráfico mostrando las edades de 21 muestras con alunita y biotita hidrotermal versus distancia.	80
Figura 4.2	Secuencia Paragenética del depósito Chaquicocha	87
Figura 5.1	Histograma y Frecuencia Acumulada de Au y Cu	92
Figura 5.2	Histograma y Frecuencia Acumulada de As y Te	93
Figura 5.3	Diagrama radial de correlación del oro con el resto de elementos	96
Figura 5.4	Diagrama radial de correlación de cobre con el resto de elementos.	97
Figura 5.5	Diagrama radial de correlación de oro de muestras contenidas dentro de cuerpos de brechas hidrotermales	98
Figura 5.6	Gráfico mostrando el incremento de la correlación Au-Cu	99
Figura 5.7	Plano en planta de la geoquímica del Au en cota 3665	101
Figura 5.8	Sección A-A' de la geoquímica del Au	102
Figura 5.9	Plano en planta de la geoquímica del Cu en cota 3665	104
Figura 5.10	Sección A-A' de la geoquímica del Cu	105
Figura 6.1	Diagrama "box plot" mostrando la concentración de Au por tipo de roca	108
Figura 6.2	Plano en planta mostrando brechas hidrotermales y zonas con altas concentraciones de Au	109
Figura 6.3	Plano en planta mostrando la alteración sílice masiva y zonas con altas concentraciones de Au	111
Figura 6.4	Diagrama "box plot" mostrando la concentración de Au por tipo de alteración	112
Figura 6.5	Plano en planta mostrando las fallas principales y las zonas con altas concentraciones de Au	113

LISTA DE FOTOS

		Página
Foto 3.1	Núcleo de testigo mostrando una roca fragmental, unidad LA	45
Foto 3.2	Núcleo de testigo mostrando una roca fina, unidad Tft	46
Foto 3.3	Núcleo de testigo mostrando un tufo con cristales, unidad Teut	48
Foto 3.4	Núcleo de testigo mostrando una brecha freática	52
Foto 3.5	Núcleo de testigo mostrando una brecha hidrotermal	53
Foto 3.6	Núcleos de testigos mostrando alteración sílice vuggy y sílice masiva	56
Foto 3.7	Afloramiento mostrando alteración sílice granular	57
Foto 4.1	Sección pulida CHQ-064; 397.35m de profundidad	82
Foto 4.2	Sección pulida CHQ-064; 392.3m de profundidad	83
Foto 4.3	Sección pulida CHQ-050; 261.3m de profundidad	83
Foto 4.4	Secciones pulidas CHQ-437; 340.2m de profundidad	84
Foto 4.5	Secciones pulidas CHQ-050; 289.5m de profundidad y CHQ-437; 289.1m de profundidad	84
Foto 4.6	Sección pulida CHQ-288; 33.7 metros de profundidad	85
Foto 4.7	Sección pulida CHQ-288; 33.7m de profundidad	86
Foto 6.1	Secciones pulidas mostrando oro grueso asociado a Covelita y azufre nativo	115

LISTA DE TABLAS

		Página
Tabla 3.1	Código y cantidad de medidas para cada tipo de estructura	68
Tabla 5.1	Cuadro resumen de la data utilizada para análisis geoquímico	90
Tabla 5.2	Tabla comparando valores de Au (ppm)	91
Tabla 5.3	Tabla mostrando los valores de Cu (%)	91
Tabla 5.4	Tabla mostrando las familias de elementos y mineralización/alteración asociadas	99

RESUMEN

Los depósitos del Distrito Minero Yanacocha se han desarrollado en un sistema epitermal de alta sulfuración y están emplazados en un complejo volcánico Mioceno-Plioceno con orientación norte-noroeste y que se extiende hasta el sur de Ecuador.

Chaquicocha es uno de los depósitos de oro del Distrito Minero Yanacocha, con una ley promedio de oro 5 g/t y en menor proporción de cobre 0.3%. Litológicamente, en orden deposicional, consiste en intercalaciones de rocas porfiríticas andesíticas y flujos piroclásticos (unidad LA); pasando luego a un nivel de tufo fino (unidad Tft), tufos ricos en cristales (unidad Teut), y tufos líticos con cristales (unidad Ult); finalmente se desarrollaron domos y flujos andesíticos (unidad UphA). Toda esta columna volcánica fue cortada por estructuras de brecha de origen freático e hidrotermal.

La alteración en el depósito de Chaquicocha es típica de otros depósitos de alta sulfuración en el distrito, siendo la más importante la alteración sílice masiva debido a que está estrechamente relacionada a la mineralización de alta ley de oro y es la que alberga el recurso de oro de Chaquicocha Sulfuros; las alteraciones sílice vuggy y granular están asociadas con moderada a baja mineralización de oro y en zona de óxidos. La alteración argílica intermedia es el límite de la mineralización.

La alta ley de oro en Chaquicocha Sulfuros se debe posiblemente a las múltiples generaciones de pirita, luzonita/enargita y covelita. El oro comúnmente es sub-microscópico, encapsulado en la pirita, enargita, luzonita y azufre.

En Chaquicocha, las fallas tienen tres orientaciones principales: NNO, NE y EW; pero se interpreta que el control estructural en Chaquicocha tiene una orientación NNO (Nelson, 2010), sin embargo el control EW también tiene importancia en el depósito debido a que la ubicación y distribución de las brechas hidrotermales están controladas por la intersección de las fallas NNO con NE y también con EW.

La mineralización de alta ley de oro en Chaquicocha está relacionada a una serie de factores geológicos: litología, estructuras, alteración y mineralización. Los principales cuerpos mineralizados descansan en la parte inferior de la unidad Teut, en donde los tufos de cristales han sido reemplazados principalmente por la alteración sílice masiva, que hospeda la alta ley de oro. En la parte inferior de la unidad Teut, las brechas hidrotermales se han desarrollado favorablemente y hospedan el 75% de la mineralización de alta ley de oro. Estas brechas hidrotermales y la alta ley de oro están controladas por estructuras principales y sus intersecciones. Las fallas NW (La Champa) controlan la mineralización de oro, pero los cuerpos con alta ley de oro se ubican en la intersección con las fallas E-O (Paty). Mineralógicamente, la alta ley de oro se asocia con la presencia de covelita, principalmente primaria, y en menor proporción con pirita, enargita, luzonita, sílice crema, baritina y azufre nativo.

ABSTRACT

The deposits of the Yanacocha Mining District have developed a high sulphidation epithermal system and are housed in a north-northwest Miocene - Pliocene volcanic complex and extends into southern Ecuador.

Chaquicocha is one of the gold deposits of the Yanacocha Mining District, with an average gold grade 5 g/t and copper grade 0.3 %. Lithologically, in depositional sequence, consists of interbedded andesitic porphyritic rocks and pyroclastic flows (unit LA), then goes to a level of fine tuff (unit Tft), crystal-rich tuffs (unit Teut), and lithic crystal tuffs (unit Ult); finally developed domes and andesitic flows (unit Upha). The whole volcanic column was cut by phreatic and hydrothermal breccia structures.

Alteration in Chaquicocha deposit is typical of other high-sulfidation deposits in the district , the most important alteration is massive silica alteration because it is closely related to the mineralization of high grade gold and hosts the gold resource of Chaquicocha Sulfides; vuggy and granular silica alterations are associated with moderate to low gold mineralization and oxide zone. The intermediate argillic alteration is the limit of the mineralization.

The high-grade gold in Chaquicocha Sulphides is possibly due to the multiple generations of pyrite, luzonita/enargite and covellite. Gold is commonly sub-microscopic, encapsulated in pyrite, enargite, luzonita and sulfur.

In Chaquicocha deposit, faults have three main directions: NNW, NE and EW, but is interpreted that Chaquicocha structural control is NNW (Nelson, 2010), however EW control is also important in the deposit because location and distribution of hydrothermal breccias are controlled by the intersection of NNW faults with NE and EW .

The high-grade gold mineralization in Chaquicocha is related to a number of geological factors: lithology, structural, alteration and mineralization. Major ore bodies rest on the bottom of the unit Teut, where crystal-rich tuffs have been replaced mainly by massive silica alteration and hosts the high-grade gold. In the bottom of the unit Teut, the hydrothermal breccias have developed favorably and host 75% of the high-grade gold mineralization. These hydrothermal breccias and high-grade gold are controlled by major structures and their intersections. NNW faults (called "The Champa") controlled gold mineralization, but the bodies with high grade gold are located at the intersection of NNW and EW faults (called "Paty"). Mineralogically, high-grade gold is associated with the presence of covellite (primary), and to a lesser extent with pyrite, enargite , luzonita , cream silica , barite and native sulfur .

INTRODUCCIÓN

Los yacimientos epitermales de alta sulfuración, en los últimos años, han sido muy estudiados. Estos depósitos se encuentran principalmente en áreas de volcanismo activo alrededor de los márgenes de continentes o arcos de islas. La mineralización se da en vetas, vetillas o diseminaciones en volúmenes grandes y está controlado por diversos factores geológicos como litológico, alteración hidrotermal y estructural. A estos yacimientos se asocia una mineralización de oro y plata con presencia mayor o menor de metales base en general cobre, plomo y zinc.

Chaquicocha es un depósito de alta sulfuración, ubicado en el Distrito Minero Yanacocha. La mineralización de oro está emplazada en rocas piroclásticas producto de una actividad volcánica explosiva de edad Terciaria; estas rocas piroclásticas fueron alteradas producto del ascenso de los fluidos hidrotermales a través de estructuras principales. A diferencia de los demás depósitos en el distrito, Chaquicocha presenta un nivel de sulfuros, en donde la concentración de oro es alta (>5 g/) y ha sido principalmente controlado por estructuras de brechas.

El objetivo del presente informe es mostrar interpretaciones y resultados de las investigaciones geológicas, geoquímicas, mineragráficas y estructurales con el fin de identificar los controles para la mineralización de alta ley de oro en la zona de sulfuros. Asimismo, presentar el estudio a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería, a fin de sustentar y optar el título profesional de Ingeniero Geólogo.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Ubicación y Acceso

El depósito de oro Chaquicocha Sulfuros se encuentra en el Distrito Minero Yanacocha, ubicado en la zona norte de la Cordillera de los Andes del Perú, en un cinturón volcánico cenozoico, donde también se han emplazado otros depósitos de oro como Pierina y Sipan. Está localizado a 25 km al norte de la ciudad de Cajamarca, en el distrito de la Encañada, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca. Se ubica aproximadamente entre los 78°30' de longitud oeste y 7°00' de latitud sur, y su elevación está entre los 3400 a 4200 m.s.n.m.

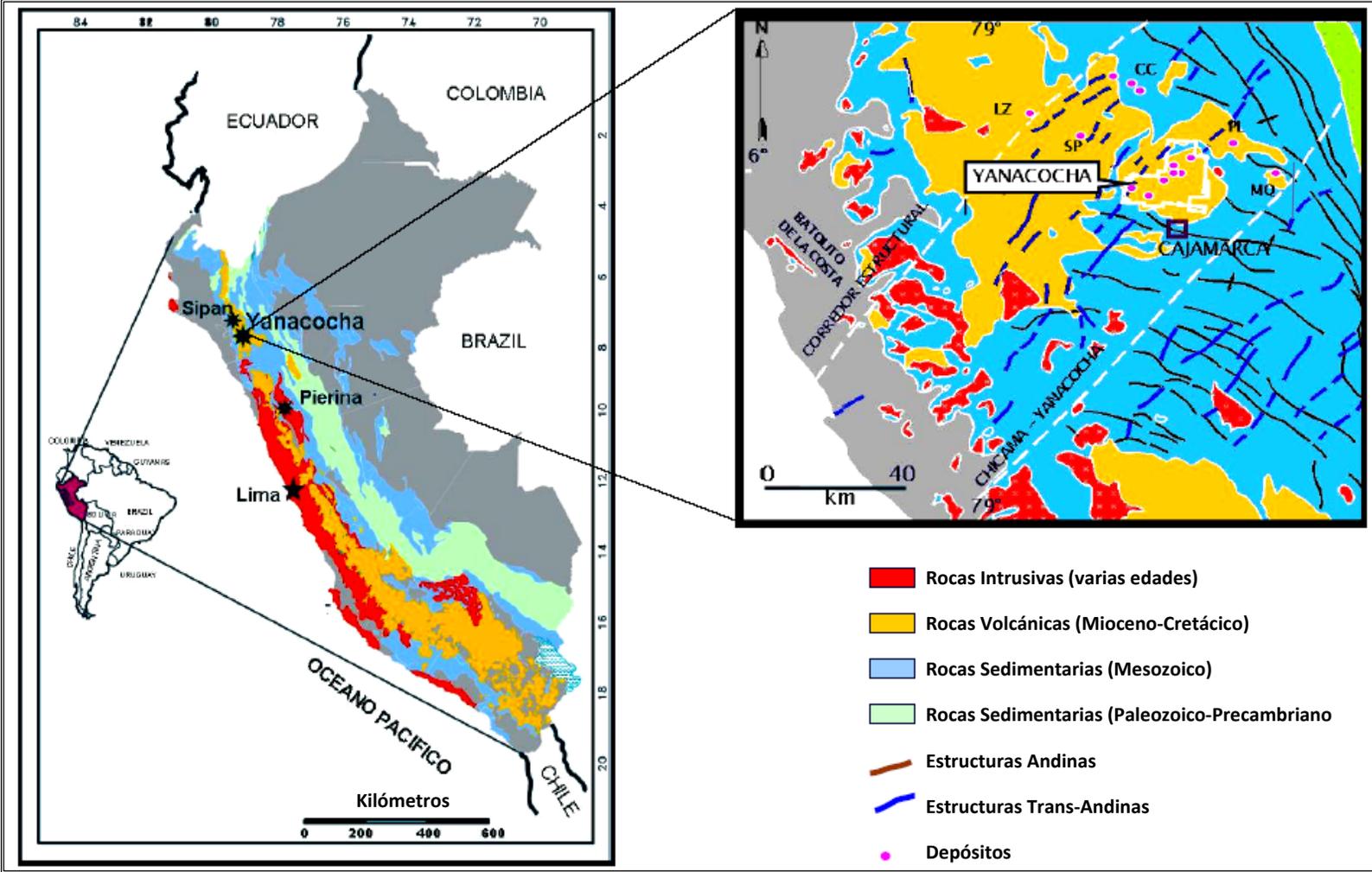


Figura 1.1 Plano de ubicación del Distrito Minero Yanacocha

El acceso al Distrito Minero Yanacocha es desde la ciudad de Cajamarca, a donde se puede llegar desde la ciudad de Lima por dos vías:

- Vía aérea: recorrido aproximado de 600 km y 1 hora de duración del vuelo
- Vía terrestre: recorrido aproximado de 860 km y 15 horas de duración del viaje.

Desde la ciudad de Cajamarca al distrito se accede por vía terrestre utilizando la carretera a Bambamarca:

- Oficinas Administrativas: altura del km 24.5
- Operaciones Mina: altura del km 37.5.

1.2. Antecedentes y Trabajos Previos

Los trabajos de exploración y minería en el Distrito Minero Yanacocha tienen una larga historia. Las primeras excavaciones se remontan al periodo Pre-hispánico y Colonial. Se descubrieron cuevas de donde extraían sílice (la usaban para construir herramientas y armas), cinabrio (lo usaban como tinte) y oro. También se encontraron otros trabajos en pequeñas muestras de cobre, baritina, rejalgar y pirita. Los trabajos antiguos se observan alrededor de Carachugo, Cerro Quilish, y Cerro Negro; la mayoría es una combinación de pequeños tajos abiertos y galerías.

Posteriormente comenzaron los trabajos de exploración moderna en el siglo XX.

Diversas empresas mineras realizaron trabajos en la zona:

- De 1968 – 1970 Nipón Mining Company exploró por Cu, perforando 13 pozos diamantinos en la quebrada Encajón.
- De 1969 a 1971 British Geological Survey (BGS) inicia la exploración por oro en Yanacocha; descubriéndose el depósito (Bowerman, 1995). Los trabajos de reconocimiento regional de “stream sediment” en el norte del Perú, dio como resultado la detección de anomalías de plata y plomo en las inmediaciones de Yanacocha.
- En 1981 CEDIMIN, una sucursal de la Bureau de Recherches Geologiques et Minières (BRGM), denuncia el área (Quiroz, 1994).
- En 1983 Newmont visita por primera vez Yanacocha formándose un joint venture entre las Compañías Buenaventura, Newmont Perú Limited y CEDIMIN con el objetivo de explorar por plata.
- En 1985 Newmont realiza un muestreo sistemático en malla 50 X 100 m, cubriendo la mayor parte de afloramientos, hallándose anomalías de oro y plata en Yanacocha Norte y Sur.
- Durante 1988 se perforan 05 taladros diamantinos en Carachugo, también se obtuvieron buenos resultados de la malla geoquímica realizada en Maqui Maqui.
- En los años 1992 – 1993 se constituye la Compañía Minera Yanacocha S.A. Durante este tiempo se realiza una campaña de perforación intensa con la finalidad de definir la mineralización en Carachugo.

- En agosto de 1993 se inicia la producción del primer yacimiento denominado Carachugo, con reservas aproximadas de 1.3 Moz Au.
- En octubre de 1994 se inicia la producción del yacimiento Maqui-Maqui con reservas estimadas en 2.5 Moz Au.
- En 1997 se descubre el depósito de La Quinua con más de 7 Moz Au, y además otros dos depósitos, El Tapado y Chaquicocha Sur.
- En 1997, el Dr. Stephen J. Turner, discutió sobre las características estructurales del distrito, formación del complejo volcánico Yanacocha (YVC), y los controles en el emplazamiento de Domos y su relación con la mineralización aurífera.
- En 1999 se inicia un programa de exploración denominado La Quinua Basamento, con el objetivo de descubrir depósitos similares a El Tapado, descubriéndose Corimayo.

Luego de los descubrimientos de los depósitos del distrito, se realizaron estudios e investigaciones geológicas y geoquímicas:

- Peter Rogowski (Octubre, 2001), interpretó los lineamientos de imágenes satelitales en la zona este del distrito, aportando importantes tendencias estructurales de orden distrital como son las tendencias NW, NE, EW y NS.
- Dr. William Rehrig (Agosto, 2001), realizó trabajos de mapeos de estructuras en los diferentes tajos y proyectos del sector este del distrito (tajo de Yanacocha, tajo de Carachugo, tajo de San José y proyecto Chaquicocha) con la finalidad de

generar un modelo tectónico - estructural del distrito, aplicable a la exploración distrital.

- Cesar Velazco (Agosto, 2001), generó un modelo geoquímico del oro y elementos traza del Proyecto Chaquicocha.
- Andrés Quiroz (Octubre, 2002), realizó el estudio de rasgos circulares en el distrito aurífero del complejo Yanacocha; el trabajo consistió en identificar rasgos estructurales circulares superficiales, investigar la relación que existe con la mineralización aurífera con estructuras circulares y sugerir posibles blancos de exploración.
- Carlos Loayza (Agosto, 2002), realizó el estudio geológico del Cerro Yanacocha, aportando importantes resultados en relación a la mineralogía, litología y el zoneamiento termal.
- Steve Moore, Eric Saderlholm (Diciembre, 2002), realizó el modelo litológico del sector este del distrito y su aplicación a los diferentes depósitos
- Werner Warsheid, Jorge Espinosa, Elmer Flores, José Trujillo (Octubre, 2002), realizaron la caracterización del estudio geoquímico para domos intrusivos en los Proyectos Montura y Chaquicocha Sur.
- Cindy Williams, Pedro Reyes, Elmer Flores, Cesar Manyari, Efraín Ugarte (Mayo, 2002), hicieron el reporte del proyecto sulfuros de la zona de Chaquicocha.

1.3. Metodología

Para el desarrollo del estudio, se recolectó información previa como planos e interpretaciones geológicas (litología, alteración y estructural) y geoquímicas, reportes de estudios petrológicos y mineralógicos, y data de ensayos geoquímicos de muestras de sondajes diamantinos. La metodología de trabajo se dividió en dos partes:

1.3.1. Trabajo de campo

Se realizó el logueo de los taladros diamantinos perforados en los años 2012 y 2013, diferenciando las texturas litológicas, ensambles de alteración (incluyendo las texturas de silicificación), estructuras (fallas y venillas principalmente), mineralogía y cuerpos de brechas (especialmente las brechas hidrotermales de las freáticas). A medida que se logueaba se tomaba muestras para análisis PIMA. Todos estos taladros fueron orientados utilizando el instrumento REFLEX y para las medidas de las estructuras se utilizó el instrumento KENOMETRO; en los taladros anteriores al año 2012 la técnica de taladro orientado fue el método de la lanza y para la medición de las estructuras se utilizó el instrumento CORE MAP. Paralelamente se realizó también el relagueo de taladros antiguos diamantinos y RCD con el fin de uniformizar la nomenclatura, ya que tenían codificación antigua, y mejorar el modelo geológico del depósito.

Se realizó una revisión en campo de la litología, alteración y estructuras, especialmente en el aspecto estructural para definir mejor la ubicación y distribución de las estructuras principales que controlan la mineralización de oro.

1.3.2. Trabajo de Gabinete

Se realizaron planos y secciones litológicas, de alteración y estructurales del depósito, utilizando data geológica de taladros, mapeos superficiales y modelos geológicos generados previamente.

Se recolectó los análisis químicos de las muestras de taladros perforados en los años 2012 y 2013 para determinar la correlación del oro con los demás elementos y sus asociaciones geoquímicas; también identificar los controles geológicos para la concentración de oro.

También se recolectó todas las medidas de estructuras que existen en el depósito, diferenciándolas por el instrumento utilizado para las mediciones y también generando dominios estructurales según sus ubicaciones y las fallas asociadas.

Se realizó el estudio de PIMA para las muestras seleccionadas durante el logueo, con el fin de precisar el ensamble de alteración y definir el zoneamiento de alteración.

Todos los datos fueron procesados utilizando los software: ArcGis, AutoCad, Geomodel, Stones y Dips.

CAPITULO II

GEOLOGIA REGIONAL

El Distrito Minero de Yanacocha está localizado cerca a la intersección de un cambio en la orientación del paralelo Andino caracterizado por una orientación NNO a ONO (y casi E-O) con una zona estructural transandina ENE (Turner, 1997). El alineamiento del paralelo Andino está representado por un patrón de pliegues orientados, dentro de rocas mesozoicas, y con un alineamiento de intrusiones terciarias en el área de Cajamarca (Wilson, 1985). El patrón transandino conocido como el corredor estructural Chicama- Yanacocha, se evidencia por el desplazamiento del litoral peruano, y el alineamiento ENE del distrito Yanacocha (Quiroz, 1997). Este corredor estructural, corresponde a una franja de 30 a 40 Km. de ancho, de por lo menos 200 Km. de largo, que se inicia en el río y puerto de Chicama y se extiende en dirección N40°E, pasando

por Guzmango y Contumazá, Cajamarca, La Encañada, Yanacocha, y Hualgáyoc, extendiéndose aún más hacia el este. En el corredor estructural Chicama-Yanacocha se presentan fallas transversales al rumbo andino (Transandinas), eventos magmáticos alineados en la misma dirección, lo mismo que fenómenos de alteración hidrotermal y mineralización metálica (Quiroz, 1997).

2.1. Estratigrafía

El distrito minero Yanacocha está emplazado en un paquete volcánico con edades entre el Mesozoico y Cenozoico, que descansa sobre rocas sedimentarias del Cretácico. Este paquete presenta una gruesa secuencia basal de lavas andesíticas con aisladas intercalaciones de niveles piroclásticos, estas infrayacen a una secuencia de textura predominantemente fragmental; las cuales incluyen unidades piroclásticas con algunos niveles de intercalaciones de flujo de lava. Numerosos domos, diatremas, diques e intrusiones pocos profundos cortan a todo este paquetes, así como también múltiples eventos de brechas.

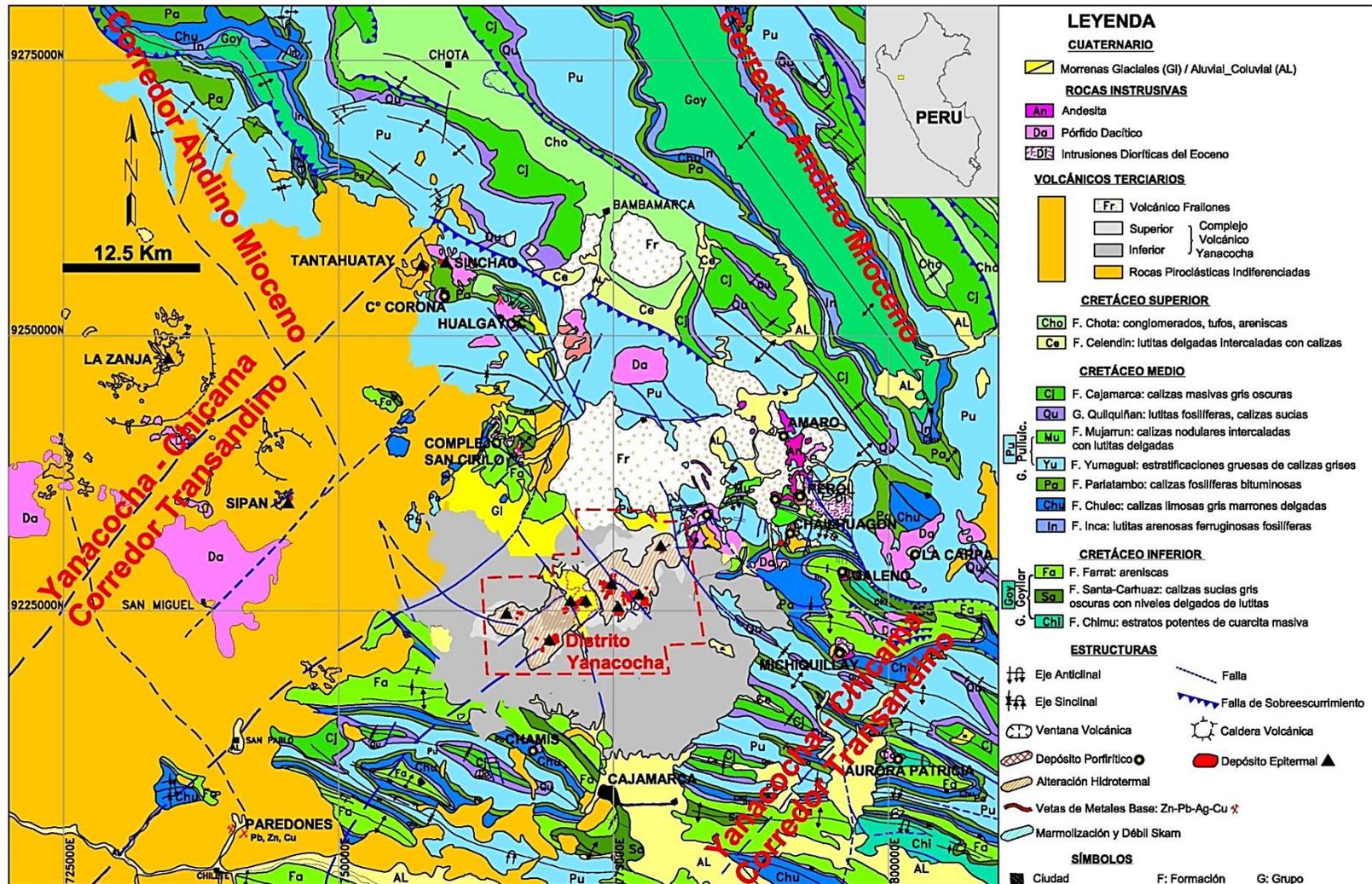


Figura 2.1 Mapa geológico regional del Distrito Minero Yanacocha y otros distritos en el norte del Perú, mostrando los principales controles estructurales (Modificado de Veliz 2002, Longo 2005 y Mendoza 2010)

2.1.1. Rocas Sedimentarias

Las rocas volcánicas Terciarias en Yanacocha suprayacen a un basamento cretácico constituido principalmente por cuarcitas y calizas. Las rocas más antiguas corresponden a una secuencia de cuarcitas, areniscas cuarzosas y limolitas, que conforman la Formación Chimú. Posteriormente se depositaron secuencias de limolitas, lutitas calcáreas y calizas pertenecientes a las Formaciones Santa y Carhuaz, que infrayacen a unas areniscas cuarzosas con niveles de limolitas. Estas rocas sedimentarias afloran a pocos kilómetros al norte y sur del distrito. Esta secuencia silico-clástica conforma el Grupo Goyllarisquizga (Wilson, 1985) del Cretácico Inferior e infrayace a una serie carbonatada formando depósitos masivos de plataforma perteneciente al cretácico Medio (Grupo Pulluicana - Rivera, 1980 y Wilson, 1985), que limita el sector este del distrito minero. Estas rocas fueron sometidas a deformaciones compresivas de las orogénias terciarias Inca I e Inca II (Rivera, 1980 y Wilson, 1985). Se han reconocido ventanas calcáreas probablemente de la misma formación con débil alteración del tipo skarn, dentro de la secuencia volcánica alterada.

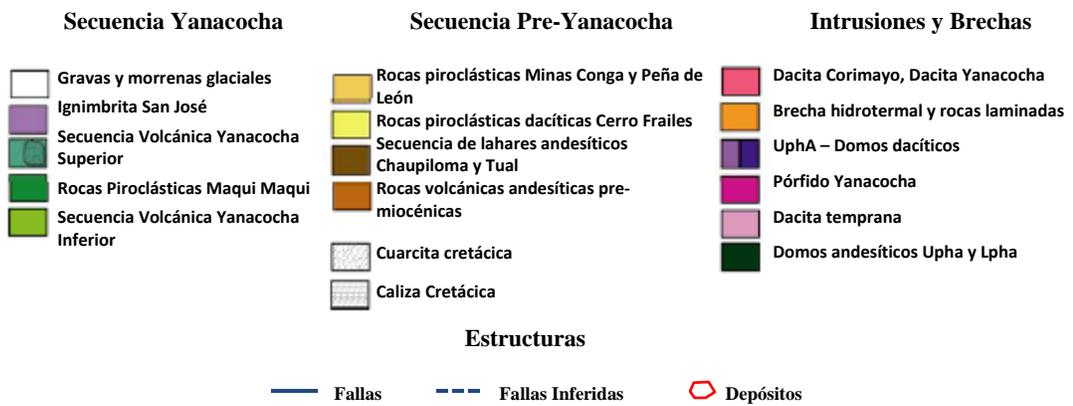
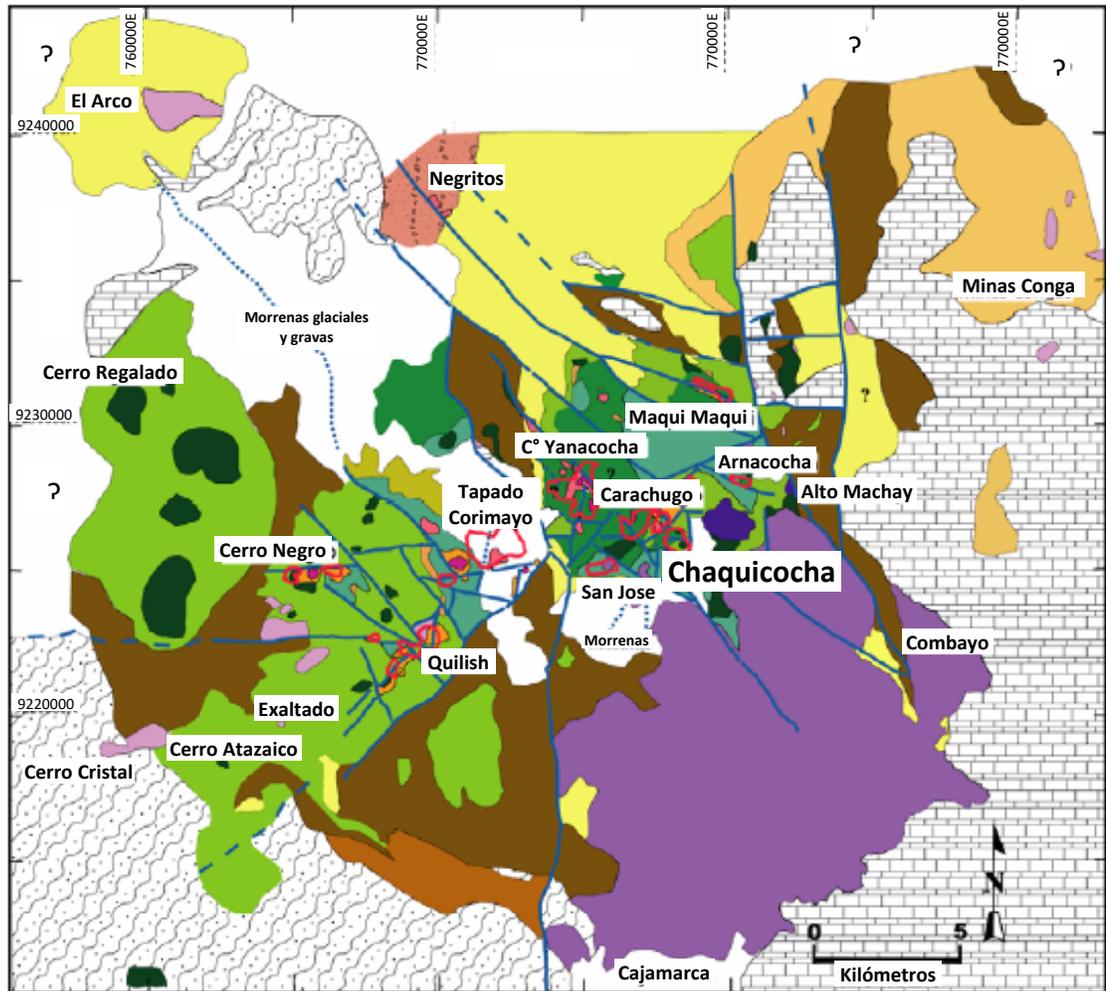


Figura 2.2 Plano generalizado de litología del Distrito Minero Yanacocha.

2.1.2. Rocas Volcánicas

La secuencia volcánica sobreyace a las rocas sedimentarias del cretácico en discordancia angular. Esta secuencia volcánica conforma el Grupo Calipuy y está compuesta por las Formaciones Llama, Porculla y los miembros Fraylones y Otuzco de La Formación Huambos.

2.1.2.1. Formación Llama

Es la secuencia basal y está dominada por flujos de lavas, conglomerados volcánicos (flujo de debris) y rocas volcanocásticas. Esta secuencia de rocas se localiza al sur del Distrito y presenta una débil alteración argílica y alteración propilítica. En la región de Cajamarca la Formación Llama ha sido datada como Paleoceno (Noble y otros, 1990)

2.1.2.2. Formación Porculla

Consiste de una gruesa secuencia de rocas piroclásticas intercalada con niveles lávicos y cortadas por múltiples eventos intrusivos. Está dividido en dos miembros volcánicos.

2.1.2.2.1. Volcánico Yanacocha

Conocido con el nombre del “Complejo Volcánico Yanacocha”. Esta secuencia volcanoclástica se extiende regionalmente y es la que alberga la mineralización del

Distrito de Yanacocha. El Volcánico Yanacocha constituido por rocas piroclásticas y flujo de lavas de composición andesítica. Distritalmente está dividido en tres secuencias.

a. Secuencia Andesita Inferior

Esta secuencia está expuesta principalmente hacia el oeste del distrito. Consiste en una secuencia intercalada de tobas de bloques y cenizas, flujos lávicos y raras veces flujos de domos, y una zona superior dominada por ignimbritas gradando hacia horizontes transicionales de grano fino y laminados. El espesor de esta secuencia varía considerablemente, entre 200 a 300 metros. Comúnmente tiene partes frescas y otras con alteración propilítica y argílica, pero cerca al sistema epitermal presenta una fuerte alteración argílica avanzada. Esta secuencia descansa en discordancia angular con el basamento cretácico y grada hacia arriba a la suprayacente secuencia piroclástica Yanacocha. Longo (2005) subdividió esta secuencia en tres unidades y dató partes expuestas en el distrito entre 13.2 Ma a 19.5 Ma.

b. Secuencia Piroclástica Yanacocha

La secuencia piroclástica Yanacocha consiste en una progresión variable de tufos líticos con cristales y flujos piroclásticos ricos en líticos. Debido a su porosidad inherente, estas rocas fueron más susceptibles a una alteración argílica avanzada moderada a intensa lo que provocó una destrucción textural moderada a completa, y como resultado alteró su composición química original. Consecuentemente, una datación precisa de estas rocas no es posible, pero se puede inferir un rango entre 12.4 - 13.2 Ma, basándose en dataciones (Longo 2005) de las secuencias subyacentes y

suprayacentes. La secuencia piroclástica Yanacocha está expuesta principalmente en la parte central del Distrito y es el principal hospedante de la mayoría de depósitos de oro. Moore y Saderholm (2002) dividieron esta secuencia en: un tufo fino inferior con intercalaciones laminadas de sedimentos epiclásticos (Tft), un tufo transicional eutaxítico (Teut), y un tufo lítico superior (Ult) que incluye a la ignimbrita Maqui Maqui (Umm) y la ignimbrita San Jose (Usj).

c. Secuencia Andesita Superior

Esta secuencia consiste en intercalaciones de ignimbritas y flujos de lava andesíticos a dacíticos dominados por múltiples flujos de domo en su parte superior. Comúnmente, las lavas son bandeadas e intercaladas con horizontes discontinuos de brechas piroclásticas y flujos de lava autobrechados. La unidad está dividida en: un flujo andesítico rico en horblenda (11.8 - 12.3 Ma), ignimbrita Shascha (11.25 Ma), flujos andesíticos (11.6-12.3Ma) y complejo de flujos de domo (11.2 – 11.6 Ma).

2.1.2.2. Volcánico Regalado

Una secuencia delgada de lavas andesíticas muy viscosas cubren principalmente las zonas de depresiones y sobreyacen a las rocas del Complejo Volcánico Yanacocha. Estos flujos de probable origen fisural son correlacionados con los Volcánicos Regalado (descrito por Reyes 1980b en la región de San Marcos). Al Norte, Oeste y Sur-Este del distrito, el Volcánico Regalado está cubierto a lo largo de un contacto transicional por una secuencia interestratificada de flujos de lavas andesíticas y rocas piroclásticas.

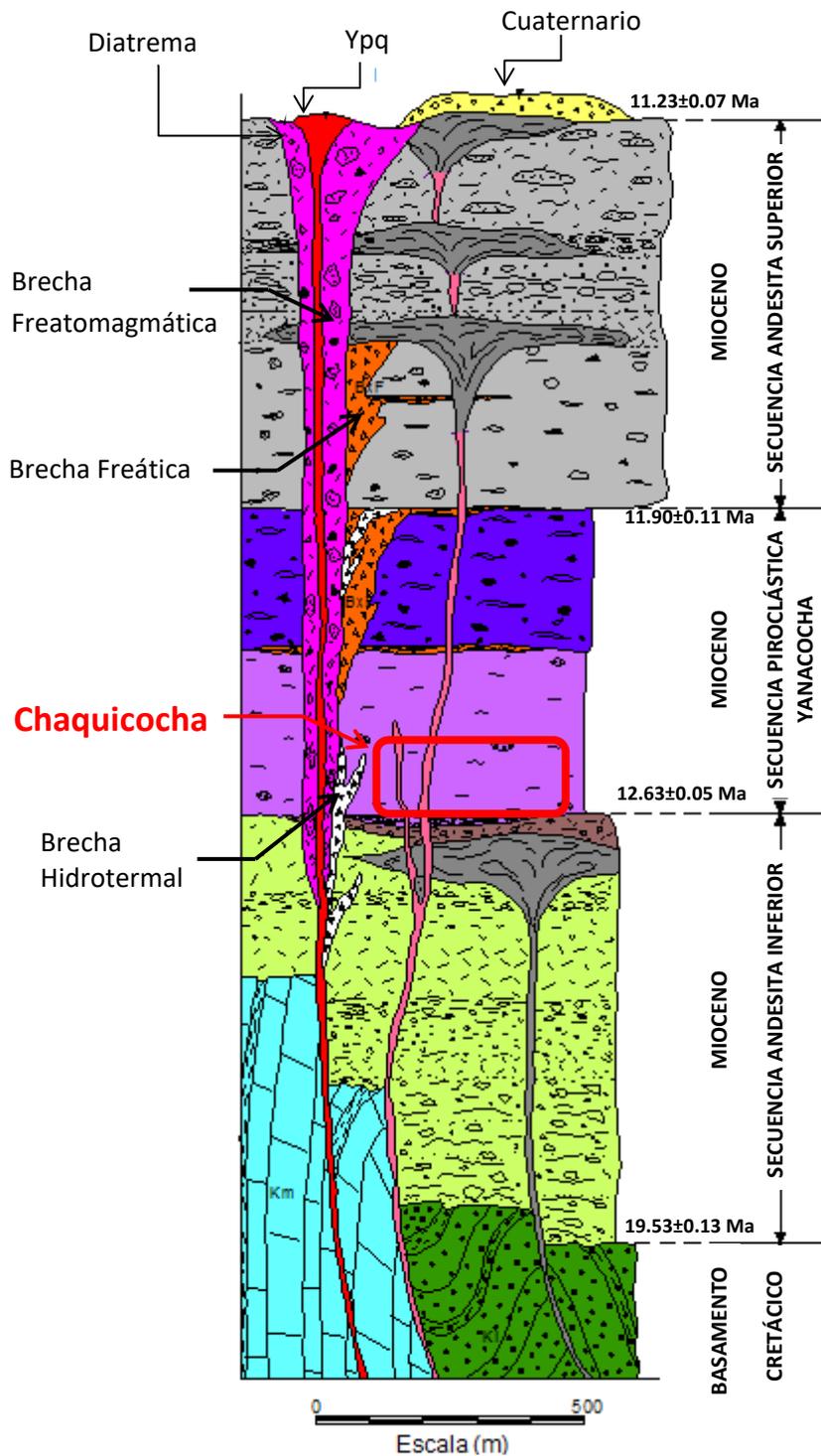


Figura 2.3 Columna estratigráfica generalizada del Distrito Minero Yanacocha (J. Gomes, Julio 2004).

2.1.2.3. Formación Huambos

La secuencia media a superior es predominantemente piroclástica, con niveles de flujos de bloques y cenizas sobre yacidos por flujos piroclásticos ricos en cristales e ignimbritas soldadas. Estos niveles superiores pobres en líticos, muestran fragmentos de roca alterada, la alteración de los fragmentos de roca evidencia un evento hidrotermal previo a la extrusión de esta secuencia.

Dos secuencias de distinta composición de flujos de brechas piroclásticas son reconocidas al norte y sur del distrito. La primera de composición dacítica, corresponde al miembro Fraylones y la segunda de composición andesítica corresponde al miembro Otuzco, ambos de la Formación Huambos, asociados a distintos centros eruptivos.

Toda la secuencia volcanoclásticas es cortada por múltiples eventos intrusivos. Intrusiones de brechas freáticas a freatomagmáticas, juntos a las secuencias piroclásticas constituyen la roca huésped de la mineralización económica, algunas de estas unidades son posteriores y cortan la fase principal de mineralización. Intrusiones dómicas andesíticas a dacíticas pre y post-alteración son reconocidas en diferentes áreas del distrito.

Sedimentos inconsolidados de origen glacial a fluvio-glacial se han depositado sobre los valles en "U" y cuencas tectónicas. Esta depositación permitió la dispersión secundaria del oro, con la consecuente formación de yacimientos en gravas, algunos de ellos económicos, ejemplo el depósito La Quinoa.

		Yanacocha	Cajamarca	Chota	San Marcos	Celendín
Grupo Calipuy	Formación Porculla	Formación Huambos	Formación Huambos	Formación Huambos	Formación Cajabamba	Formación Huambos
		Volcánico Regalado	Volcánico San Pablo	Volcánico Porculla		
	Complejo Yanacocha	Volcánico Chilete	Volcánico Regalado		Miembro Otuzco	
	Volcánico Llama	Volcánico Tembladera	Volcánico Llama	Volcánico Yanacocha	Volcánico San Pablo	Volcánico Porculla
	Basamento Cretácico	Formación Cajamarca	Formación Chota		Formación Chota	Formación Chota

Figura 2.4 Columna estratigráfica del Grupo Calipuy

2.2. Rocas Intrusivas

Las intrusiones en el complejo volcánico consisten en múltiples fases de diques tardíos, apófisis y stocks; están espacialmente y temporalmente asociados a mineralización Au-Cu tipo pórfido que ocurre por debajo de los depósitos epitermales de Au de alta sulfuración. Las edades de estas intrusiones varían desde 12 hasta 8.4 Ma (Turner, 1997; Longo, 2005).

En el distrito se han diferenciado cinco unidades: CP (Carachugo Porphyry) de composición andesítica y textura fina a media, YP (Yanacocha Porphyry) también de composición andesítica, bimodal y textura media a gruesa, ha sido datada en 12.10 Ma (Noble, 1997), localmente se tiene el Ypq (Yanacocha quartz porphyry) de composición dacítica, que ha sido datada en 9.90 +/- 0.05 Ma (Turner, 1997), Ypq-E (Yanacocha

quartz porphyry early) también de composición dacítica y el Ypbq (Yanacocha quartz biotite porphyry) rica en biotita.

2.3. Brechas

El complejo volcánico ha sido cortado por múltiples fases y tipos de brechas que están espacialmente y genéticamente asociados a la mineralización de oro. En una escala distrital, han sido divididos genéticamente en tres categorías:

2.3.1. Brecha Freática

Constituye el tipo más común volumétricamente, y consiste en clastos monolíticos sub-angulares a sub-redondeados en una matriz arenosa. Se interpreta que se formaron al inicio del ciclo eruptivo volcánico, como resultado de explosiones de vapor en la secuencia volcánica.

2.3.2. Brecha Freatomagmática

Consiste en clastos heterolíticos redondeados a sub-angulares en una matriz feldespática rica en cristales. Se interpreta que esta brecha se formó como resultado de erupciones someras de magmas parcialmente solidificados que ascendieron a través de conductos estructurales y chimeneas volcánicas.

2.3.3. Brecha Hidrotermal

Consiste en clastos heterolíticos redondeados a angulares en una matriz cuarzosa criptocristalina a fina. En la zona de sulfuros, la matriz consta de cuarzo criptocristalino + pirita fina + alunita + baritina. Estas brechas están espacialmente y genéticamente asociadas a mineralización de alta ley de oro. Su geometría va desde estratiforme a estar estructuralmente controlada por conductos de alto ángulo (Teal & Benavides, 2010).

2.4. Alteración Hidrotermal

La alteración en el distrito Yanacocha es típica de un sistema de alta sulfuración. La alteración es intensa y los límites del distrito están definidos por la extensión de la alteración.

La alteración en el distrito consiste en asociaciones de minerales que gradan desde un núcleo generalmente aurífero de sílice masiva, a una aureola de sílice vuggy con horizontes someros de sílice granular, a un halo de alteración argílica avanzada (alunita-pirofilita), a un halo más distal de argílica intermedia y hasta una zona propilítica. Este mosaico de superposición se repite en distintos centros de alteración, que abarcan aproximadamente un área de 18km en dirección noreste por 6km en dirección noroeste (Teal & Benavides, 2010).

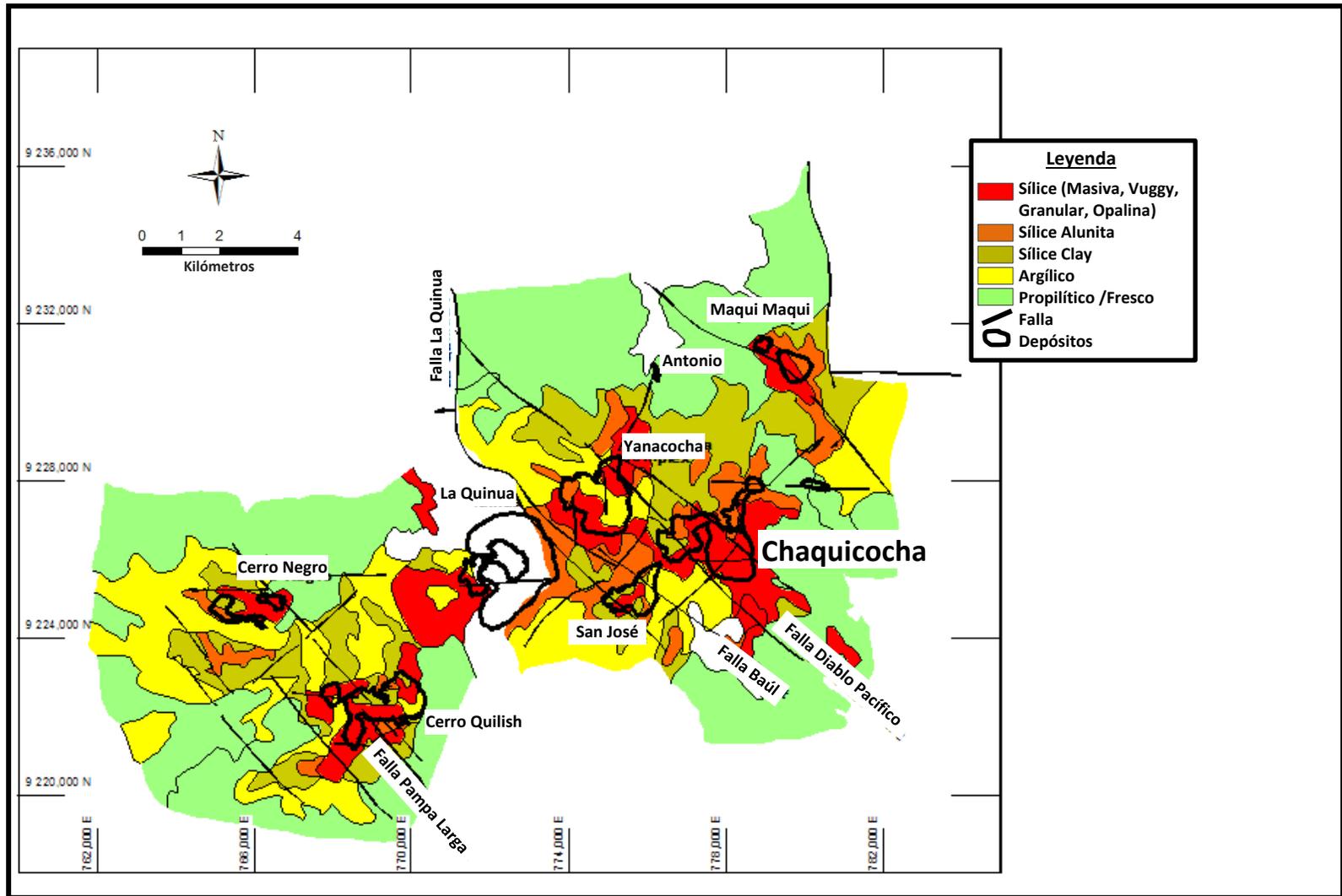


Figura 2.5 Plano simplificado de alteración del Distrito Minero Yanacocha (J. Gomes, S. Moore, L. Teal, 2003)

Cabe resaltar que el término “sílice” se refiere al cuarzo, pero se utiliza, en este estudio, para nombrar la alteración que tiene la roca al presentar un reemplazamiento de sílice (cuarzo) hidrotermal.

Longo documentó una progresión oeste-suroeste-este-noreste de múltiples centros de alteración usando dataciones $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ de alunita hidrotermal, con edades de centros de mineralización desde 11.5 hasta 8.5 Ma. Los sistemas epitermales formados en Yanacocha tuvieron una duración de por lo menos 3 millones de años, contemporáneos con el lapso de intrusiones porfíricas.

2.5. Geología Estructural

Los depósitos del distrito de Yanacocha se desarrollaron dentro del cinturón orogénico Andino central, una zona de deformación con orientación nor-oeste. Este cinturón orogénico consiste en rocas sedimentarias plegadas y falladas del Ordovícico al Cretácico los cuales infrayacen a rocas volcánicas del Terciario al Holoceno y son intruidas por rocas intrusivas félsicas del Terciario.

En el norte del Perú, las rocas sedimentarias del Cretácico fueron afectadas por dos periodos principales de deformación compresiva con orientación este-noreste, la orogenia Inca I (Paleoceno, 59-55 Ma) y la orogenia Inca II (Eoceno medio, 43-44 Ma). El vulcanismo dentro de este cinturón se inició en el Eoceno temprano (45 Ma) siguiendo la deformación Inca I y continuó intermitentemente durante el periodo de

deformación Inca II. En la región de Cajamarca, la deformación Inca I corresponde a plegamientos y fallamientos con tendencia noroeste, mientras que la deformación Inca II corresponde a una deflexión a escala regional de la orogenia Inca I con plegamientos y sobreescurrecimientos con orientación oeste-noroeste a este-oeste de las rocas sedimentarias del Cretácico. Esta deflexión se conoce como la curvatura de Cajamarca y se interpreta que se formó como resultado del aumento del ratio de convergencia y un cambio del movimiento de subducción en la infrayacente placa de Nazca (Benavides-Cáceres, 1999).

El alineamiento este-noreste de los depósitos del distrito de Yanacocha fue controlado por la intersección del corredor estructural Chicama-Yanacocha (sistema Trasandino) y el sistema de fallas pertenecientes a las fases Inca I e Inca II (sistema Andino). Esta intersección controla los dominios estructurales, la ubicación de las brechas y el emplazamiento de las intrusiones en el complejo volcánico, y posteriormente la ubicación de las múltiples fases de mineralización de oro (Teal & Benavides, 2010).

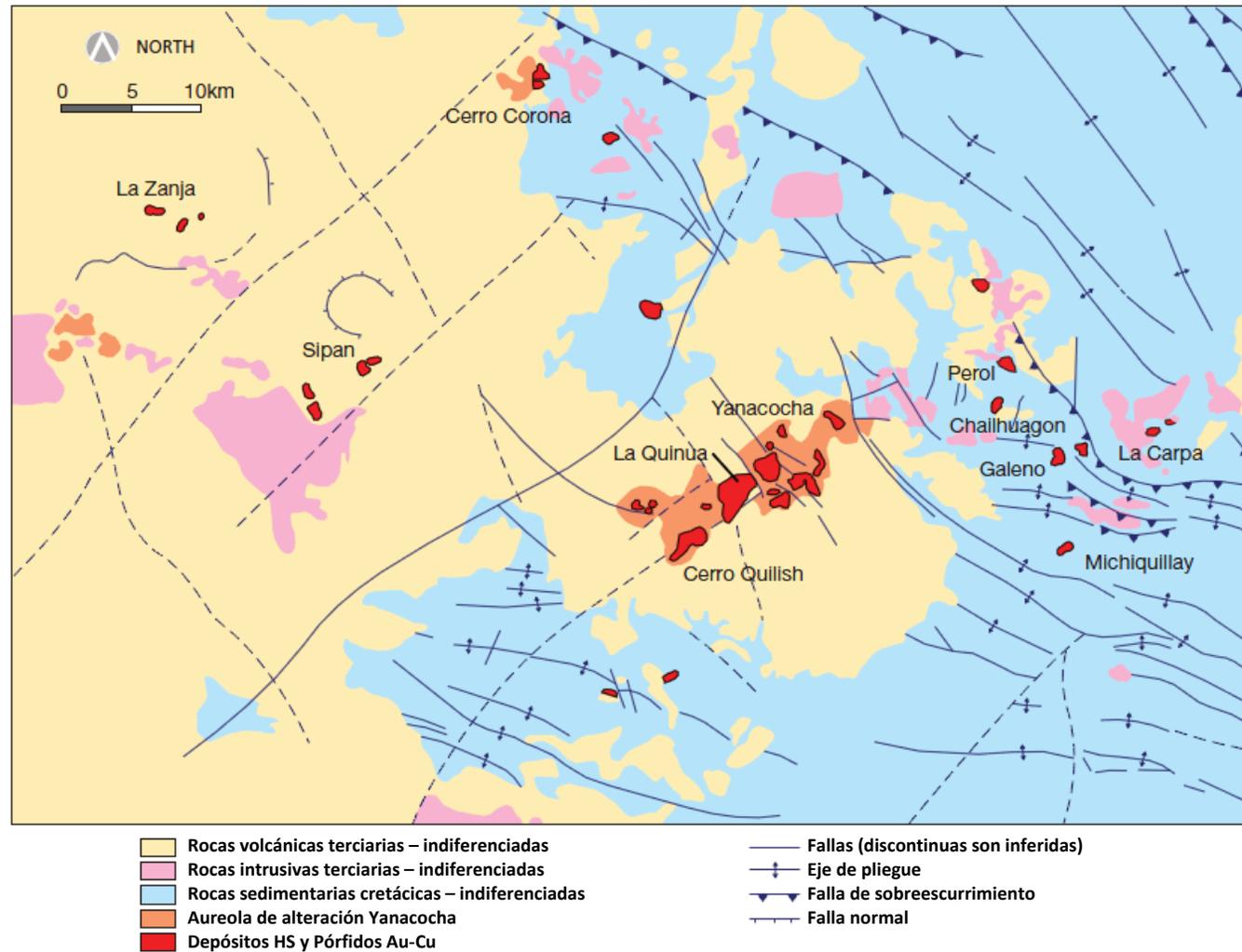


Figura 2.6 Geología estructural regional del área de Yanacocha mostrando los distintos depósitos en la región.
(Benavides & Teal, 2010)

2.6. Metalogenia

En la región Cajamarca, los depósitos se han desarrollado en un alineamiento NW, conocido como el cinturón metalogénico miocénico Cajamarca – Huaraz (Noble D. y Mckee; 1999, Sillioe R.; 2008). El cinturón está constituido por diversos yacimientos hidrotermales de diferentes estilos de mineralización. En el área, los depósitos están alineados a lo largo del corredor estructural “Chicama – Yanacocha”. Entre los principales depósitos se tiene:

- Los distritos polimetálicos Hualgayoc y San Cirilo, sistemas de mineralización tipo manto y vetas en cuerpos de reemplazamiento y skarn.
- Como sistemas porfiríticos están Minas Conga, El Galeno, Michiquillay y Cerro Corona.
- Yanacocha, Sipan, Tantahuatay y La Zanja, yacimientos epitermales de alta sulfuración.

CAPITULO III

GEOLOGIA LOCAL

El yacimiento aurífero de Chaquicocha está localizado en la porción central-este del distrito. Pertenece al bloque del complejo Yanacocha-Carachugo-Chaquicocha. Limita al nor-oeste con el depósito de Carachugo, y al norte con el proyecto Quecher.

La roca encajonante que favoreció la mineralización en el depósito fueron grandes columnas piroclásticas originadas por una actividad volcánica explosiva (unidades Ult y Teut), que descansan sobre secuencias volcánicas delgadas (unidad Tft) y niveles porfiríticas (unidad LA). Posteriormente a todas estas secuencias, el vulcanismo se tornó efusivo, generando diques y domos (YP).

Debido a las variaciones del nivel freático mientras la actividad hidrotermal seguía activa, se generaron explosiones sucesivas de brechamiento a diferentes niveles,

originando cuerpos de brecha freática, muchas de las cuales sirvieron como hospedantes para la mineralización (brechas hidrotermales).

Todas estas rocas fueron afectadas por fluidos hidrotermales generando grandes volúmenes de sílice (sílice masiva). El dominio de vapores ácidos en la parte superior del yacimiento ha producido lixiviación y destrucción de los feldespatos en la matriz de la roca originando porosidad en la roca caja (sílice vuggy) y a medida que se intensificaba, la textura original de la roca desaparecía y se originaba una textura sacaroidea (sílice granular). Hacia los bordes del sistema, aparecen las arcillas reemplazando los cristales o rellenando oquedades (sílice-clay y argílica), pasando luego a un reemplazamiento de cloritas y epidota (alteración propilítica).

Se ha encontrado zonas con altas concentraciones de oro en niveles someros y profundos en el depósito, que fueron controladas por dominios estructurales. El dominio principal es el nor-noroeste ("La Champa"), que al intersectarse con las fallas noreste ("La Fuente) y este-oeste ("Paty) controlan las altas leyes de oro.

A continuación se describe la litología, alteración y las estructuras encontradas en el yacimiento Chaquicocha.

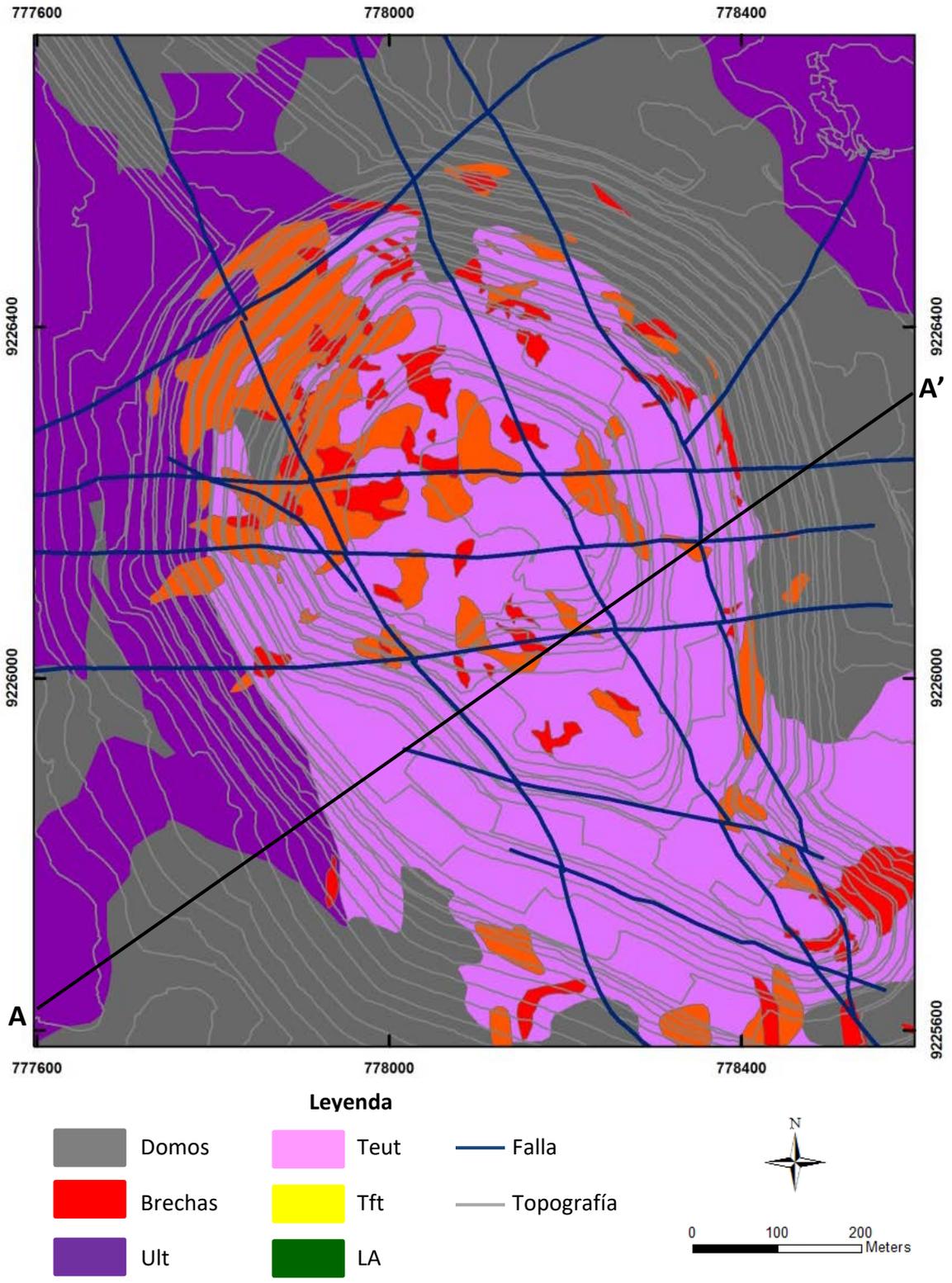


Figura 3.1. Plano geológico del depósito Chaquicocha

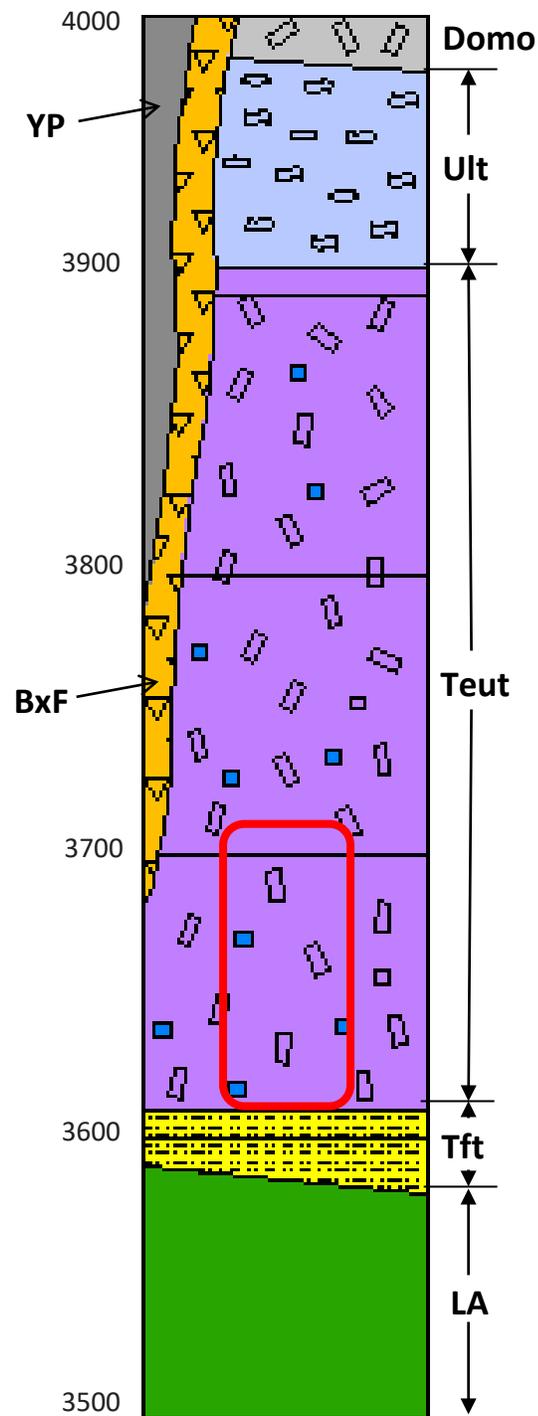


Figura 3.2. Columna estratigráfica del depósito Chaquicocha.
El cuadro rojo representa la zona de sulfuros.

3.1. Litología

La textura original de la roca está relacionada con el estilo de erupción que puede ser explosivo o efusivo. En algunos sectores del depósito, la intensa alteración hidrotermal dificulta el reconocimiento de la textura primaria de la roca, sin embargo las características litológicas que se presenta en el depósito es una mixtura de rocas fragmentales y rocas porfíricas.

A nivel superficial, la columna piroclástica se encuentra distribuida en gran parte del depósito, seguida por la presencia de remanentes de una secuencia de erupciones efusivas lávicas cubriendo en algunos sectores el pilar piroclástico. En las zonas sur y nor-oeste del depósito se han emplazado aparatos volcánicos (domo) donde es característico un comportamiento impermeable.

Seguidamente se detallan las características de las diferentes secuencias piroclásticas.

3.1.1. Unidad Andesita Inferior

La Unidad Andesita Inferior (LA) es parte de la Secuencia Andesita Inferior. A diferencia de otras unidades del depósito de Chaquicocha, no se tiene mucha información sobre esta unidad debido a que son pocos los taladros que han atravesado toda su potencia. La Unidad Andesita Inferior en Chaquicocha es un paquete de lavas andesíticas porfíricas ricas en hornblenda de grano medio con niveles de autobrechas, tufos de cristales y tufos líticos con cristales, en estas rocas piroclásticas es común

encontrar fiames; no se ha encontrado lahares en el depósito. Esta unidad contiene abundantes xenolitos de rocas porfiríticas, limolitas, lutitas y cuarcitas. Esta unidad se caracteriza por no presentar mineralización de oro, excepto en zonas cercanas a las fuentes de mineralización (brechas hidrotermales) en donde puede llegar a tener una mineralización baja a moderada ($> 1.0 - 2.0\text{gr/t}$), las pocas zonas mineralizadas solo llegan a tener decenas de metros de extensión. Generalmente esta unidad se comporta como el piso de la mineralización de oro.



Foto 3.1. Se aprecia el LA con textura fragmental y en partes eutaxítica. Presencia de azufre nativo reemplazando la matriz y fragmentos.

3.1.2. Unidad Tufo Fino Transicional

La unidad Tufo Fino (Tft) sobryace a la Unidad Andesita Inferior y forma parte de la Secuencia Piroclástica Yanacocha. Tft está compuesta por niveles de tufos de

cristales finos de feldespatos, tufo líticos con cristales finos de feldespatos y por secuencias volcánicas re TRABAJADAS con niveles de sedimentos lacustrinos laminados. Cuando está fuertemente piritizada es difícil distinguirla de la unidad suprayacente Teut. Tiene consistencia a lo largo del depósito, por lo que se le utiliza como un horizonte marcador. Tiene una potencia que varía entre 5-20 metros.

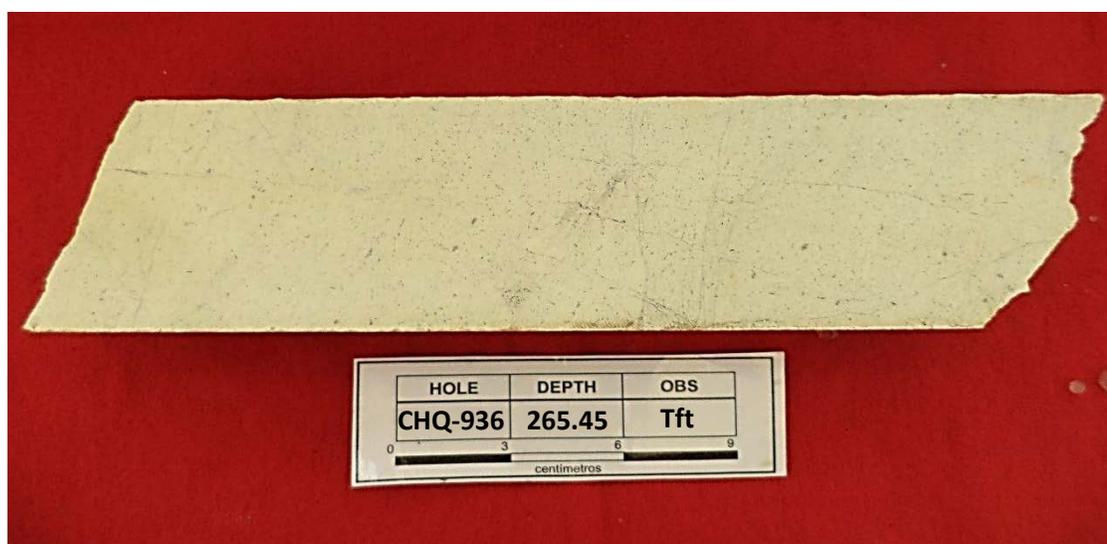


Foto 3.2. Se aprecia el tufo fino con intenso reemplazamiento de azufre nativo.

Al igual que la Unidad Andesita Inferior, esta unidad generalmente no está mineralizada, solo presenta una baja mineralización de oro (> 1 gr/t) en zonas cercanas a las fuentes de mineralización y en zonas de fuerte fracturamiento (relacionado al emplazamiento del dominio estructural). Esta unidad parece actuar como un límite a la migración de fluidos hidrotermales debido a que la unidad inmediata superior Teut está fuertemente mineralizada. Se interpreta que el contacto Tft-Teut proporciona un contraste de permeabilidad donde el Teut es comparativamente más poroso, de tal

manera que cuando los fluidos hidrotermales pasaron a través del Tft e ingresaron en el Teut, tuvieron la capacidad de migrar lateralmente formando cuerpos mineralizados de oro controlados estratigráficamente.

3.1.3. Unidad Tufo Transicional Eutaxítico

La unidad Tufo Transicional Eutaxítico (Teut) conforma la mayor parte de la Secuencia Piroclástica Yanacocha. Consiste en tufos ricos en cristales (feldespatos) y tufos de lapilli pobremente soldados, y con esporádicos fragmentos de cuarcita y cristales rotos de cuarzo. Localmente presenta una textura eutaxítica. También contiene niveles de brechas piroclásticas con líticos, bombas y fiames dentro de una matriz de cristales rotos, y niveles o lentes de tufos finos. El espesor de esta unidad piroclástica varía de 150 a 300 metros. Debido a su porosidad inherente, esta unidad está fuertemente alterada y mineralizada. Sobreyace directamente sobre el Tft en zonas interpretadas como cuencas deposicionales, y directamente sobre el LA en los bloques levantados adyacentes. El Tufo Transicional Eutaxítico es considerado una de las rocas hospedantes más favorable para la mineralización, y alberga la mineralización en sulfuros del depósito de Chaquicocha en sus 100 metros inferiores.



Foto 3.3. Se aprecia la unidad Teut con abundantes cristales subhedrales y reemplazados por azufre nativo, también venillas de sílice gris.

3.1.4. Unidad Tufo Lítico Superior

La unidad Tufo Lítico Superior representa la parte superior de la secuencia piroclástica Yanacocha. Consiste en andesitas feldespáticas y horbléndicas con esporádicos cristales de cuarzo y una textura eutaxítica con presencia de fiames alargados en la parte superior; y tufos de cristales de tamaño medio con fragmentos grandes a pequeños silicificados en la parte inferior. El contacto con la unidad inferior Teut es gradacional y es difícil determinarlo, especialmente cuando está fuertemente oxidado. En general, esta unidad está moderadamente mineralizada, especialmente en la zona de óxidos del depósito de Chaquicocha. En las zonas central y sur del depósito, la unidad está fuertemente lixiviada con leyes moderadas de oro. Sin embargo, la mineralización de oro en la zona de sulfuros no está hospedada en esta unidad.

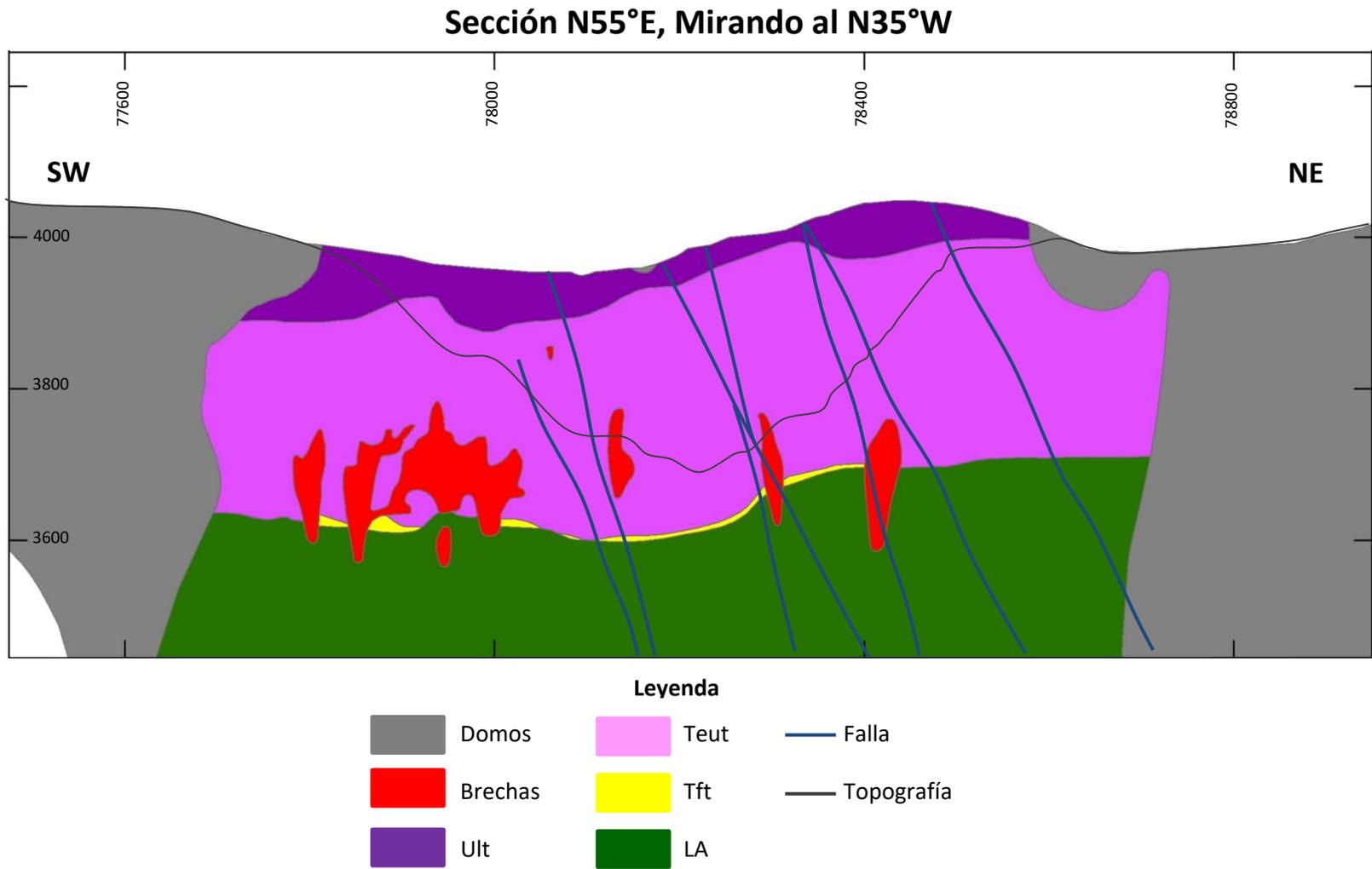


Figura 3.6. Sección A-A' de litología del depósito Chaquicocha

3.1.5. Unidad Andesita Superior

Posteriormente a los ciclos volcánicos explosivos y eruptivos que depositaron las unidades Teut y Ult, el distrito entró en una fase menos violenta de diques y domos. Localmente se depositaron tufos ricos en cristales (feldespatos), posiblemente como resultado de erupciones dómicas, cuando el magma entra en contacto con rocas volcánicas con contenido de agua (Saderholm et al., 2002). Estos niveles andesíticos forman parte de la secuencia andesítica superior. Están constituidos por flujos lávicos y domos (como el Domo Montura) mostrando una matriz porfirítica con fenocristales de feldespato subhedrales-euhedrales medianos a grandes. Dentro de esta secuencia lávica también se encuentra flujos lávicos con cristales pequeños a medianos de feldespato y presencia de esporádicos cristales de cuarzo. Estos niveles generalmente son impermeables y no están mineralizados. Sin embargo, en otros depósitos como Yanacocha Norte y Tapado, existe mineralización de oro en el contacto entre esta unidad y el Teut, debido al fuerte contraste de permeabilidad entre estas unidades, este contacto sirvió como conducto para el ascenso de fluidos.

3.1.6. Brechas

La ocurrencia de cuerpos de brechas con diferentes características es común en ambientes epitermales. Constituyen muchas veces cuerpos mineralizados, con fragmentos líticos ligados por una matriz y cuyo cemento puede ser sílice, producto de

la silicificación del sistema epitermal, o en el caso de las asociadas a mineralización pueden ser minerales hidrotermales.

Los fragmentos o clastos provienen de roca fragmentadas, son progresivamente molidas mientras mayor es la deformación. Algunas brechas contienen solo fragmentos de la roca encajante (piroclastos) o fragmentos ajenos introducidos dentro del cuerpo de la estructura brechada. La matriz puede ser roca molida derivada localmente o material rocoso introducido de granulometría más fina que los fragmentos que rellena los espacios entre los fragmentos.

La presencia de estas estructuras de brechas tiene un origen freático e hidrotermal. Muchas veces estos cuerpos de brechas freáticas fueron afectados por fluidos hidrotermales cargados de iones metálicos aprovechando zonas de debilidad, de tal forma que los mineraliza convirtiéndose posteriormente en una brecha hidrotermal. Los sistemas de fallas estarían controlando cuerpos de brechas a cierta profundidad del depósito.

3.1.6.1. Brechas Freáticas

Son cuerpos de origen explosivo sub-verticales a sub-horizontales. Contienen fragmentos sub-angulares a redondeados envueltos en una matriz de polvo de roca arenosa y homogénea. Varían desde matriz soportada a clasto soportada. Generalmente estas brechas son monolíticas, pero también se han observado, en menor cantidad, algunas heterolíticas, incluyendo aquellas que contienen fragmentos

de brechas previamente formadas. Estas brechas freáticas comúnmente contienen mineralización de azufre nativo que se presenta como componente de grano fino en la matriz, rellenando cavidades (generadas por lixiviación) y reemplazando sulfuros euhedrales-subhedrales.



Foto 3.4. Se aprecia una brecha freática con fragmentos angulosos a sub-angulosos algunos reemplazados por azufre

Las brechas freáticas generalmente están débilmente a moderadamente mineralizadas. Una pequeña parte del recurso de Chaquicocha Sulfuros esta hospedado en brechas freáticas.

3.1.6.2. Brechas Hidrotermales

La ocurrencia de brechas hidrotermales en el depósito está asociada a inyecciones de fluidos hidrotermales en brechas freáticas previamente formadas. Contienen fragmentos angulares a sub-angulares en una matriz cuarzosa de grano fino asociado a minerales hidrotermales (óxidos de hierro, calcedonia, alunita y sulfuros) que rellenan parcial o totalmente las oquedades formadas por las rocas fragmentadas. Comúnmente son monolíticos. En Chaquicocha, las brechas hidrotermales se presentan estratiformes y controladas por estructuras (“feeders”) de alto ángulo. Varían en la relación clasto-matriz y por leyes de oro.



Foto 3.5. Se aprecia una brecha hidrotermal con textura rotacional (centro) a craquel (bordes), matriz rellena con sulfuros (pirita y enargita)

3.2. Alteración Hidrotermal

El zoneamiento de alteración en Chaquicocha es típico de un depósito epitermal de alta sulfuración. Se origina en respuesta a la progresiva neutralización y enfriamiento de los fluidos hidrotermales ácidos por reacción de la roca encajonante (Steven & Rate, 1960; Stoffregen, 1987). En general, la alteración sílice masiva se presenta en el núcleo del depósito, y hacia los bordes se genera una zona intensamente lixiviada con textura vuggy y granular. Pasando la zona del núcleo se desarrolla la alteración argílica avanzada y argílica, principalmente asociados a los márgenes de los flujos lávicos y domos. La alteración argílica avanzada comprende zonas con alunita, arcillas y sílice, y comúnmente es el límite de la mineralización económica de oro. La alteración argílica gradada hacia afuera a una alteración propilítica y luego a roca fresca. Zonas con sílice opalina son raras y ocurren cerca a la superficie. Sobreimponiéndose a la alteración hidrotermal se presenta una sílice calcedónica crema, esta coloración es distintiva y se debe a inclusiones de óxidos de titanio dentro de la calcedonia. La sílice crema se interpreta como resultado de una alteración por fluidos de sulfuración intermedia.

3.2.1. Alteración Sílice Masiva

La alteración sílice masiva es la más importante y dominante en el depósito debido a que hospeda las altas leyes de oro. Forma parte del núcleo de zoneamiento de alteración. Gran parte del recurso de Chaquicocha Sulfuros está hospedado en esta

alteración. Contiene cuarzo microcristalino masivo (generalmente < 0.05mm, raras veces hasta 0.2mm) con muy baja porosidad y permeabilidad. Esta alteración oblitera la textura original de la roca.

La alteración sílice masiva en Chaquicocha se interpreta que se formó cuando la solubilidad de la sílice disminuyó y la composición de los fluidos cambió, se enfrió, y el pH aumentó a través de la reacción roca-fluido.

Está presente principalmente en la unidad Teut donde se desarrolló en grandes cuerpos subhorizontales. En la unidad Ult se presenta en cuerpos pequeños y aislados. En el Tft se desarrolló prácticamente en su totalidad. Mientras que en el LA solo se desarrolló en los niveles piroclásticos superiores (tufos de cristales y tufos líticos con cristales), sin embargo las leyes de oro son bajas a medianas (0.3g/t – 1.0g/t) restringidas a estructuras mayores y brechas hidrotermales.

3.2.2. Alteración Sílice Vuggy

La alteración sílice vuggy es un huésped dominante de la mineralización de oro de baja ley en la zona de óxidos, sin embargo es un huésped menor del recurso de Chaquicocha Sulfuros. La característica de este tipo de alteración es la presencia de oquedades, que pueden haber sido fenocristales, pómez o fragmentos líticos de la roca original. Se desarrolla en cuerpos sub-horizontales en el depósito, que estaría evidenciando el nivel de las fluctuaciones freáticas dentro del depósito. Según el

registro de logeos de los sondajes diamantinos se ha podido identificar tramos donde la alteración sílice vuggy está pasando a sílice granular, esto es debido al descenso de pH del fluido hidrotermal, que genera vapores altamente ácidos. En algunos tramos grada a sílice masiva, donde las oquedades son rellenadas por sílice. Generalmente se desarrolla en rocas volcánicas ricas en cristales, y debido a su textura oquerosa provee una alta porosidad y permeabilidad a la roca lo que origina conductos para los fluidos hidrotermales.



Foto 3.6. Izquierda: Se aprecia una muestra de roca con textura oquerosa producto de la lixiviación de los cristales, pertenece a la unidad Teut. Derecha: Se aprecia una muestra de roca con alteración sílice masiva. Presenta tonos grises producto de la sílice gris, y tono cremosos por la inyección de sílice crema.

3.2.3. Alteración Sílice Granular

La alteración sílice granular no es común en el depósito de Chaquicocha Sulfuros, sin embargo al igual que la sílice vuggy es un huésped predominante en la zona de óxidos de baja ley. Esta alteración presenta desde una textura sacaroidea (deleznable) hasta compacta, de color blanquecino a gris, con granos de cuarzo sub-redondeados (0.1 – 0.5 mm de diámetro). Mayormente, la textura original de la roca esta obliterada. Se desarrolla en cuerpos sub-horizontales en el depósito, y en los contactos entre los domos y las unidades piroclásticas.

Esta alteración en el depósito se interpreta que se formó producto de la ebullición (fase vapor) de los fluidos hidrotermales durante una intensa lixiviación ácida.



Foto 3.7. Se aprecia un afloramiento con alteración sílice granular, de color blanquecino, con manchas de óxidos y muy deleznable.

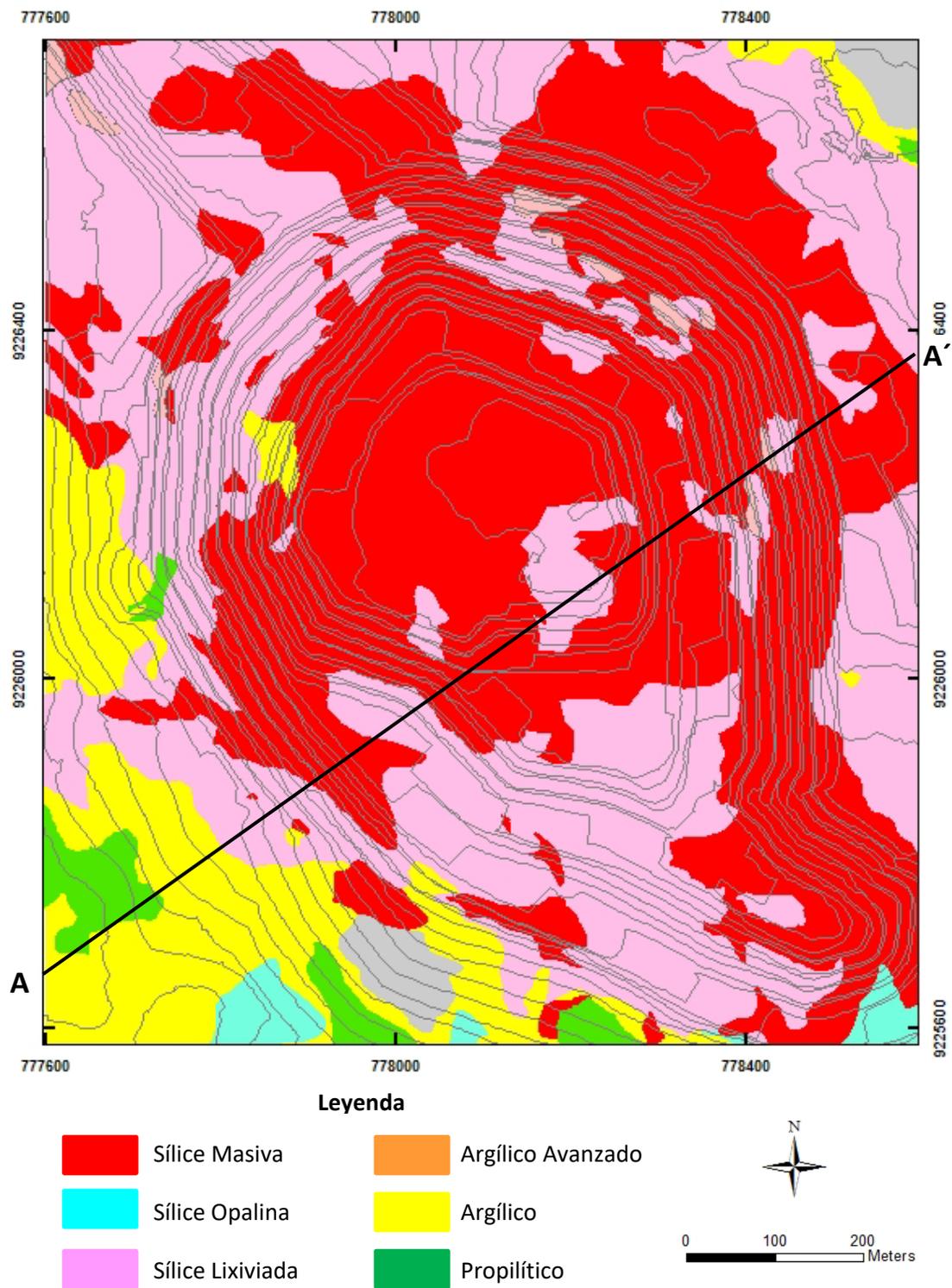
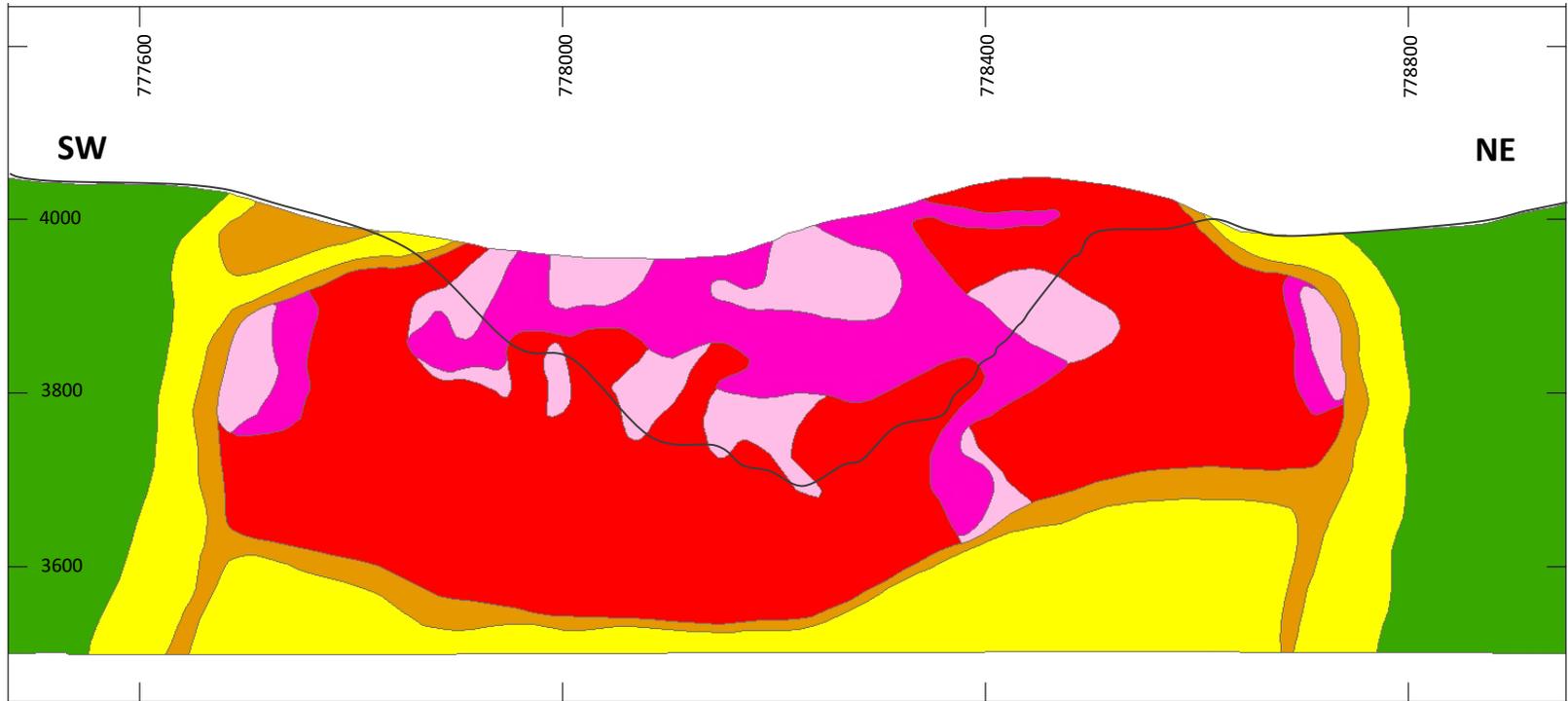


Figura 3.4. Plano de superficie de alteraciones hidrotermales del depósito Chaquicocha

Sección N55°E, Mirando al N35°W



Legenda

- | | |
|---|---|
|  Sílice Masiva |  Argílico Avanzado |
|  Sílice Vuggy |  Argílico |
|  Sílice Granular |  Propilítico |

Figura 3.5. Sección A-A' de alteraciones hidrotermales del depósito Chaquicocha

3.2.4. Alteración Argílica Avanzada

Generalmente la alteración argílica avanzada está relacionada a los márgenes de los domos y flujos, y a profundidad en los niveles porfiríticos (flujos lávicos) de la unidad LA. Esta alteración no está presente en el recurso de Chaquicocha Sulfuros, y es un hospedante menor en la zona de óxidos de baja ley.

La alteración argílica avanzada está constituida por sílice, alunita, pirofilita, y arcillas (caolinita, illita y esmectita). En ocasiones presenta una textura “patchy” con el ensamble sílice-alunita y disseminaciones de pirita, borrando la textura original de la roca, no obstante, normalmente la textura de la roca se conserva. Las arcillas aumentan a medida que se aleja de la fuente hidrotermal.

3.2.5. Alteración Argílica

La alteración argílica es muy común encontrarla distal del evento hidrotermal caliente del cuerpo de sílice, se localiza colindante del halo de la alteración argílica avanzada (ensamble sílice-caolín), desarrollándose principalmente en las rocas de textura porfirítica, ya sea en los domos y flujos lávicos de la unidad LA en profundidad. En esta alteración predominan las arcillas sobre la sílice (< 30% del total de roca) y está constituida principalmente por caolinita, esmectita, dickita e illita.

Esta alteración, al igual que la argílica avanzada, no está presente dentro del recurso de Chaquicocha Sulfuros y alberga poca mineralización de oro de baja ley en la zona de óxidos.

3.2.6. Alteración Propilítica

Esta alteración se ha desarrollado en las rocas porfíricas de los cuerpos de domo y en las secuencias de flujos de lava de la unidad LA relacionado a niveles profundos del depósito. La matriz de la roca presenta débil a moderada cloritización con fina diseminación de pirita, observándose una roca de color ligeramente verde. Presenta cristales euhedrales de plagioclasas y máficos. Los cristales de plagioclasa están débilmente alterados a arcillas y las hornblendas se encuentran ligeramente alteradas pasando a pirita (muy esporádico). La textura original de la roca esta preservada.

La alteración propilítica no alberga mineralización de oro en la zona de sulfuros ni en la zona de baja ley en óxidos.

3.3. Geología Estructural

La presencia de estructuras influye mucho para el transporte y deposición de la mineralización de oro. Existen dominios estructurales principales que han originado zonas de bonanza (altas concentraciones de oro) en algunos sectores del depósito, ya

sea en niveles someros y poco profundos del sistema relacionados a zonas de óxidos o en niveles más profundos relacionados a zonas de sulfuros.

Se recopiló data de cartografía estructural de superficie y del tajo para interpretar el comportamiento estructural de todo el depósito Chaquicocha, y data de medidas de estructuras de taladros para interpretar el comportamiento estructural del depósito Chaquicocha Sulfuros.

3.3.1. Sistema de Fallas

En el depósito Chaquicocha, las fallas tienen tres orientaciones principales: NNO, NE y EO; pero se interpreta que el control estructural en Chaquicocha tiene una orientación NNO (sistema La Champa) (Nelson, 2010), sin embargo los controles NE (sistema La Fuente) y EO (sistema Paty) también tienen importancia en el depósito Chaquicocha Sulfuros debido a que la ubicación y distribución de las brechas hidrotermales (rocas favorable para la mineralización de alta ley de oro) están controladas por la intersección de las fallas NNO con NE y EO.

Las estrías observadas en los planos de falla tienen alto ángulo, indicando que los movimientos de las fallas son más verticales que horizontales. Mediciones de la cinemática de las fallas en el depósito Chaquicocha indican un comportamiento normal de las fallas (Nelson, 2010).

Algunas fallas presentan alteración hidrotermal en la roca caja, otras están rellenas por brechas hidrotermales, todo esto indica un control estructural de la mineralización.

La falla “La Champa” (sistema NNO) es uno de los controles de mineralización dominantes en la zona de óxidos y sulfuros, es de alto ángulo y atraviesa el depósito de Chaquicocha de sur a norte con dirección N 30°-40° O y con buzamientos de 80°-85° NE. Presenta una zona de falla de 5 a 10 metros de ancho con algunas brechas relleno fallas menores. El sistema noreste (La Fuente) son fallas del tipo normal con rumbo N25-40E con inclinaciones sub-verticales, con buzamientos 75°-85° al SE y NO, muchas de estas fallas forman pequeños bloques levantados y bloques hundidos. El tercer sistema de fallas es el EW, o también llamado “Paty”, está representado por fallas tensionales discontinuas con inclinaciones sub-verticales y rumbo E-W. En el campo es muy evidente este sistema de fallas, presentan un relleno de arcillas y gravas con óxidos de hierro.

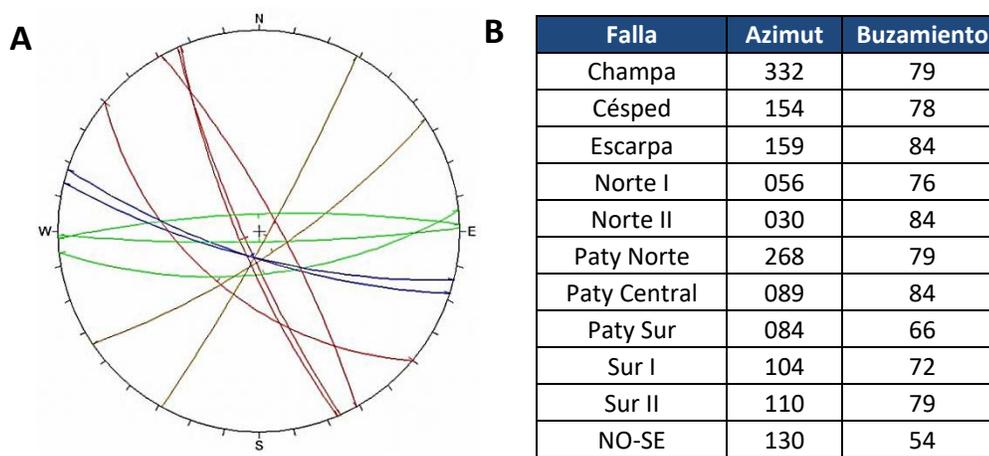


Figura 3.6. Izquierda: Diagrama mostrando los planos de los sistemas principales de fallas. Derecha: Tabla con los nombres de las fallas y sus azimuts y buzamientos promedios.

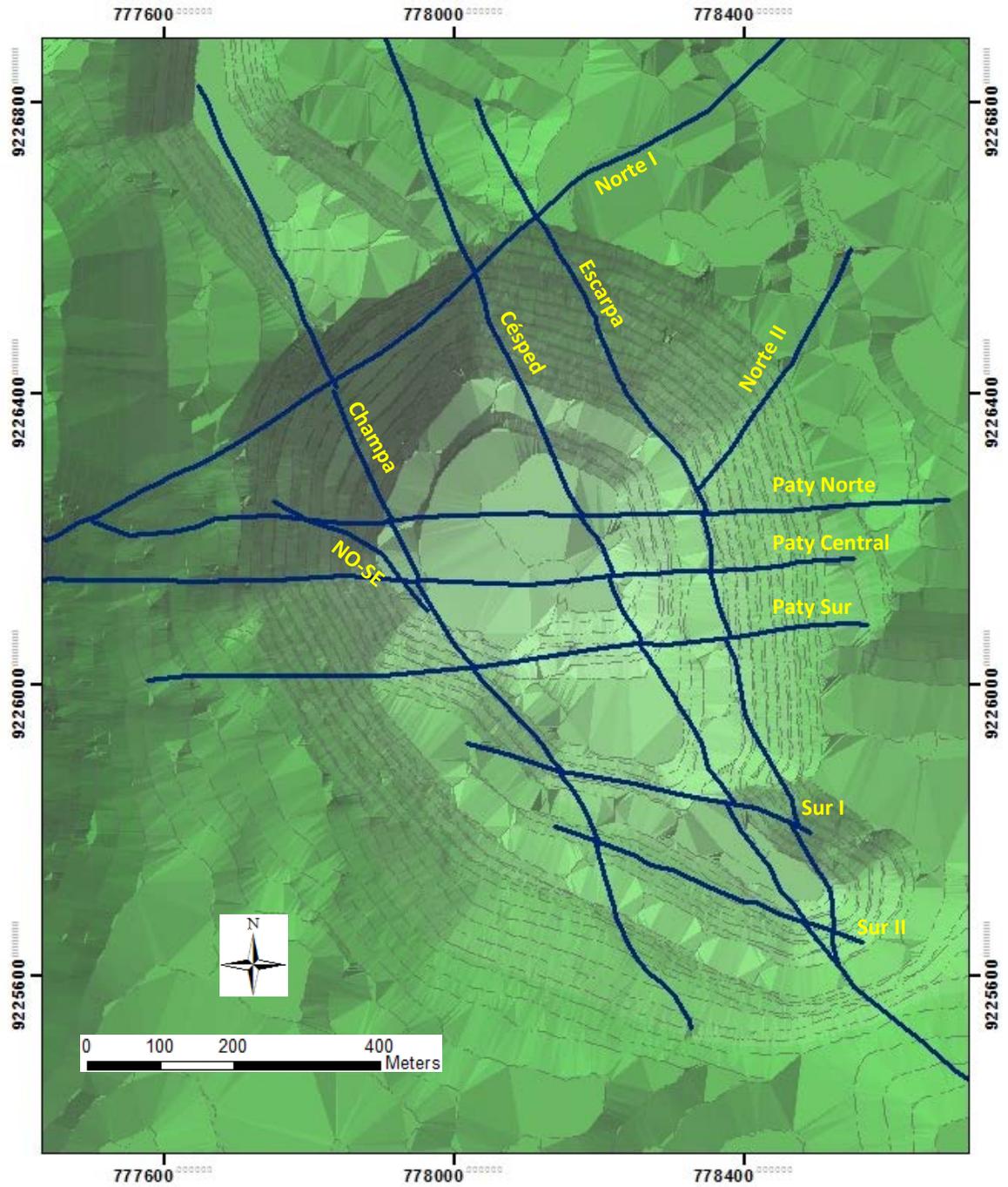


Figura 3.7. Plano mostrando las fallas principales del depósito.

3.3.2. Sistemas de Fracturas

El sistema de juntas o fracturas que se presenta en el depósito Chaquicocha muestra 3 tendencias principales, las mismas que se observan en el sistema de fallas:

- N 30°- 65° O
- N 35°- 45° E
- W 5°-15° S

Estos sistemas de fracturas van a conformar familias y dominios en algunos sectores del depósito muy marcados, muchas de estas fracturas se van a prolongar centenares de metros. De las tres tendencias principales, la que más predomina en la data medida en el tajo es la NE, luego le siguen las NO y E-O.

El análisis cualitativo de la frecuencia de fracturas sugiere que estas se han desarrollado mejor en la roca silicificada, interpretando así que las fracturas se formaron después de la alteración hidrotermal y mineralización (Nelson, 2010).

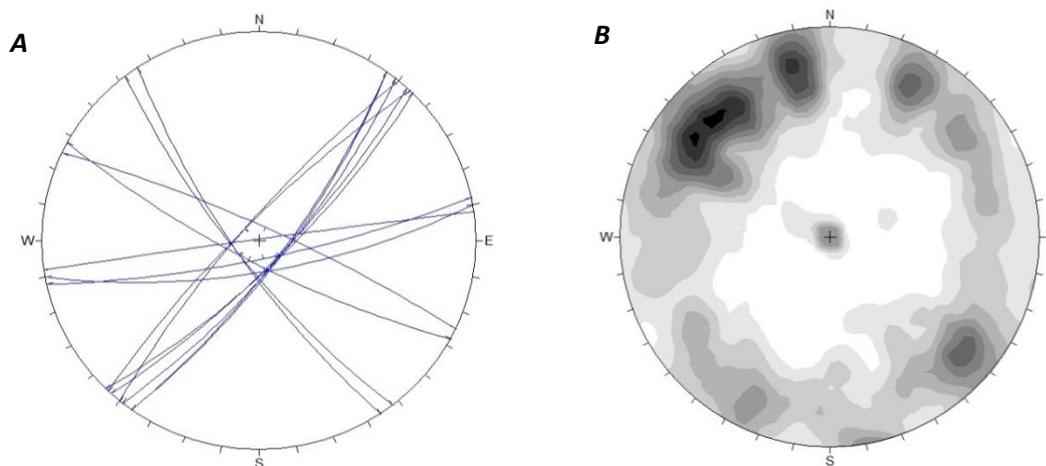


Figura 3.8. Diagramas mostrando las orientaciones de las fracturas medidas en el tajo.
A. Planos principales B. Densidad de polos

3.3.3. Brechas

El depósito de Chaquicocha presenta dos tipos principales de cuerpos de brecha: brechas hidrotermales (BxH) y brechas freáticas (BxF). Según lo observado en campo y en taladros, muchas brechas mineralizadas (BxH) son controladas por brechas freáticas pre-existentes. Cabe resaltar que las brechas que tienen de relleno en la matriz azufre nativo se consideran como brechas freáticas. Estos cuerpos muestran dos tendencias principales, según la data medida en campo:

- NNO en las brechas hidrotermales relacionadas al sistema de fallas “La Champa”
- NE en las brechas freáticas relacionadas al sistema de falla “La Fuente”, y en menor escala NO.

Los cuerpos de brecha pueden tener formas desde tabulares hasta irregulares. Algunos cuerpos de brecha son sub-paralelos a la estratificación o a los contactos entre las secuencias volcánicas. Sin embargo, otros cuerpos de brecha han tenido como protolito una brecha piroclástica (volcanoclástica), especialmente en la unidad volcánica LA, y no se han considerado como brecha hidrotermal ni freática.

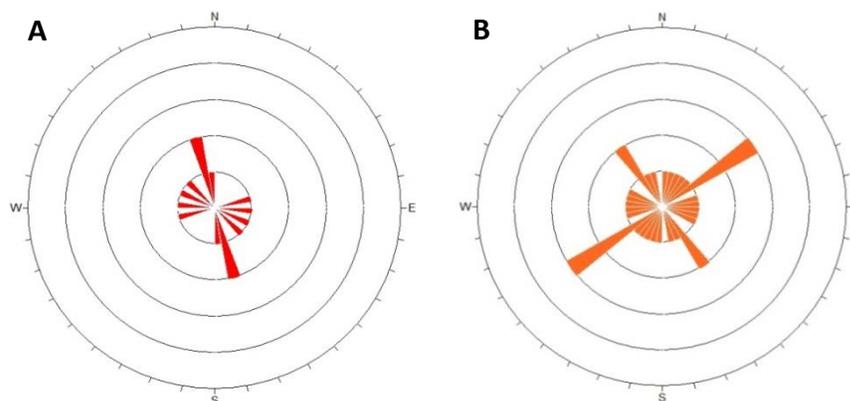


Figura 3.9. Diagramas de rosas mostrando las orientaciones de las brechas medidas en el tajo.
A. Brechas Hidrotermales **B. Brechas Freáticas**

3.3.4. Venillas

El análisis de las venillas muestra diferentes orientaciones, predomina la tendencia NE, luego la NO y por último la E-O:

- N 35°-65° E
- N 25°-35° O
- E-O

Sin embargo si se analiza por tipo de relleno, se observa que las venillas de sílice gris y crema presentan una tendencia NW, y las venillas de sílice blanca preferentemente se orientan en sentido este-oeste.

Por ubicación en el tajo, se observa que las venillas en el lado oeste del tajo tienen una orientación NO con un buzamiento hacia el SO. Esto es debido a que hacia el lado oeste se ubica la falla “La Champa” que tiene orientación noroeste. En cambio, hacia el lado este del tajo, las venillas tienen una orientación noreste, las cuales estarían relacionadas con el sistema de fallas “La Fuente”.

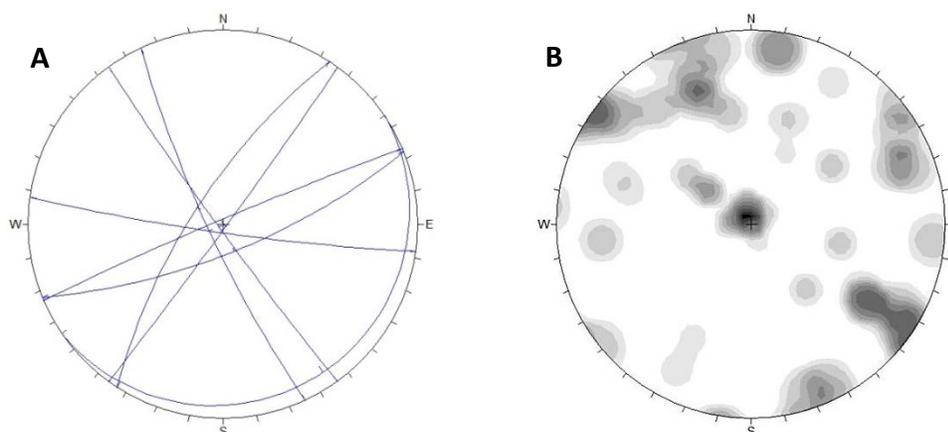


Figura 3.17. Diagramas de rosas mostrando las orientaciones de las venillas medidas en el tajo.
A. Planos principales B. Densidad de polos

3.3.5. Análisis de Estructuras de Taladros Orientados

El objetivo del análisis es identificar y establecer los dominios estructurales en profundidad (zona de sulfuros) y la relación con los sistemas estructurales en superficie.

El análisis de datos de orientaciones de estructuras se realizó en 77 taladros orientados (línea HQ) perforados en los años 2012 y 2013. Estos taladros fueron perforados en la zona de Chaquicocha Sulfuros, algunos de estos taladros fueron perforados desde superficie, cortando primero la zona de óxidos para luego llegar a la zona de sulfuros. Solo se han considerado las mediciones de estructuras en la zona de sulfuros.

Los tipos de estructura que se han considerado en el análisis son: fallas, brechas freáticas, brechas hidrotermales, venillas, fracturas y fracturas mineralizadas. Las venillas y fracturas mineralizadas presentan hasta tres minerales de relleno.

Tabla 3.1. Tabla mostrando los códigos y la cantidad de medidas para cada tipo de estructura.

Datos de Taladros Orientados		
Tipo	Código	Cantidad
Fractura	JOI	3971
Fractura Mineralizada	JMI	6219
Brecha Freática	BXF	45
Brecha Hidrotermal	BXH	60
Venilla	VEI	525
Falla	FLT	15

3.3.5.1. Metodología de Trabajo

Para obtener la línea de orientación en el testigo se utilizó el instrumento *ACT-Reflex*. Una vez realizada la corrida, este instrumento se coloca en el acople (*Sensor Reflex*) conectado al tubo interior y se gira en sentido horario hasta obtener la medida correcta. Luego que el tubo interior está en la posición correcta, se pone una marca en el frente del testigo y con la ayuda de una regla se dibuja una línea a lo largo de todo el testigo. En casos donde la roca está muy fracturada no se realizó este procedimiento.

Posteriormente, para obtener las medidas de orientaciones, el método que se utilizó fue medir dos ángulos “ α ” y “ β ” con un instrumento llamado *Kenómetro* y luego con una fórmula se calculan los ángulos de azimut y buzamiento.

Las mediciones de los testigos orientados se ordenaron de tres maneras y a cada una se le analizó las orientaciones utilizando diagramas de rosas:

- Las mediciones se ordenaron por tipo de estructura.
- Se dividió por ubicación de los taladros según las fallas.
- Los datos de venillas (Vein) y fracturas mineralizadas (JM) fueron ordenadas según el relleno que presentan (sílice crema y gris, enargita, covelita, etc.). Sin embargo no se utilizó el total de datos debido a que algunos datos no presentaban el tipo de relleno, sólo está especificado que el relleno es sulfuro.

No se utilizaron las estructuras cuyos rellenos fueron óxidos.

3.3.5.2. Resultados e Interpretación

Se realizó el análisis de las mediciones por tipo de estructura: fracturas, fracturas mineralizadas, venillas, brechas freáticas, brechas hidrotermales y fallas. En la Figura 3.18 se observa que las seis estructuras muestran tres tendencias principales:

- N 10°-30° O (NNO)
- N 30°-60°O (NO)
- E-O

La tendencia estructural NNO es la más dominante de las tres y presenta ángulos de inclinación hacia el NE y SO; este dominio estructural está relacionado al sistema de fallas NNO, llamado “La Champa”. La segunda tendencia predominante es la NO, con ángulos de inclinación preferentemente hacia el SW; este dominio ha sido influenciado por el sistema de fallas NO. Y el tercer dominio estructural es el E-O, con ángulos de buzamiento hacia el norte y sur; este dominio está relacionado al sistema de fallas E-O, llamado “Paty”.

Las brechas hidrotermales presentan una tendencia adicional N 10°-20° E. Esta tendencia podría estar influenciada por la proyección de la falla Norte II hacia el SO. Los taladros que presentan estos datos están ubicados en la parte central del tajo, justo en la proyección de esta falla.

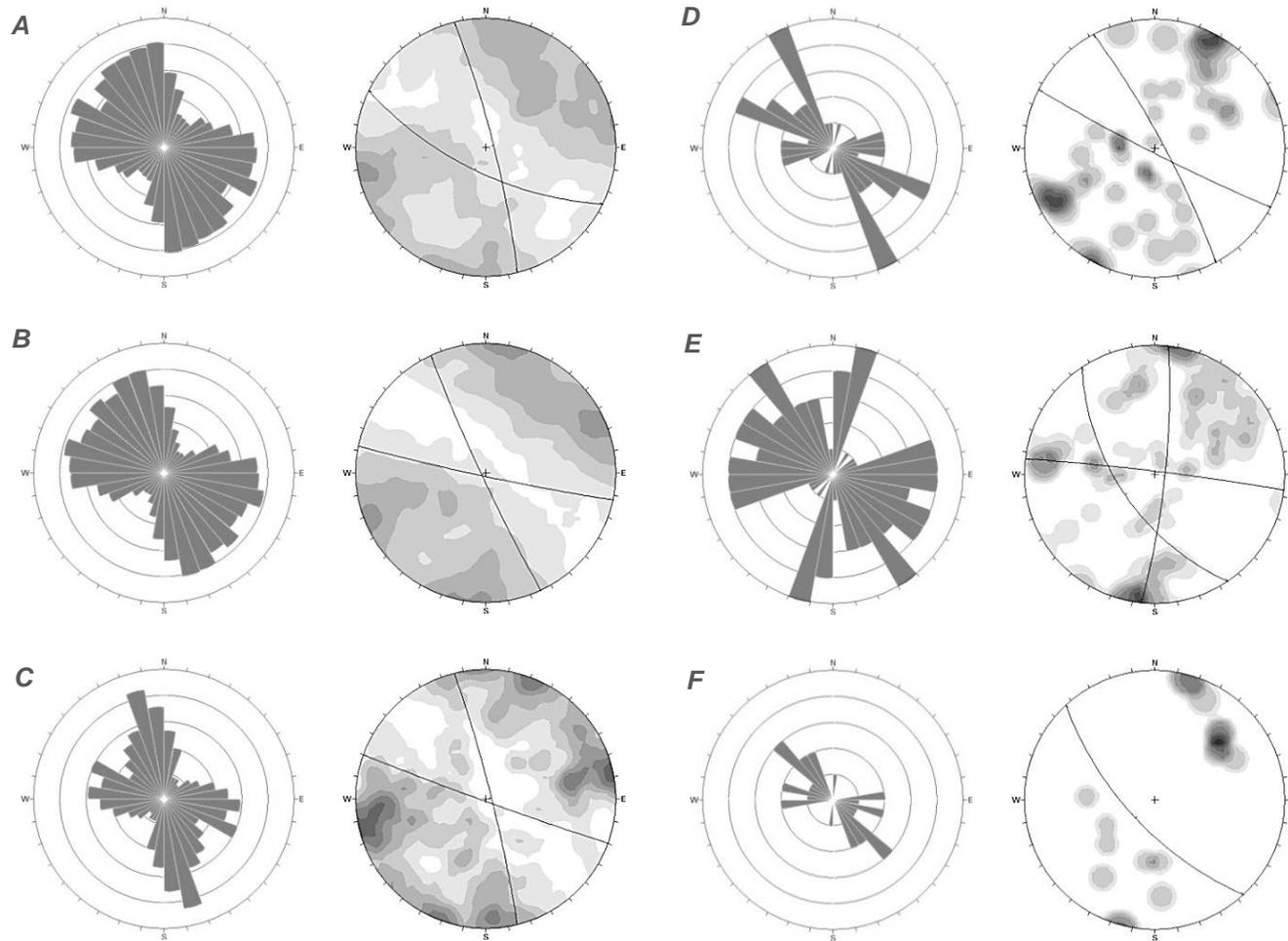


Figura 3.11. Diagramas de rosas (izquierda) y de densidad de polos (derecha) para cada tipo de estructura. A. Fracturas. B. Fracturas Mineralizadas. C. Venillas. D. Brechas Freáticas. E. Brechas Hidrotermales. F. Fallas.

Observando los buzamientos de las brechas freáticas e hidrotermales, se observa que cerca del 20% tiene una inclinación por debajo de los 30°, sugiriendo que pudieron haber sido controlados por la estratificación de las secuencias volcánicas de la unidad Teut.

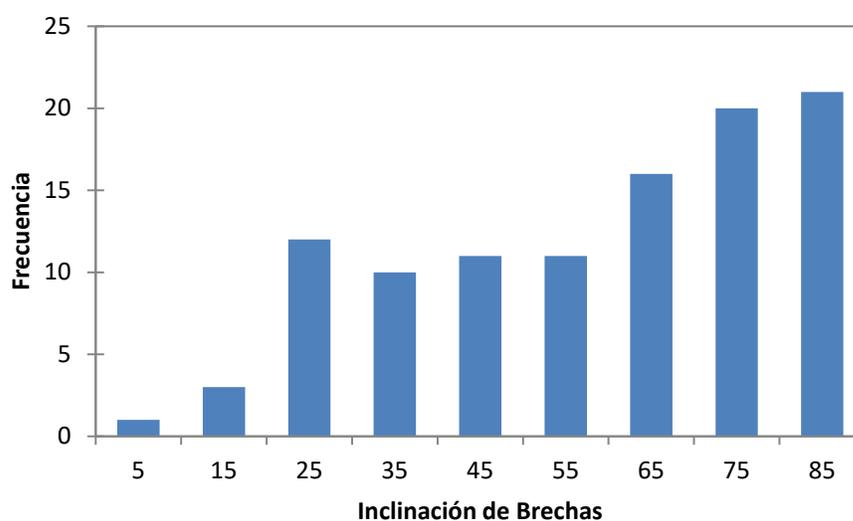


Figura 3.12. Histograma mostrando las inclinaciones de las brechas

Seguidamente se realizó el análisis según la ubicación del taladro en el depósito. Se dividieron en grupos tomando como referencia las fallas, con el objetivo de conocer si existen zonas con tendencias diferentes a la principal, que pueden estar influenciadas por la falla más cercana. A su vez cada grupo se dividió por tipo de estructura, para determinar si alguna estructura presenta una tendencia principal diferente a las demás.

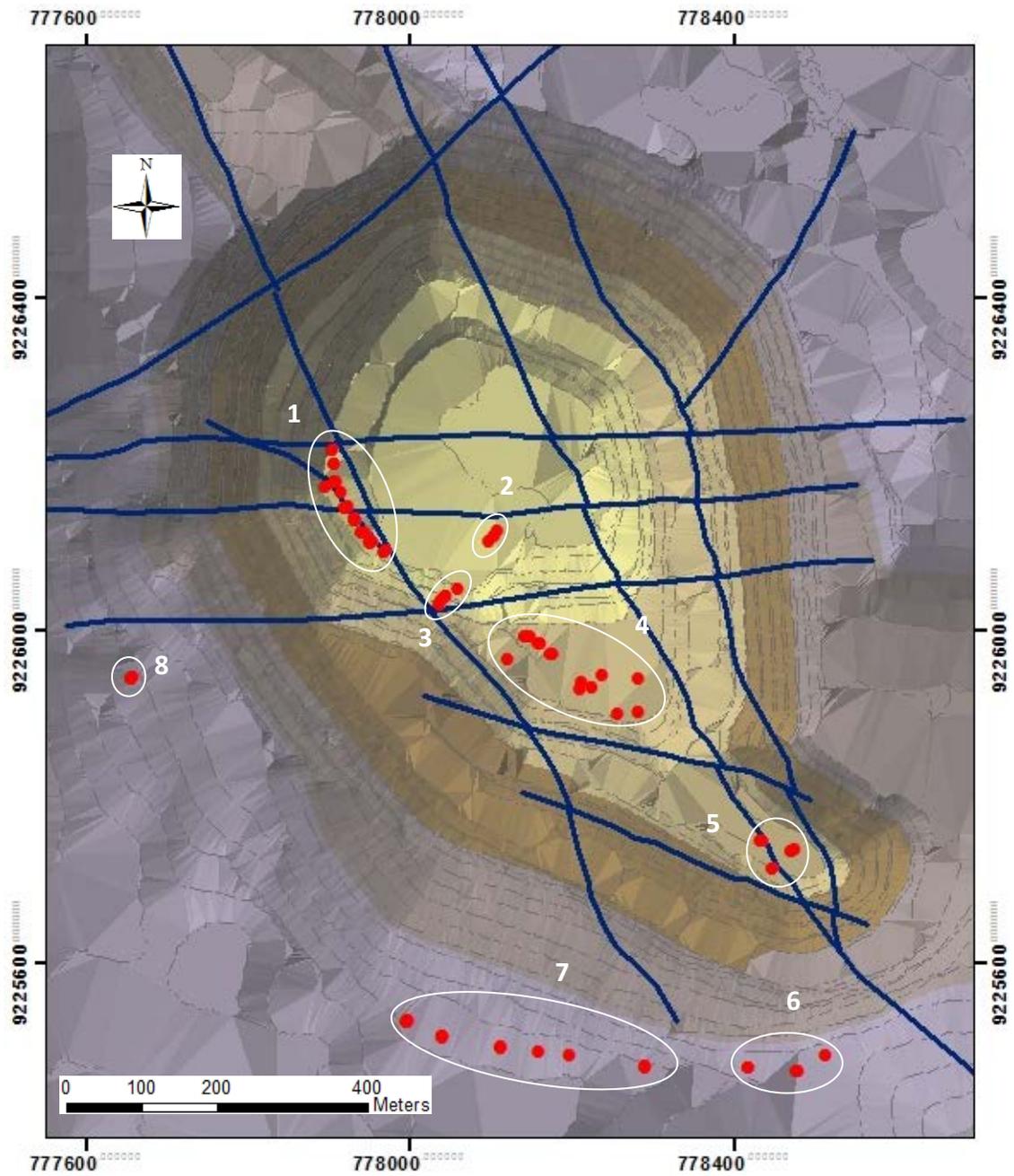


Figura 3.13. Plano del depósito de Chaquicocha mostrando las ubicaciones de los taladros y las zonas.

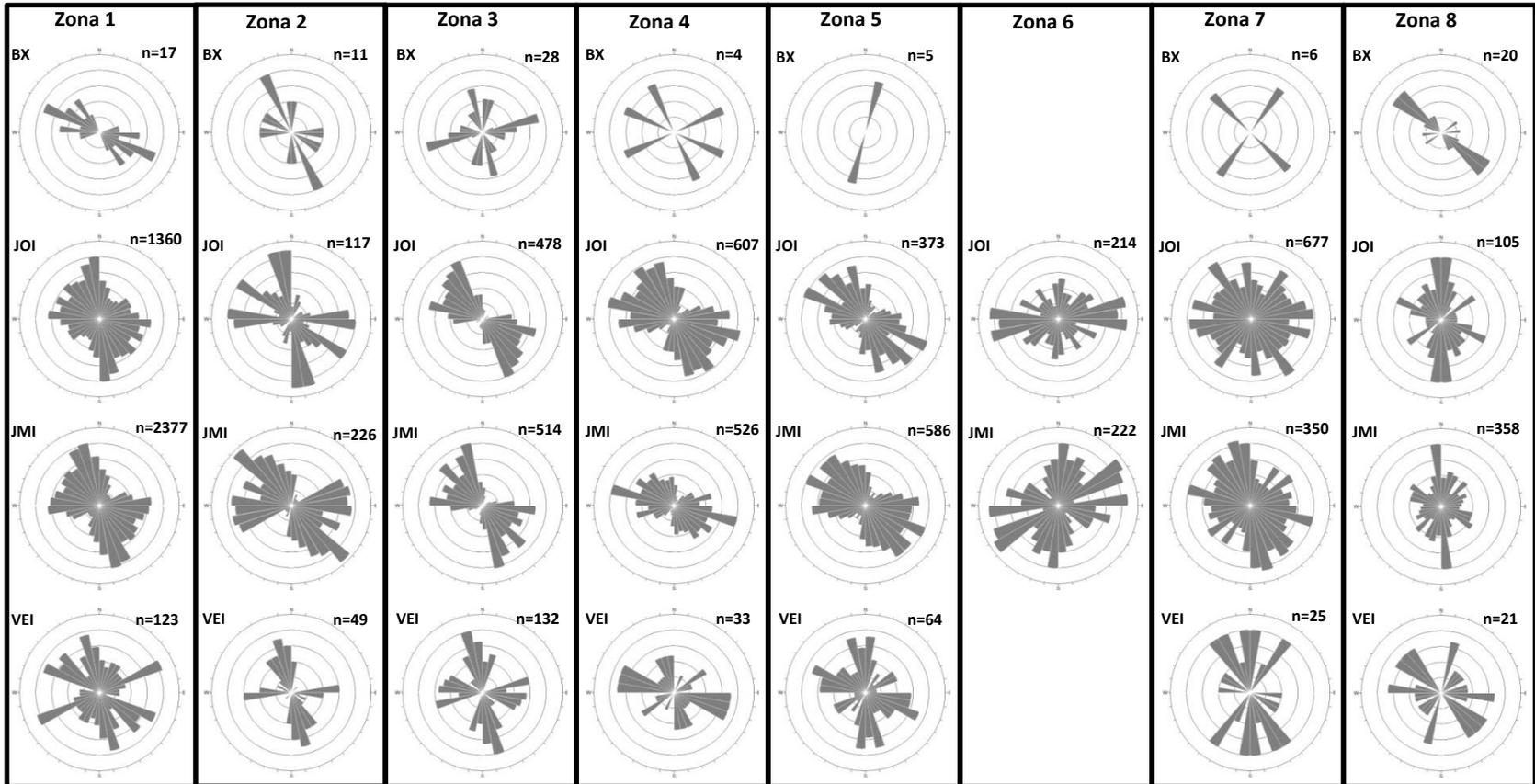


Figura 3.14. Diagramas de rosas ordenados por zona y por tipo de estructura. La zona 6 no presenta datos de brechas ni de venillas. BX representa las brechas freáticas e hidrotermales. JOI representa a las fracturas. JMI representa a las fracturas mineralizadas. VEI representa a las venillas. “n” es la cantidad de datos.

En las zonas 1, 2 y 3 se pueden apreciar hasta tres tendencias, la principal es NNO relacionado al sistema “La Champa”, luego se observa una tendencia E-O relacionado al sistema “Paty” y por último una tendencia NO influenciada por la falla NO-SE. Como se puede observar en la Figura 3.21, estos tres sistemas de fallas están afectando a las tres primeras zonas, corroborando así la relación entre las tendencias de las estructuras en los diagramas y los sistemas de fallas.

En las zonas 4 y 5 se observa que la tendencia principal es N 60°-80° O y una segunda tendencia con N 30°-50° O, ambas relacionadas a las fallas Sur I y Sur II; también se observa una tendencia NNO (sistema “La Champa”) y una más débil E-O (sistema “Paty”).

En la zona 6 la tendencia principal es E-O, una segunda tendencia es N 50°-70° E y también se observa una más débil N-S. En la zona 7 no hay una clara tendencia principal, se observan hasta cuatro: NNO, NO, E-O y NE. Cabe mencionar que en estas dos zonas los taladros han cortado en los primeros 150 metros (como promedio) la unidad UphA y luego pasaron a la secuencia piroclástica. Sin embargo, a pesar de ser otra unidad, las tendencias estructurales son las mismas (Figura 3.22).

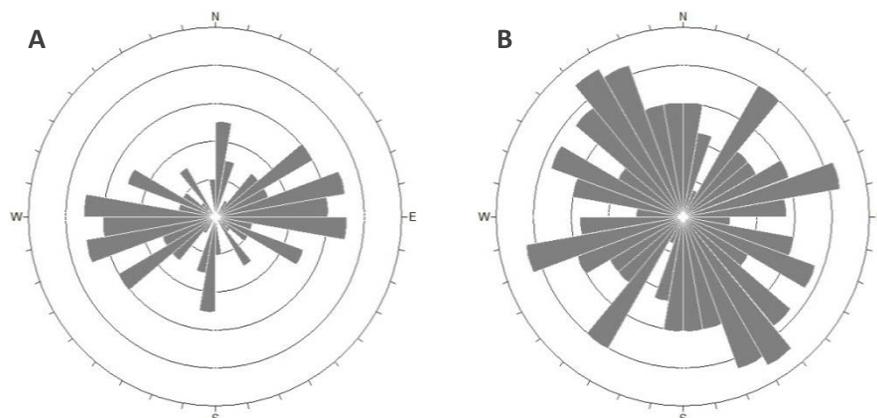


Figura 3.15. Diagramas de rosas de estructuras en la unidad UphA. A. Zona 6. B. Zona 7

En la zona 8 se observa que la tendencia principal es N-S, probablemente debido a que hacia el oeste del tajo se presenta un sistema de fallas N-S; también se observan dos tendencias de menor prioridad: NO y NE. Sin embargo, en las brechas y venillas se observa que la tendencia principal es NO. No se observa una influencia significativa del sistema de fallas E-O, como se podría inferir debido a su cercanía.

El último análisis se realizó en las venillas. Se las dividió por tipo de relleno considerando sólo los sulfuros de cobre, pirita, sílice crema, gris y azufre nativo. En las venillas de sulfuros de cobre y pirita se observan dos tendencias principales: NNO y E-O las cuales se relacionan con los sistemas de fallas “La Champa” y “Paty” respectivamente. En las venillas de sílice crema las tendencias son NO y E-O, y en las venillas de sílice gris son NNO y NO. En la Figura 3.21 se observa que en las zonas 1, 4, 5 y 7 en los diagramas de rosas de venillas presentan una tendencia débil a moderada hacia el NE. Esta tendencia se relaciona a las venillas que tienen como relleno al azufre nativo y en menor cantidad la pirita (Figura 3.23).

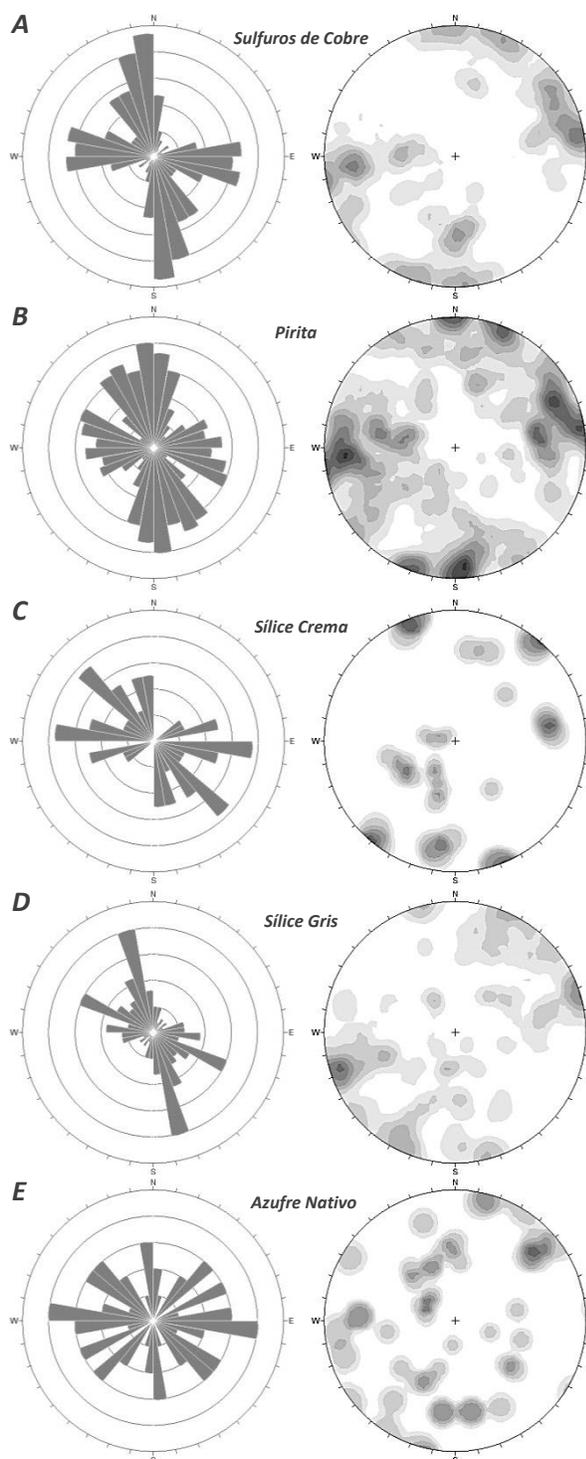


Figura 3.16. Diagramas de rosas (izquierda) y de densidad de polos (derecha) para cada tipo de venillas. A. Sulfuros de cobre. B. Pirita. C. Sílice Crema. D. Sílice Gris. E. Azufre Nativo

Los resultados muestran que los dominios estructurales que controlan la mineralización de oro en la zona centro-oeste del tajo Chaquicocha (zona donde se ubican los cuerpos con altas leyes de oro) son los sistemas NNO, “La Champa”, y E-O, “Paty” (tal como se puede apreciar en las zonas 1, 2, 3 y 4 de la Figura 3.21). Hacia el sur la tendencia NNO se vuelve NO (zonas 4 y 5 de la Figura 3.21), y más al sur (fuera del tajo) no hay una tendencia principal marcada, por el contrario se observan hasta cuatro: NNO, NO, NE y E-O. Hacia el oeste del tajo, la tendencia principal es N-S, debido a la influencia de otro sistema de fallas N-S que se presenta al oeste del depósito.

CAPITULO IV

EVENTOS GEOQUIMICOS DE MINERALIZACION EN CHAQUICOCHA

La alta ley de oro en el depósito de Chaquicocha se debe posiblemente a los múltiples eventos de luzonita, enargita y pirita (arsenical). También se pudo haber concentrado cuando los sulfuros fueron prevasivamente reemplazados por azufre nativo. El oro es principalmente submicroscópico, encapsulado en la pirita, pirita arsenical, enargita/luzonita, covelita y azufre nativo. El oro grueso se puede encontrar en la covelita, luzonita, enargita, baritina, sílice crema y azufre nativo.

En cuanto a la fugacidad del azufre, la secuencia paragenética en Chaquicocha es consistente con el aumento de la fugacidad del azufre a través del tiempo, durante la mineralización hipógena.

A. Longo (2010) realizó un estudio sobre la edad de la alteración hidrotermal que está asociada a los depósitos de oro en el distrito Minero Yanacocha. Utilizando el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en muestras de alunita hipógena se identificó cinco etapas de actividad hidrotermal, cuyas edades van desde 13.6Ma hasta 8.2Ma. El depósito de Chaquicocha se ubica en la cuarta etapa, cuyas edades están entre 10.3Ma y 9.9Ma. La edad promedio de las muestras de alunita hipógena de Chaquicocha es de $10.25 \pm 0.11\text{Ma}$, por ende la mineralización de oro ocurrió alrededor de los 10.25Ma.

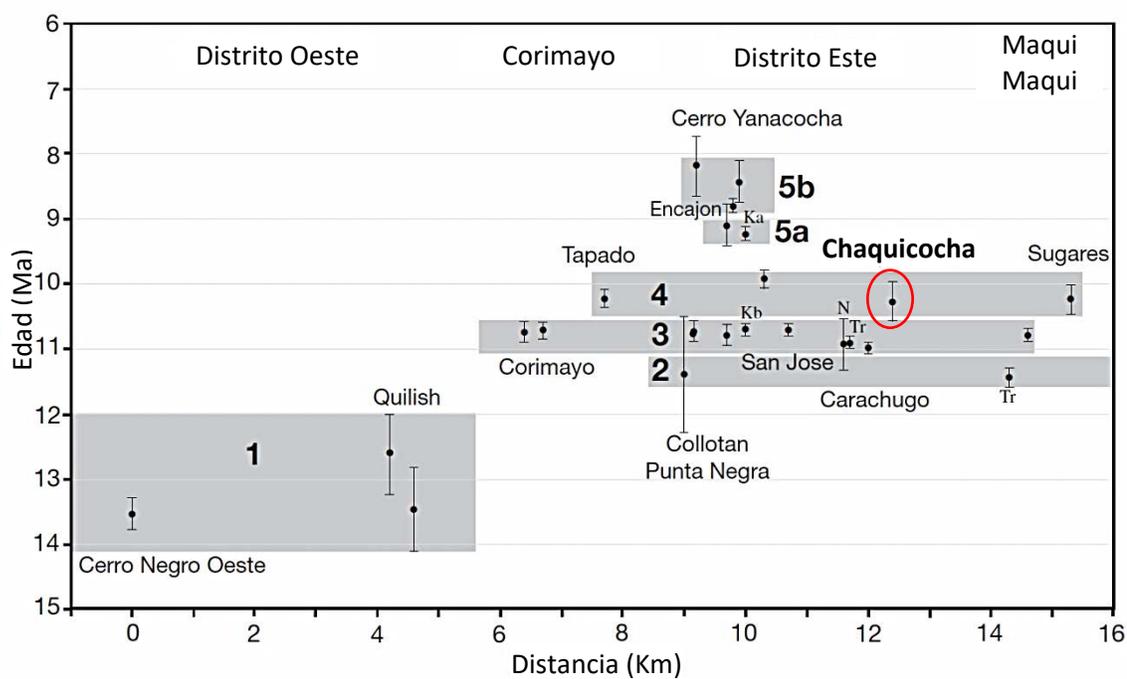


Figura 4.1. Gráfico mostrando las edades ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) de 21 muestras con alunita y biotita hidrotermal versus distancia a lo largo de 16 km en dirección suroeste-noreste desde Cerro Negro Oeste hasta Maqui Maqui al noreste. Estas edades definen cinco etapas de actividad hidrotermal en el distrito.

4.1. Eventos Geoquímicos de Mineralización

Los minerales que parecen corresponder a la mineralogía original son el cuarzo, el rutilo, el zircón, leucoxeno. Luego ocurre el proceso de alteración hidrotermal que está representado por la silicificación, dio como resultado la intensa lixiviación de los fenocristales de feldspatos por acción de fluidos altamente ácidos con un $\text{pH} < 2$.

Posteriormente, hubo una fuerte actividad explosiva que generó complejas sucesiones de eventos de brechas y fracturamiento que permitieron el ascenso de los fluidos hidrotermales, que generaron la mineralización de los sulfuros y finalmente la deposición del azufre nativo. La primera mineralización de sulfuros, previa a la mineralización de oro, está constituida por: pirita (primer evento), marcasita, calcopirita, bornita, digenita (primer evento), enargita (primer evento) y covelita (primer evento). Mediante el estudio de secciones pulidas se determinó cuatro eventos de mineralización de oro. Dos eventos asociados a la zona de sulfuros y los otros dos eventos a la zona de óxidos:

1. El primero evento está asociado a un segundo evento de pirita (arsenical?), de grano fino, cristales anhedrales y con brillo opaco. Aquí el oro es submicroscópico y se encuentra encapsulado; se determinó por técnicas de espectrometría de masa (SIMS).
2. El segundo evento está relacionado a la deposición de los segundos eventos de enargita/luzonita (Figura 4.2) y covelita primaria, en cristales subhedrales

a euhedrales. La covelita primaria precede a la enargita y luzonita. La enargita se deposita a temperaturas más altas que la luzonita ($> 280^{\circ}\text{C}$) y en algunas muestras la enargita precede a la luzonita, sin embargo en otras muestras es lo contrario. El oro se presenta como intercrecimiento en los cristales. Este segundo evento es posterior al de la pirita, debido a que se ha observado a estos sulfuros de cobre reemplazando a la pirita (Figura 4.4).

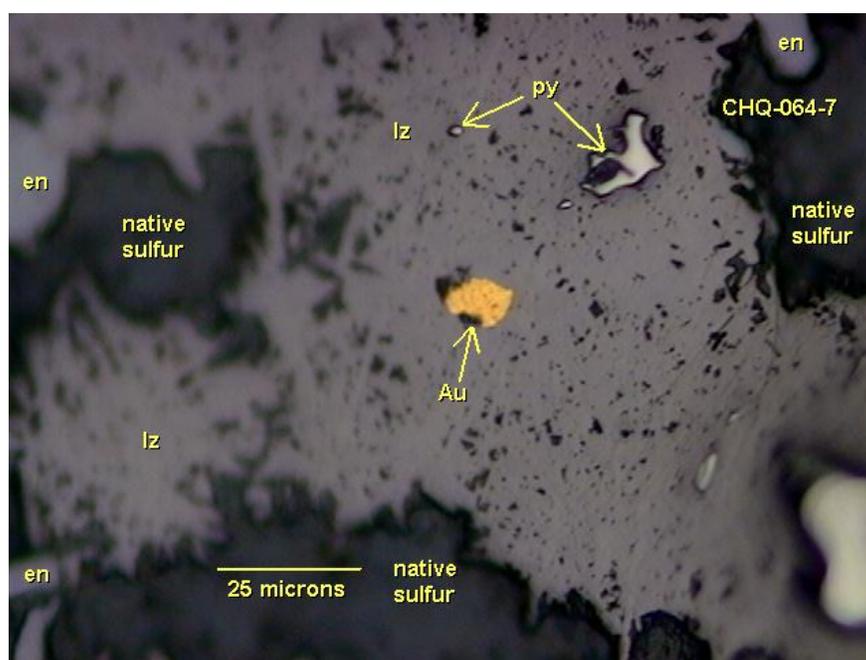


Foto 4.1. Sección pulida (CHQ-064; 397.35m). Oro intercrecida en la luzonita que ha reemplazado a la pirita, enargita en los bordes.

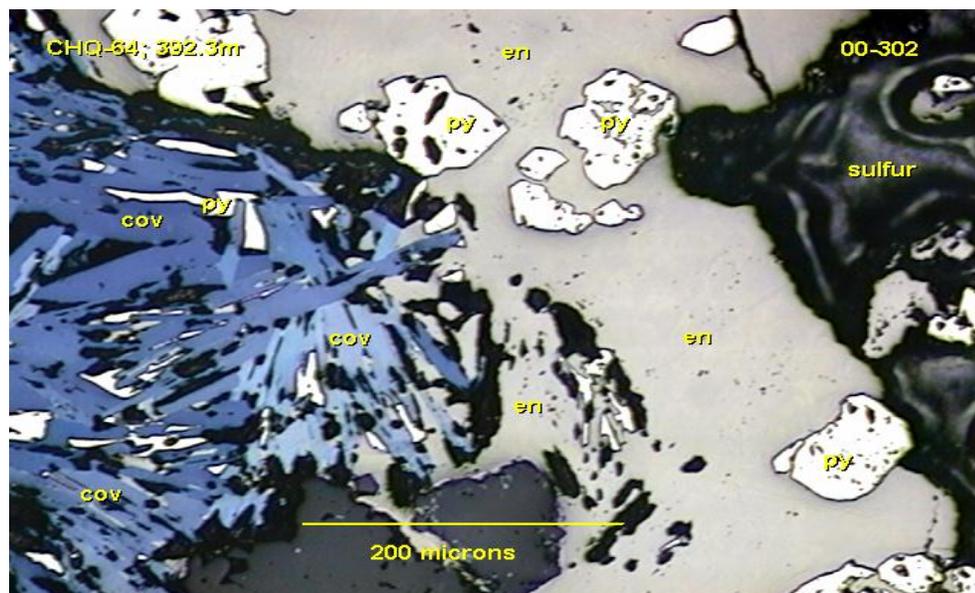


Foto 4.2. Sección pulida (CHQ-064; 392.3m). En la figura se observa la pirita temprana (py), enargita primaria (en) y covelita primaria (cov). Un evento tardío de enargita rellena espacio intergranular en la covelita.

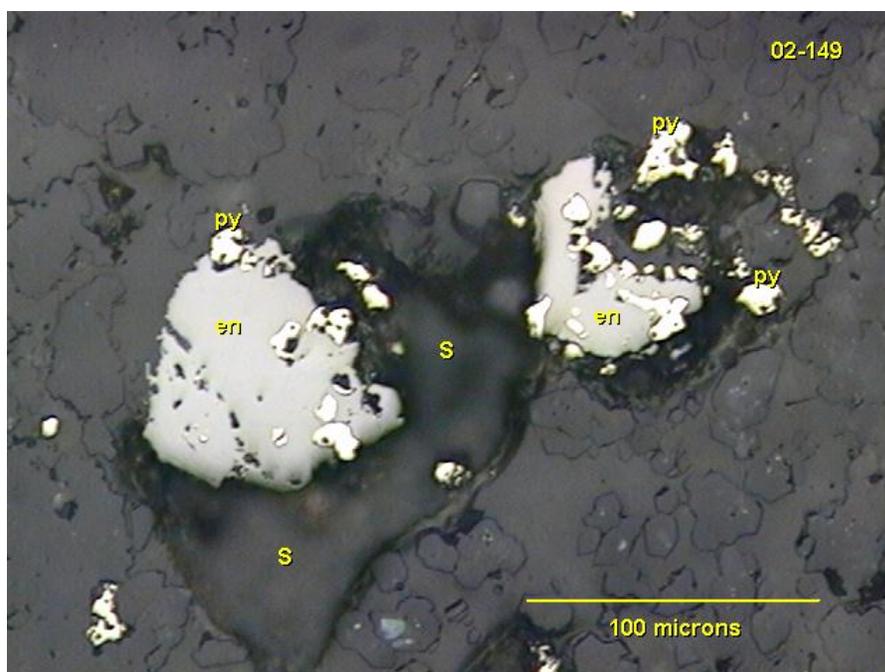


Foto 4.3. Sección pulida (CHQ-050; 261.3m). En la imagen se observa el reemplazamiento de la pirita por la enargita. Los sulfuros se localizan en las oquedades de los feldspatos lixiviados.

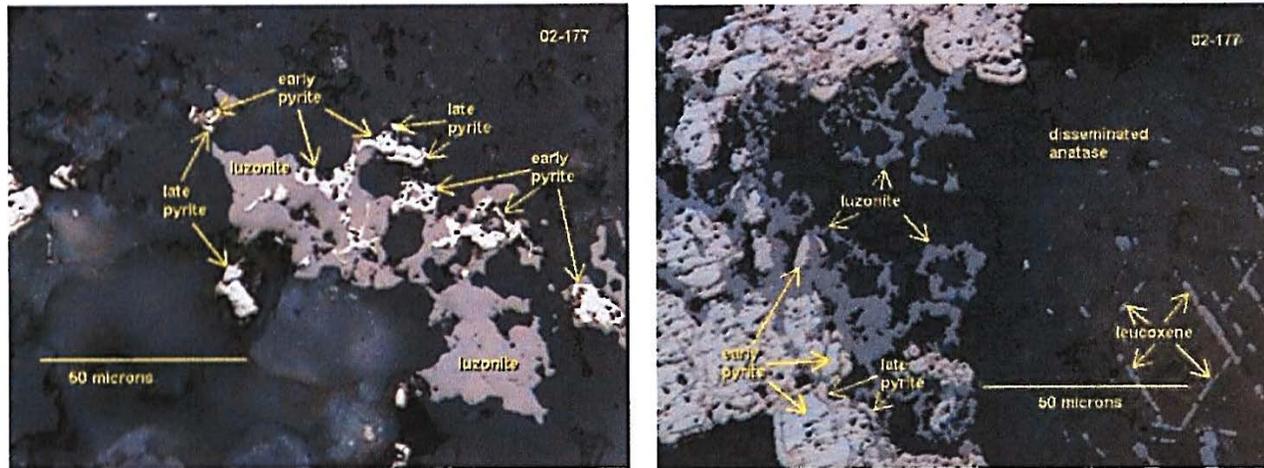


Foto 4.4. Sección pulida (CHQ-437; 340.2m). En ambas fotografías se observa a la luzonita reemplazando a la pirita y leucoxeno.

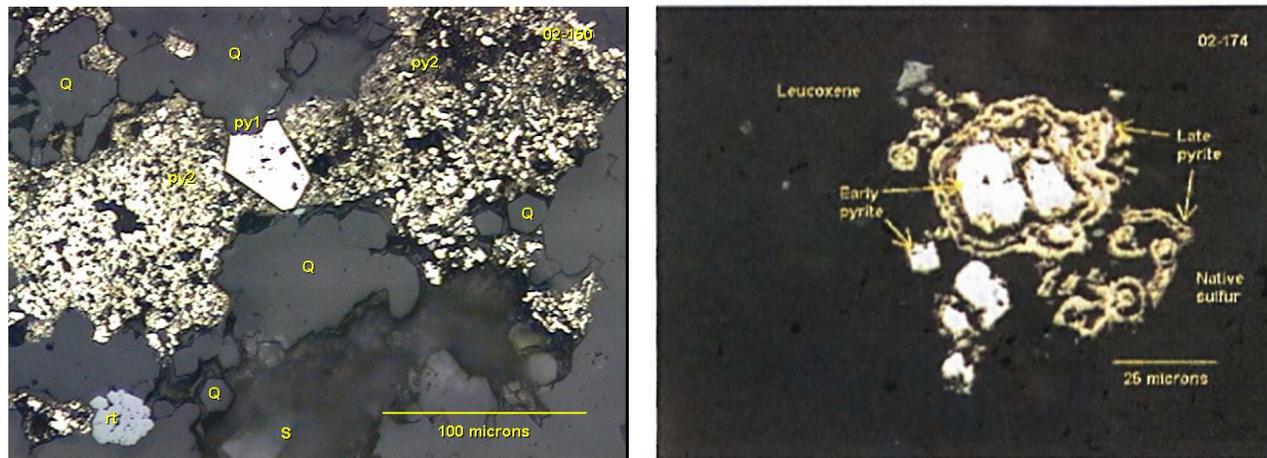


Foto 4.5. Derecha: Sección pulida (CHQ-050; 289.5m). Izquierda: Sección pulida (CHQ-437; 289.1m). En ambas fotografías se observa a la pirita tardía reemplazando a la pirita temprana.

3. Un tercer evento está asociado a una fase de baritina con cristales subhedrales a euhedrales, y en ocasiones con inclusiones de rutilo. Este evento se presenta en la zona de óxidos (Figuras 4.6 y 4.7).
4. Se propone una cuarta fase de precipitación coloidal de oro supérgeno asociado a óxidos de hierro. (S.Erick, L.Teal; 2001)

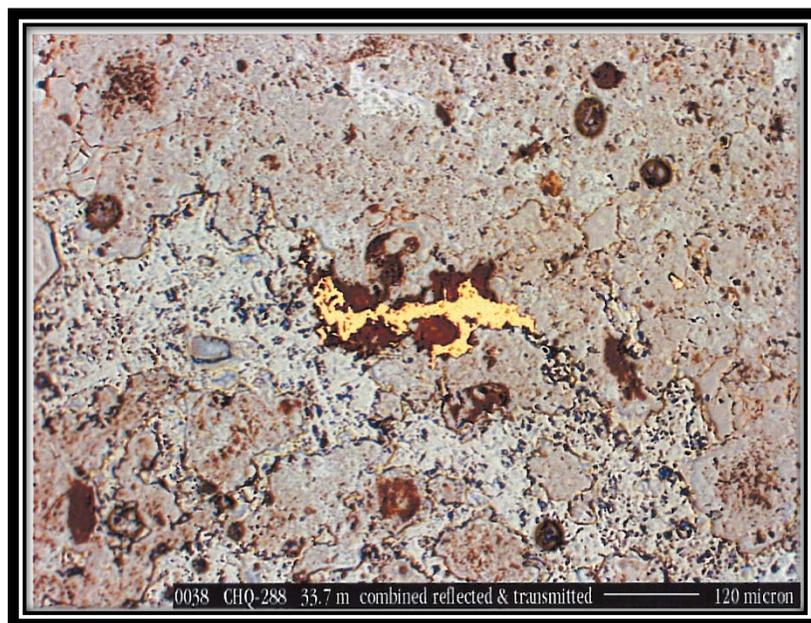


Foto 4.6. Sección (CHQ-288; 33.7m). Combinación de luz transmitida y reflejada mostrando oro asociado a óxidos de hierro y baritina.



Foto 4.7. Sección CHQ-288; 33.7m. Combinación de luz transmitida y reflejada mostrando oro asociado a baritina.

4.2. Secuencia Paragenética

Se realizaron dos estudios petrográficos (McComb y Reyes, 2007; Geller, 2003) en el depósito para identificar la secuencia paragenética de la mineralización de sulfuros. Ambos estudios concluyeron que la secuencia general de eventos se inició con la alteración hidrotermal de las rocas volcanoclásticas (generando porosidad, silicificación y leucoxeno residual), pasando a una etapa de sulfuros pre-mineralización de oro (sulfuros de Fe, Cu y Fe-Cu), luego a la etapa de mineralización de oro (principalmente pirita tardía, sulfosales de Cu y sulfuros de Cu), luego a una etapa post-mineralización de oro (baritina y oropimente) y finalmente una etapa de sulfuros de Cu supérgenos y deposición de azufre nativo.



Figura 4.2. Secuencia paragenética del depósito Chaquicocha.

CAPITULO V

ESTUDIO GEOQUIMICO EN EL DEPÓSITO

El análisis geoquímico se enfoca en identificar los patrones y/o asociaciones de elementos guías relacionados a los depósitos epitermales de alta sulfuración, y a su vez a la mineralización de oro en la zona de sulfuros.

5.1. Muestreo

Para el presente estudio se han utilizado las muestras de los sondajes diamantinos (total 60) perforados en los años 2012 y 2013. Se utilizaron solo las muestras (total 9451) que están dentro del depósito de Chaquicocha Sulfuros. No se han utilizado las muestras de sondajes en la zona de óxidos y tampoco las muestras superficiales ni de suelos debido a que el depósito no aflora, se ubica en profundidad, y

las muestras de afloramientos ubicadas encima del depósito están relacionadas a la mineralización de oro pero en la zona de óxidos.

Se realizó un tratamiento geoestadístico a los resultados del análisis químico de las muestras de sondajes diamantinos del depósito se realizó un tratamiento geoestadístico para determinar rangos geoquímicos para cada elemento estudiado.

5.2. Análisis Estadístico

Antes de proceder con el análisis de los datos geoquímicos, se realizó una validación de toda la data. No se observaron valores negativos en los resultados. Los valores mínimos corresponden a los límites de detección. Se determinó que existe un límite de detección para cada elemento analizado, debido a que todas las muestras han sido analizadas en un solo laboratorio. Todas las muestras fueron analizadas por 54 elementos y por *sulfide sulfur* (cantidad de azufre en sulfuro).

Cabe resaltar que para el análisis estadístico de histogramas de distribución, frecuencia acumulada y correlaciones se utilizaron los datos en conjunto sin separar por cotas, por petrografía o alteración.

Para el caso del oro, hay muestras cuyas concentraciones de oro están muy por encima del resto de la población. Por tal motivo se realizó un tratamiento de altos erráticos para los valores de oro, encontrando que cerca del 0.5% de la población total muestra valores muy altos, estableciéndose un límite superior de 50ppm con ayuda de la curva de frecuencia acumulada.

Inicialmente, los histogramas y las frecuencias acumuladas mostraron una tendencia log-normal, por consiguiente se cambiaron los valores de las leyes a base logarítmica. Luego se utilizaron los histogramas y las frecuencias acumuladas junto con rangos estadísticos para tratamientos de datos geoquímicos (Owen, Newmont) para determinar intervalos de leyes.

A continuación se detalla la cantidad de muestras utilizadas para el análisis:

Tabla 5.1. Cuadro resumen de la data utilizada para el análisis.

Nº de Muestras Analizadas	9451
Nº de Sondajes Diamantinos	60
Nº de Elementos Analizados	55
Total Metros Lineales Analizados	19314.45

5.2.1. Análisis de Histogramas

Se realizaron histogramas de las muestras geoquímicas de sondajes diamantinos para representar gráficamente la distribución de las muestras en un determinado rango de leyes. Los histogramas muestran una distribución gaussiana, no habiendo necesidad de ajustes. Con las curvas de frecuencias acumuladas, se determinaron rangos geoquímicos para cada elemento estudiado. Estos rangos se utilizaron para realizar el contorno de la geoquímica en los planos y secciones.

Oro: El histograma muestra una distribución unimodal (normal) con un ligero sesgo hacia los valores bajos, esto es debido a la cantidad de muestras con valores iguales al límite de detección (0.0025ppm). Menos del 3% de la población tiene valores iguales al límite de detección.

Tabla 5.2. Tabla comparando los valores de Au (ppm) antes y después de realizar el tratamiento de altos erráticos

Valores	Sin Tratamiento	Con Tratamiento
Mínimo	0.0025	0.0025
Media	1.65	1.33
Máximo	603.81	48.64

Cobre: El histograma muestra una forma simétrica (campana gaussiana), que indica una distribución normal de los datos. Cerca del 1% de la población presenta valores iguales al límite de detección.

Tabla 5.3. Tabla mostrando los valores de Cu en %.

Valores	Cu (%)
Mínimo	0.0001
Media	0.12
Máximo	8.36

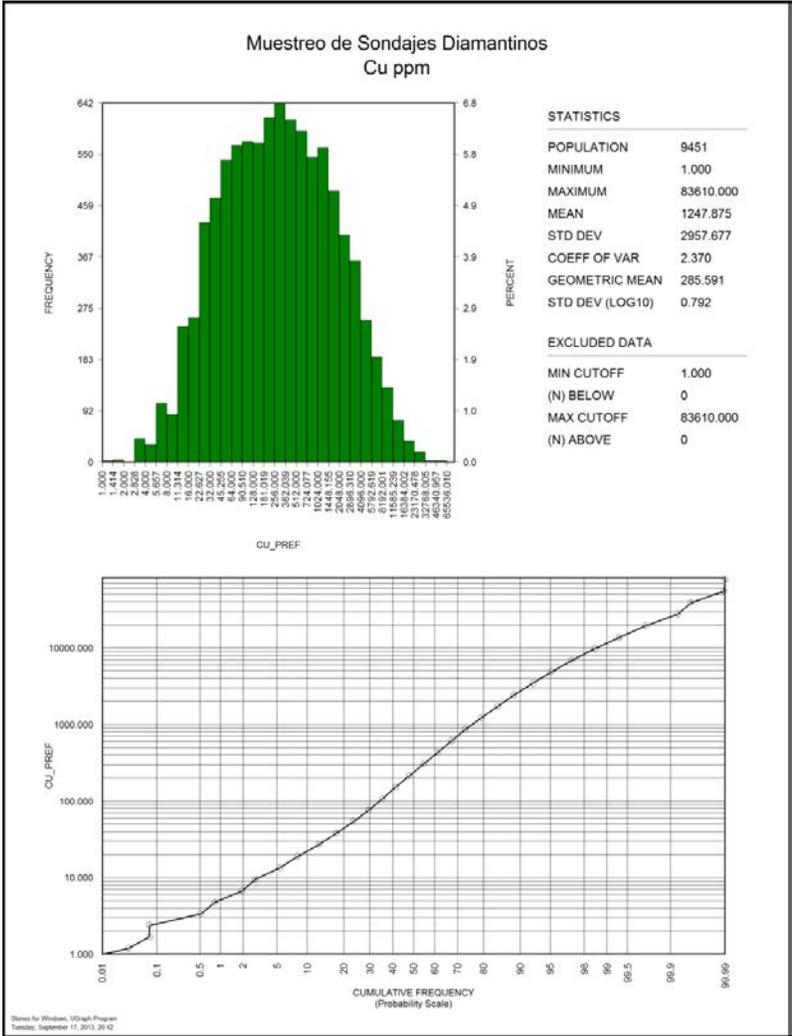
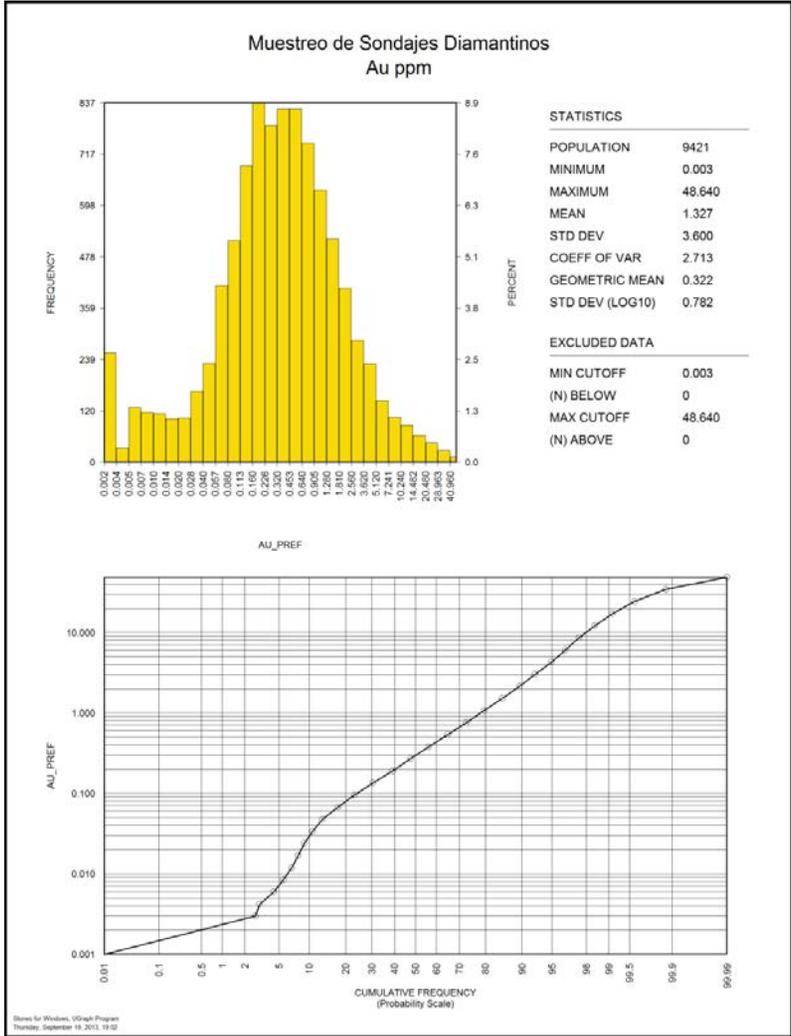


Figura 5.1. Histogramas (arriba) y Frecuencia Acumulada (abajo) de Au y Cu.

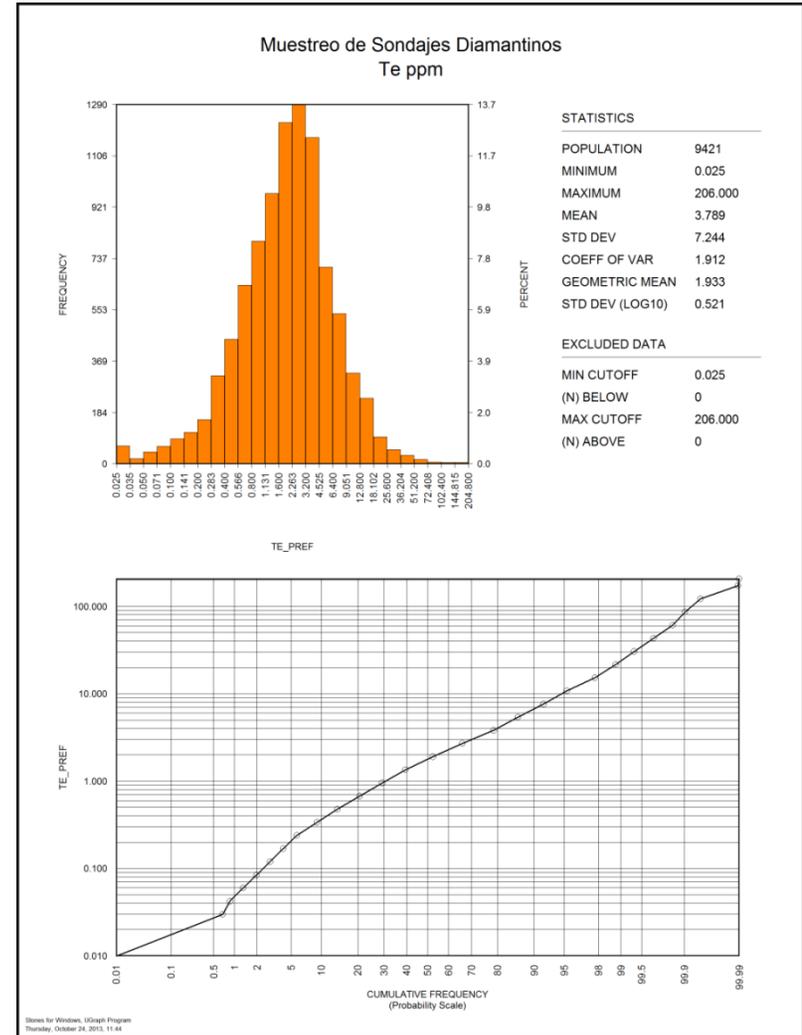
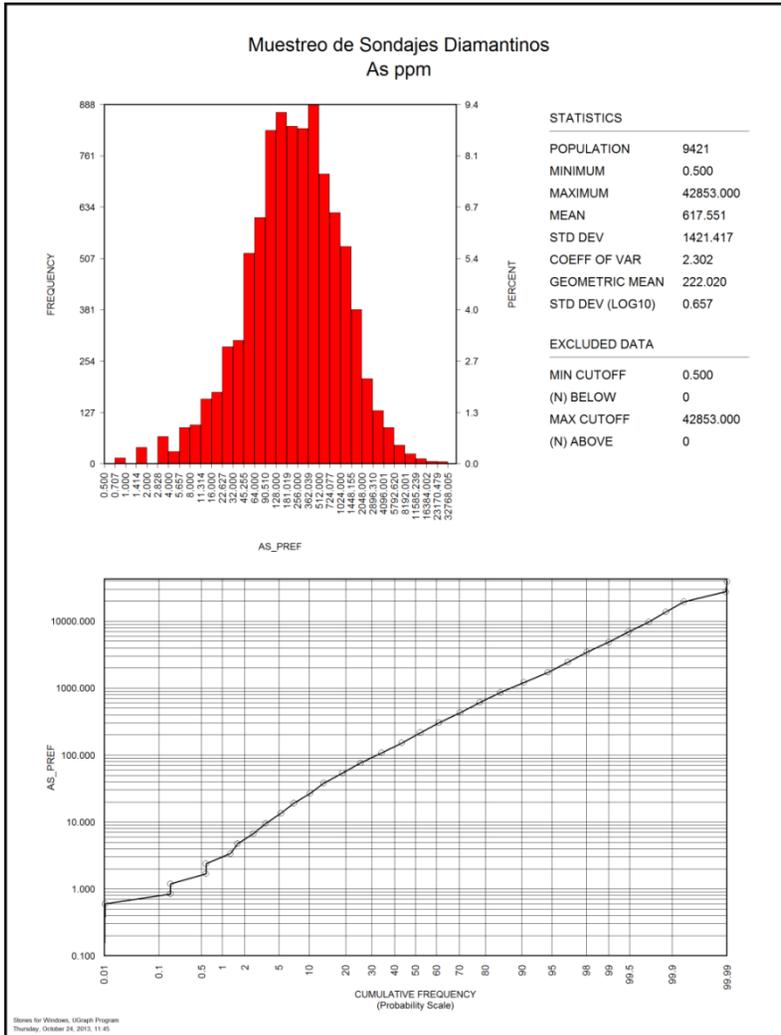


Figura 5.2. Histogramas (arriba) y Frecuencia Acumulada (abajo) del As y Te.

5.3. Correlación de Elementos

La correlación de los elementos traza con los elementos principales permite generar familias y/o asociaciones geoquímicas que están relacionadas con la concentración de un elemento principal, en este caso particular con la concentración de oro, o con algún aspecto geológico (litología, alteración y estructuras).

Para la construcción de la matriz de correlación, se utilizó el método de Pearson. El estudio realizado se enfocó en determinar los elementos guías para la concentración de oro. Debido a que macroscópicamente se puede observar al oro acompañado por sulfuros de cobre, también se realizó un análisis de correlación para el cobre.

La correlación del oro con los demás elementos para el total de población es débil a moderada. Sin embargo, más adelante se verá que al crear dominios geológicos, estas correlaciones aumentan. A continuación se detalla las correlaciones del oro que más resaltan:

- ***Oro-Arsénico***

La correlación Au-As es de 0.13 indicando una baja correlación. El comportamiento de la baja correlación se debe a que la nube de dispersión del arsénico engloba débilmente a la nube de dispersión del oro, donde pequeñas áreas se traslapan simultáneamente. Estas áreas se relacionan principalmente a la presencia de enargita y luzonita, sulfuros asociados al oro; sin embargo también existen otros minerales de arsénico en el depósito que no están relacionados con

la mineralización de oro y contienen mayor porcentaje de arsénico en su composición, como son el oropimente, rejalgar y escorodita.

- **Oro-Teluro**

La correlación Au-Te es de 0.12 indicando una baja correlación. El comportamiento es similar a la correlación Au-As. El contenido de Te se debe a una fase de telururos ocurrida en el depósito, que generó la ocurrencia de *goldfieldita* ($\text{Cu}_{12}(\text{Te}, \text{As})_4\text{S}_{13}$) pariente rico en Te de la tennantita ($(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$). La *goldfieldita* se presenta como inclusiones dentro de la luzonita, sulfuro de cobre asociado a la mineralización de oro.

- **Oro-Cobre**

La correlación Au-Cu es de 0.28 indicando una débil a moderada correlación. Esto sugiere que existen sectores donde las concentraciones de cobre y oro coinciden relacionadas al mismo evento hidrotermal, y otros sectores donde las dispersiones se encuentran zonificadas, posiblemente relacionadas a diferentes fases hidrotermales. Como se explicó anteriormente, los sulfuros de cobre (enargita, luzonita, covelita, calcocita) están relacionados con la mineralización de oro; sin embargo el oro en ocasiones se concentra solo. No obstante, si se crea un dominio, filtrando solo los valores mayores a 0.1% de cobre, la correlación entre estos dos elementos aumenta, indicando que si el valor de cobre es más alto, es más probable que tenga alta concentración de oro. Si se realiza el mismo procedimiento con los valores de oro, no se incrementará el valor de la correlación.

Correlación de Oro

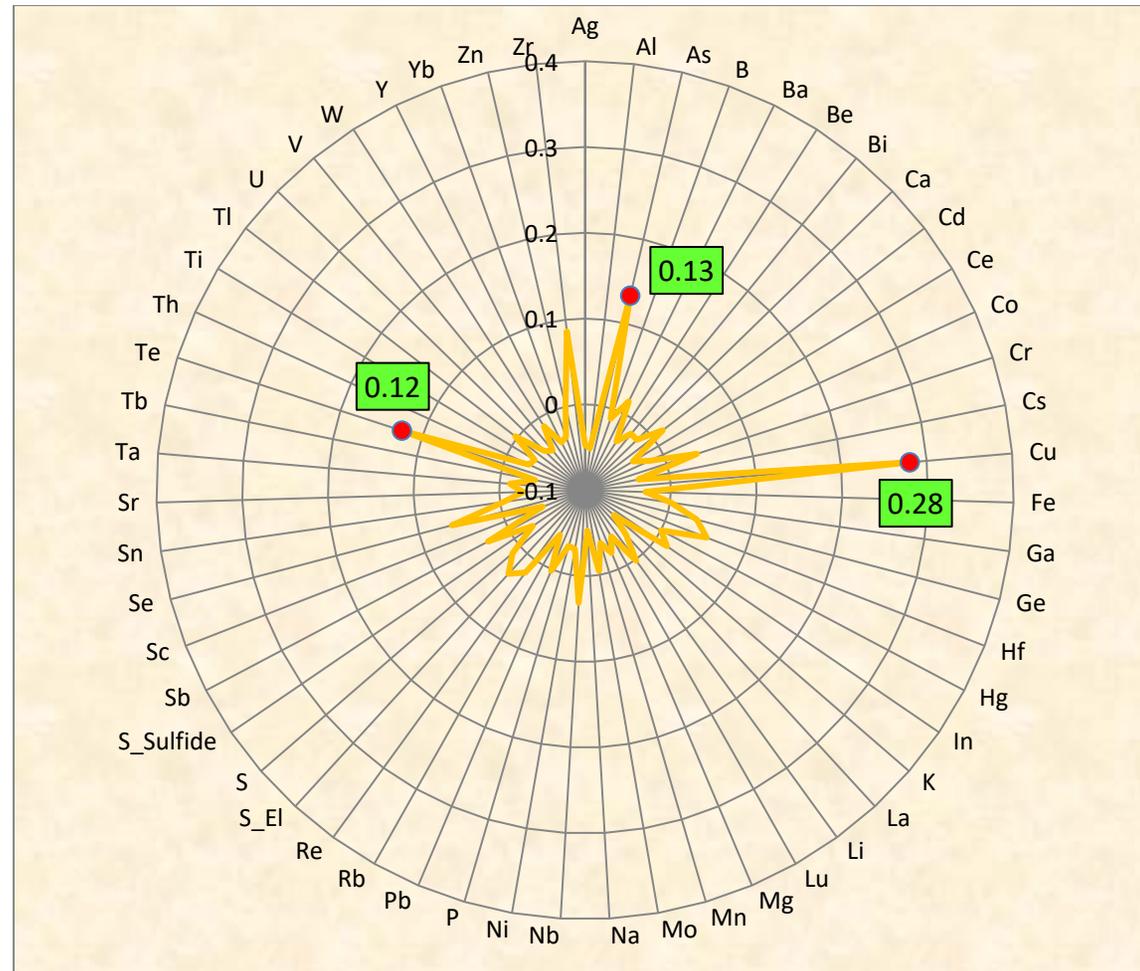


Figura 5.3. Diagrama radial de correlación del oro con el resto de elementos. Se utilizó la data tratada con altos erráticos. Los valores son bajos, sin embargo hay tres elementos que resaltan: As, Cu, Te.

Correlación de Cobre

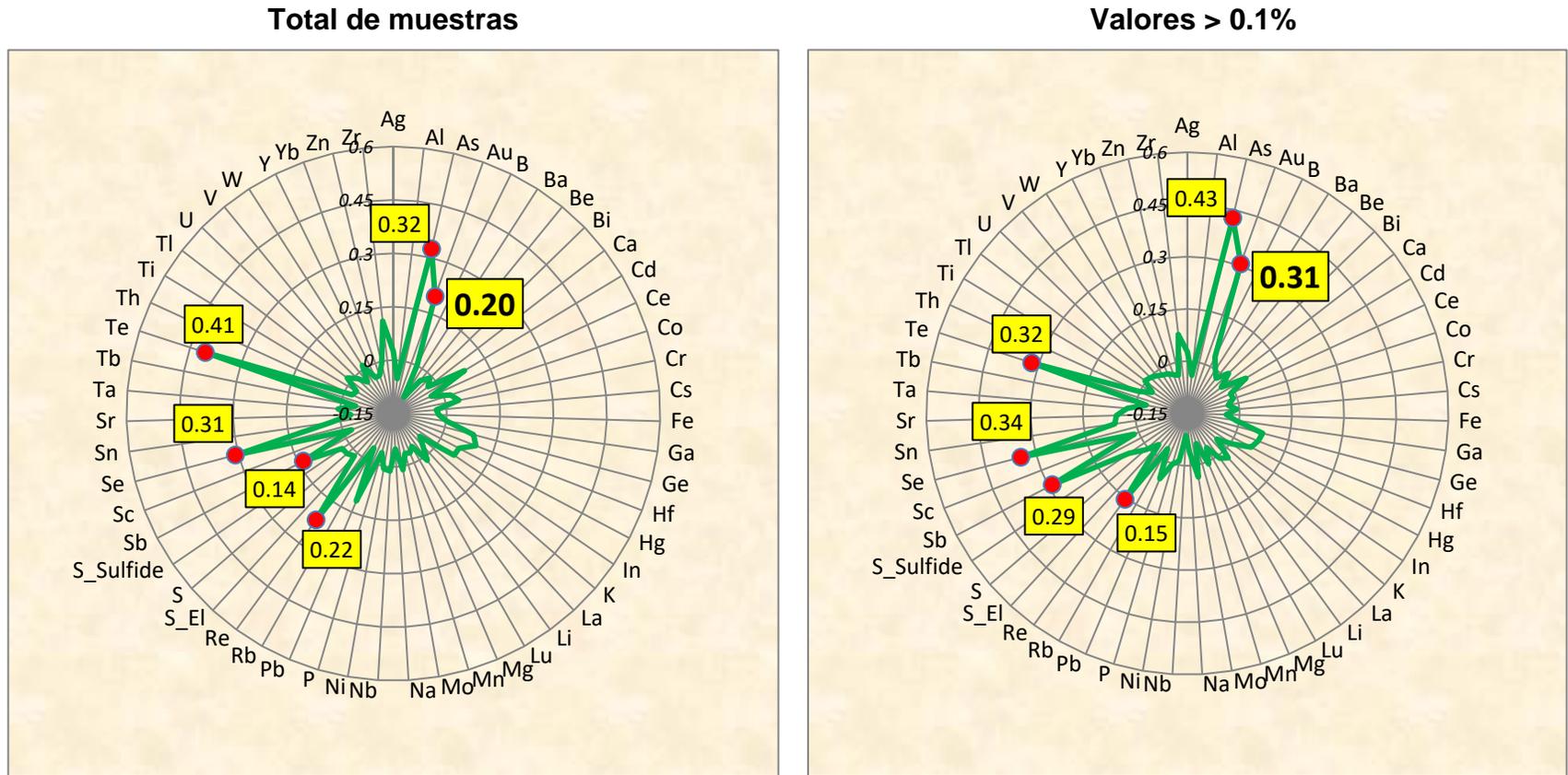


Figura 5.4. Diagrama radial de correlación de cobre con el resto de elementos. A la izquierda se muestra el diagrama de correlación con la población total de cobre y a la derecha se muestra el diagrama de correlación con los valores mayores a 0.1% de cobre. Se puede observar que el valor de correlación Au-Cu aumenta cuando se tiene valores más altos de cobre.

En las brechas hidrotermales, la correlación entre Au y Cu es mayor; debido a que la mineralización de alta ley de Au, en la zona de sulfuros, está relacionada a los sulfuros de cobre y estos precipitaron principalmente en las brechas hidrotermales. La correlación con el Te también es mayor. Por ejemplo, si se crea un dominio de muestras que estén dentro de los cuerpos de brechas hidrotermales y cuyos valores de Cu sean mayores a 0.5%, el valor de la correlación aumenta a 0.56. Se puede inferir que si hay mayor contenido de covelita primaria (dado que contiene mayor porcentaje de Cu en su composición), el valor de Au se incrementa, en comparación con otros sulfuros de cobre como la enargita y luzonita.

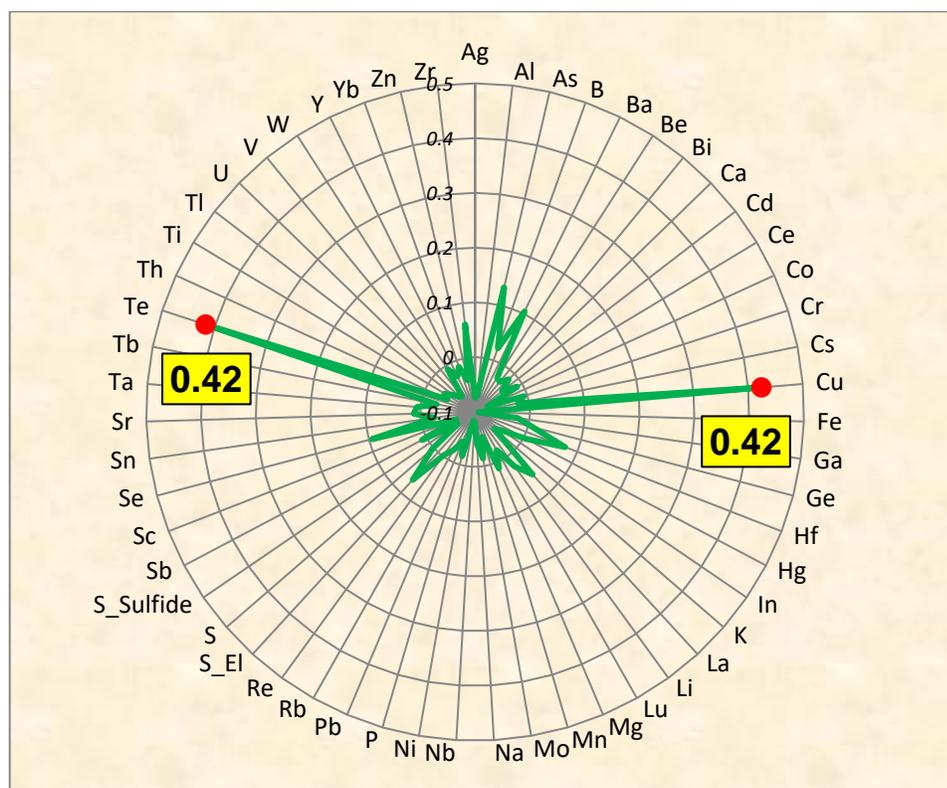


Figura 5.5. Diagrama radial de correlación de Au de muestras contenidas dentro de cuerpos de brechas hidrotermales

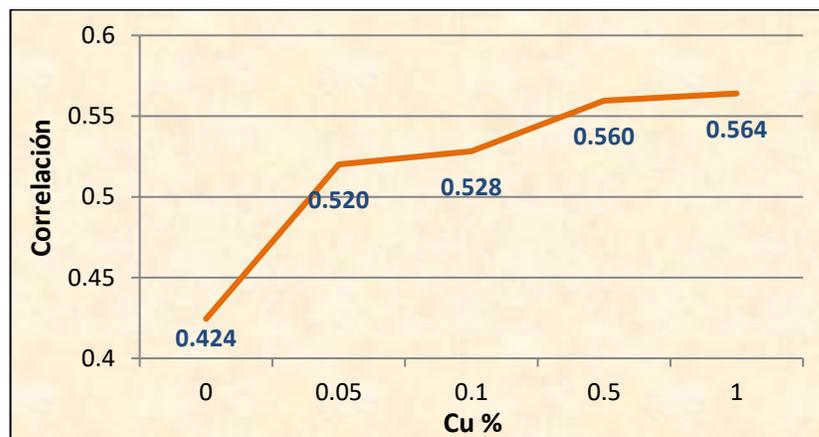


Figura 5.6. Diagrama mostrando el incremento del valor de la correlación Au-Cu a medida que aumenta el valor de Cu.

5.3.1. Asociación Geoquímicas

En la construcción de la matriz y diagramas de correlación se observa que existen familias y/o asociaciones geoquímicas constituidas por elementos principales y trazas que guardan relación entre sí mismas, con alguna mineralización, y/o con algún aspecto geológico (litología, alteración).

A continuación se muestra una tabla con las familias de elementos y mineralización/alteración asociadas:

Tabla 5.4. Tabla mostrando las familias de elementos y mineralización/alteración asociadas.

<u>Familia de Elementos</u>	<u>Asociación Interpretada</u>
Au-Cu-Te-As	Mineralización de oro
Cu-As-Te-Re-Se-Au	Mineralización de cobre
Ca-Mg-Sr-Ti-Mn	Alteración sílice-clay
Al-K-Rb-P-Cs-Ce-La-Lu-Be-Tc-Y-Sc-Yb	Alteración argílica
Ga-Ge-Zn-In-Cd	Alteración argílica
Co-Fe-Tl-Ni	Unidad Piroclástica Tft
Sb-Bi-Hg-Sn	

5.4. Interpretación de Planos y Secciones Geoquímicas

Los planos y secciones geoquímicas se realizaron con datos de sondajes diamantinos y RCD, no se utilizó data superficial, debido a que el proyecto se encuentra en profundidad y su comportamiento es distinto en varios factores al de superficie. Se realizaron planos y secciones de la geoquímica del Au y se compararon con las del Cu porque es el elemento que mejor correlaciona con la mineralización de Au. Los rangos que se utilizaron para realizar los planos y secciones se calcularon a partir de los resultados de las muestras de sondajes diamantinos. A continuación se describen las anomalías de Au y Cu:

- **Oro:**

Los valores de Au por encima de 1.3 ppm muestran una clara tendencia NNW y NW; mientras que los valores mayores a 0.5 ppm muestran una tendencia NNW y NW, y una tendencia NE. Los valores de Au mayores a 0.5 ppm están emplazados en las rocas piroclásticas. En la zona de sulfuros están relacionados a la unidad Teut, entre las cotas 3600 y 3800; sin embargo, los valores mayores a 2.5 ppm están íntimamente relacionados a los cuerpos de brechas hidrotermales. En la Figura 5.8 se puede observar que la mineralización de oro tiene una forma sub-horizontal. Las zonas con altas concentraciones de oro (> 2.5 ppm) están relacionadas a estructuras, donde los fluidos mineralizantes fueron canalizados, y posteriormente generaron su propio halo de mineralización cercanos a los bordes de las estructuras.

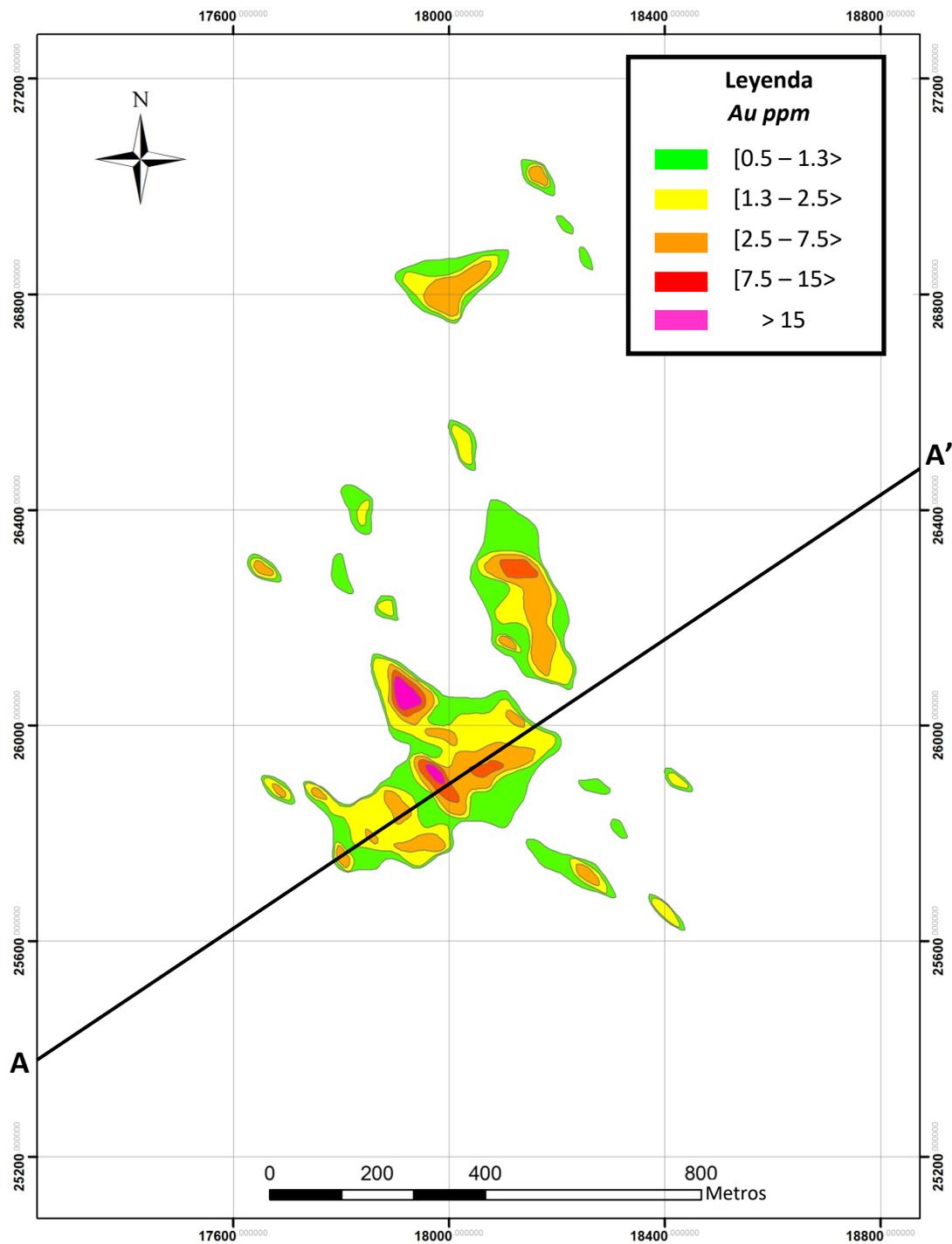


Figura 5.7. Plano en vista de planta de la geoquímica del oro en la cota 3665.

Sección N55°E, Mirando al N35°W

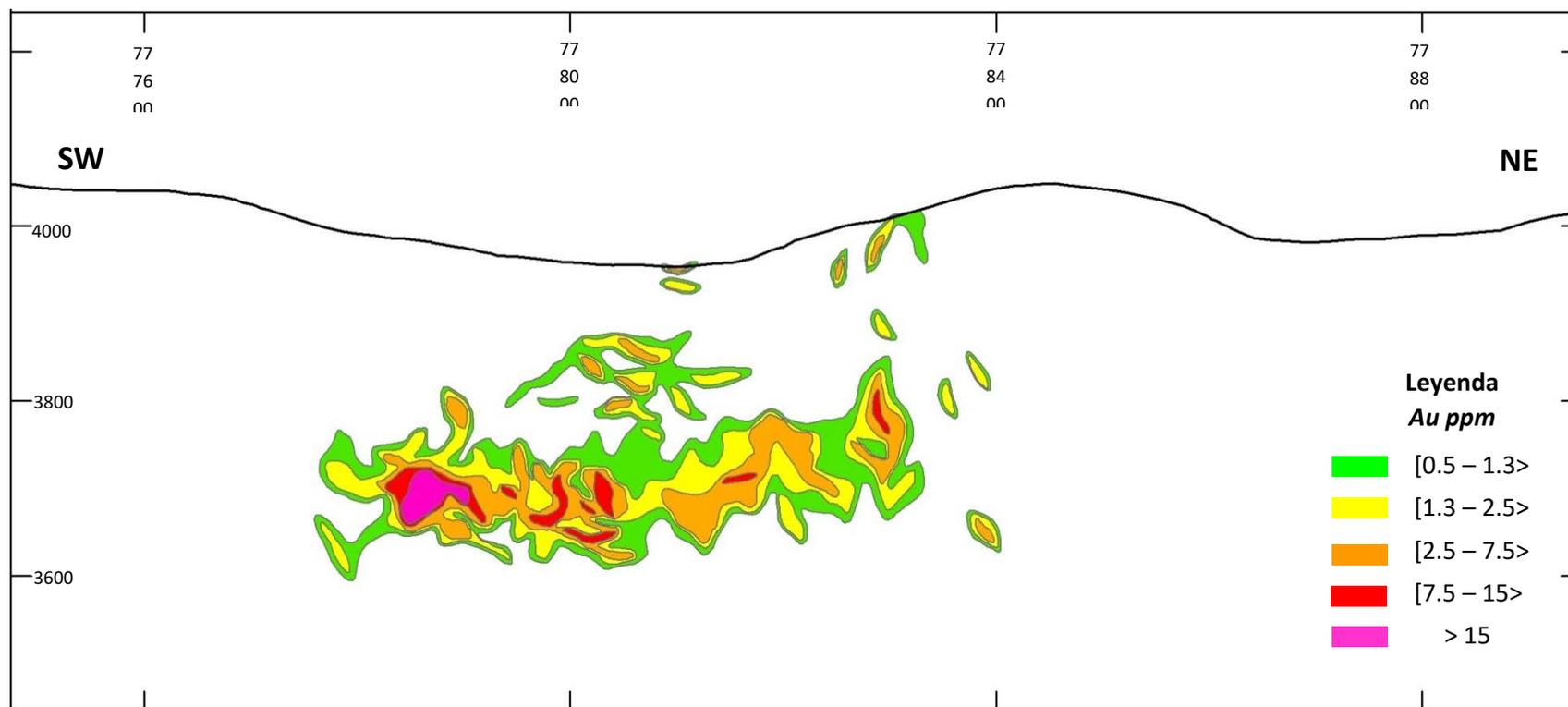


Figura 5.8. Sección A-A' de la geoquímica del oro del depósito Chaquicocha.

- **Cobre**

La geoquímica del cobre muestra tendencias similares a las del oro. Presenta orientaciones NNW y NW; sin embargo, a diferencia de la geoquímica del oro, hacia la zona central y oeste se observa una clara tendencia E-W. Hacia el norte existen pequeños cuerpos con altas concentraciones, probablemente generados por la intersección de dominios estructurales, que es muy diferente hacia el sur donde los valores son más bajos. Como se observa en la Figura 5.10 las altas concentraciones de cobre (> 0.30%) están relacionadas a la zona de sulfuro y generalmente están por debajo de la cota 3850. Al igual que el oro, las altas concentraciones de cobre están relacionadas a cuerpos de brechas hidrotermales emplazados principalmente en la unidad Teut.

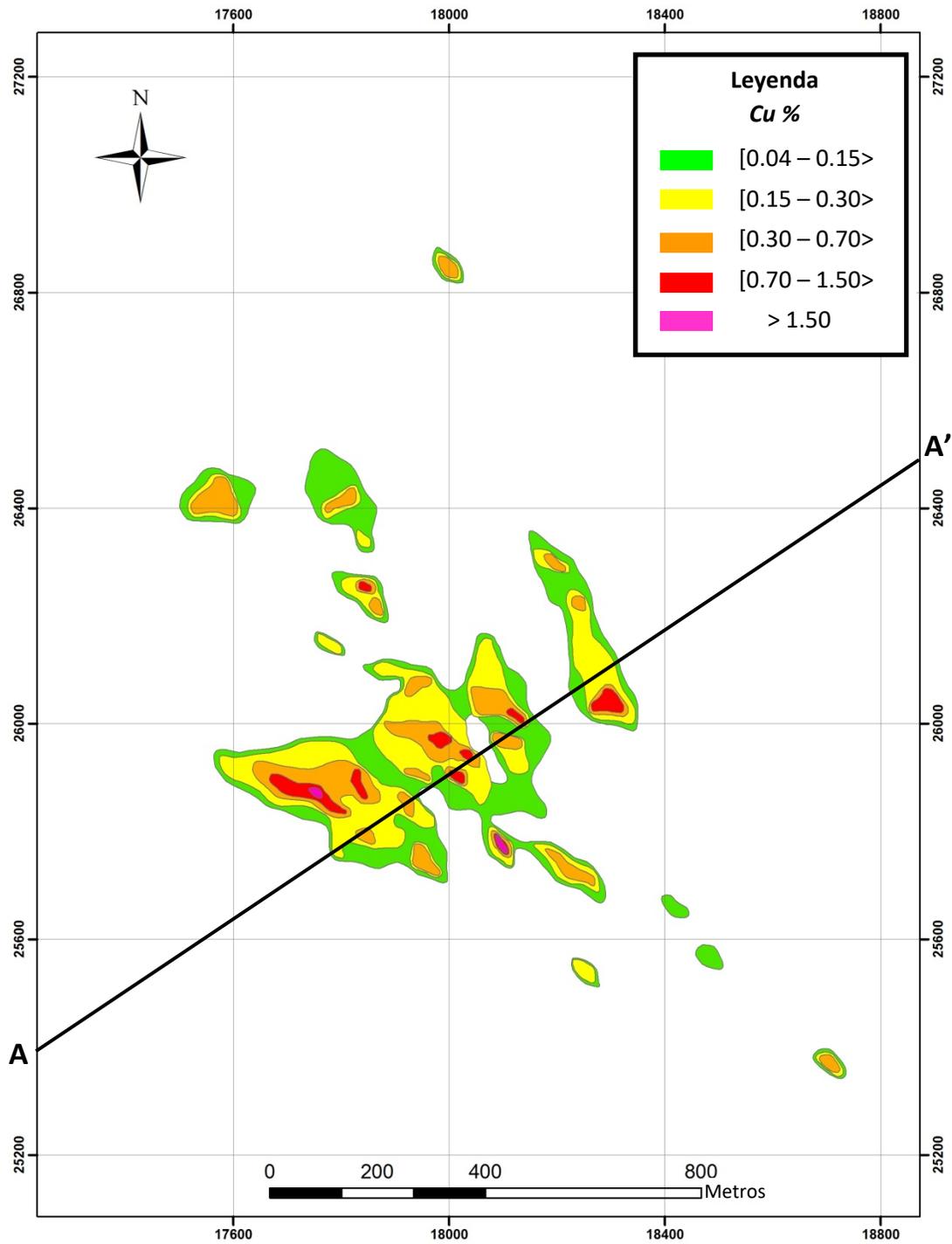


Figura 5.9. Plano en vista de planta de la geoquímica del cobre en la cota 3665.

Sección N55°E, Mirando al N35°W

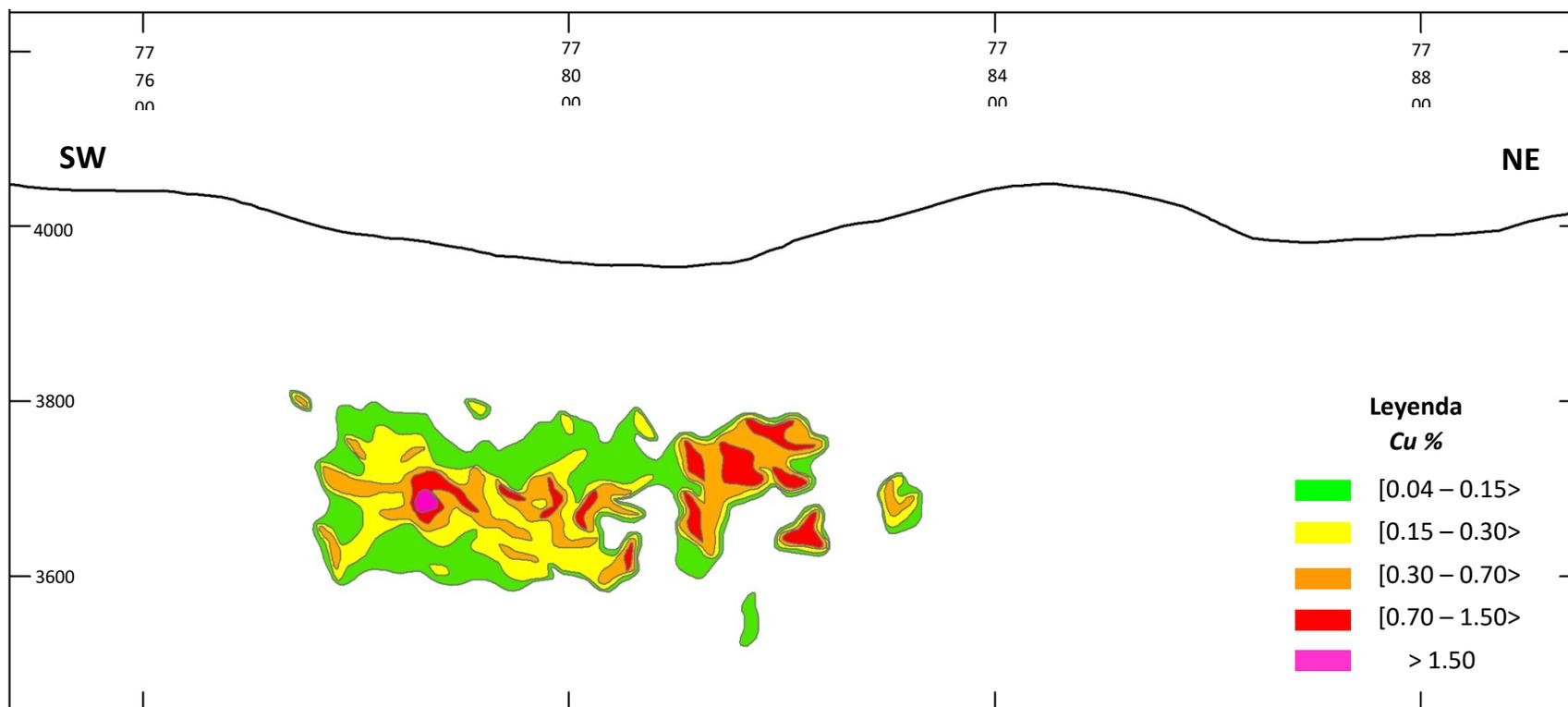


Figura 5.10. Sección A-A' de la geoquímica del cobre del depósito Chaquicocha.

CAPITULO VI

CONTROLES DE MINERALIZACION

La mineralización de alta ley de oro en el depósito Chaquicocha está relacionado a una serie de factores geológicos, entre los cuales está el litológico, alteración, estructural y los múltiples eventos geoquímicos de mineralización, que contribuyeron a generar un ambiente favorable. A continuación se describirán los principales controles de mineralización.

6.1. Control Litológico

Las rocas piroclásticas que conforman el Complejo Volcánico Yanacocha han servido de guía y control para la mineralización de oro en el depósito. El cuerpo mineralizado de oro está emplazado en secuencias de tufo de cristales y tufos líticos con cristales, y en complejos cuerpos de brechas que cortaron a estas secuencias. Estas

rocas piroclásticas tuvieron condiciones favorables de porosidad y permeabilidad para que el oro precipite en oquedades o en espacios abiertos.

En el depósito de Chaquicocha, la mineralización de oro apareció desde superficie, precipitando en fracturas y oquedades de la roca hospedante, formando cuerpos elongados sub-horizontales. Esta roca constituye la unidad Ult, que albergó parte de la mineralización de oro del depósito en zona de óxidos pero de baja ley (0.15g/t – 0.30g/t). Sin embargo, existieron cuerpos de alta ley de oro (> 3g/t) en zonas cercanas a la superficie, que fueron controlados por la intensidad de fracturamiento, el sistema de fallas, la generación de brechas y por inyecciones tardías de sílice.

Infrayaciendo a la unidad Ult está la unidad Teut, que alberga la mayor parte de la mineralización de oro del depósito en óxidos y principalmente en sulfuros. Esta unidad fue la más favorable para la mineralización de oro, se llegaron a formar cuerpos mineralizados subhorizontales con espesores entre 300 y 350 metros. En profundidad (> 250 metros con referencia a la superficie), se formaron cuerpos mineralizados de alta ley de oro (> 3g/t) principalmente asociados a la zona de sulfuros. Estos cuerpos se encuentran en los últimos 100 metros de la unidad Teut.

Adicionalmente a las rocas piroclásticas, los cuerpos de brechas también sirvieron como roca huésped para la mineralización de oro. Los cuerpos mineralizados de oro principales descansan en la parte inferior de la unidad Teut. La roca de la parte inferior de la unidad Teut ha sido reemplazada por una alteración silíceo intensa y las brechas hidrotermales tuvieron un buen desarrollo. Las brechas albergan

aproximadamente el 75% de la mineralización de alta ley. Aparentemente presentan un control de elevación entre los niveles 3650 y 3850, relacionado probablemente a un nivel freático. Los cuerpos de brechas muestran una geometría de alto ángulo localmente, y sus “feeders” se extienden en profundidad pasando por la unidad Tft llegando hasta la unidad LA. Generalmente, muchas brechas freáticas preexistentes sirvieron como roca huésped para la generación de brechas hidrotermales y para la mineralización de oro. Las rocas brechadas y craqueladas fueron los ambientes más permeables para la deposición de oro de alta ley. Se ha podido observar diversas texturas en las brechas hidrotermales, desde fluidizadas, rotacionales hasta craqueladas.

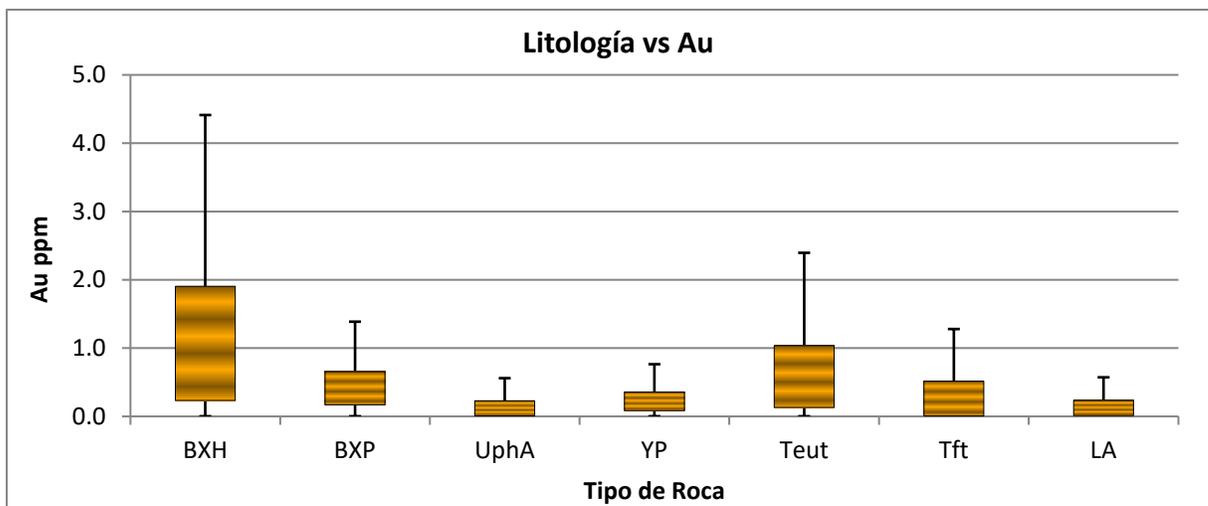


Figura 6.1. Diagrama “box plot” mostrando la distribución del Au según el tipo de roca

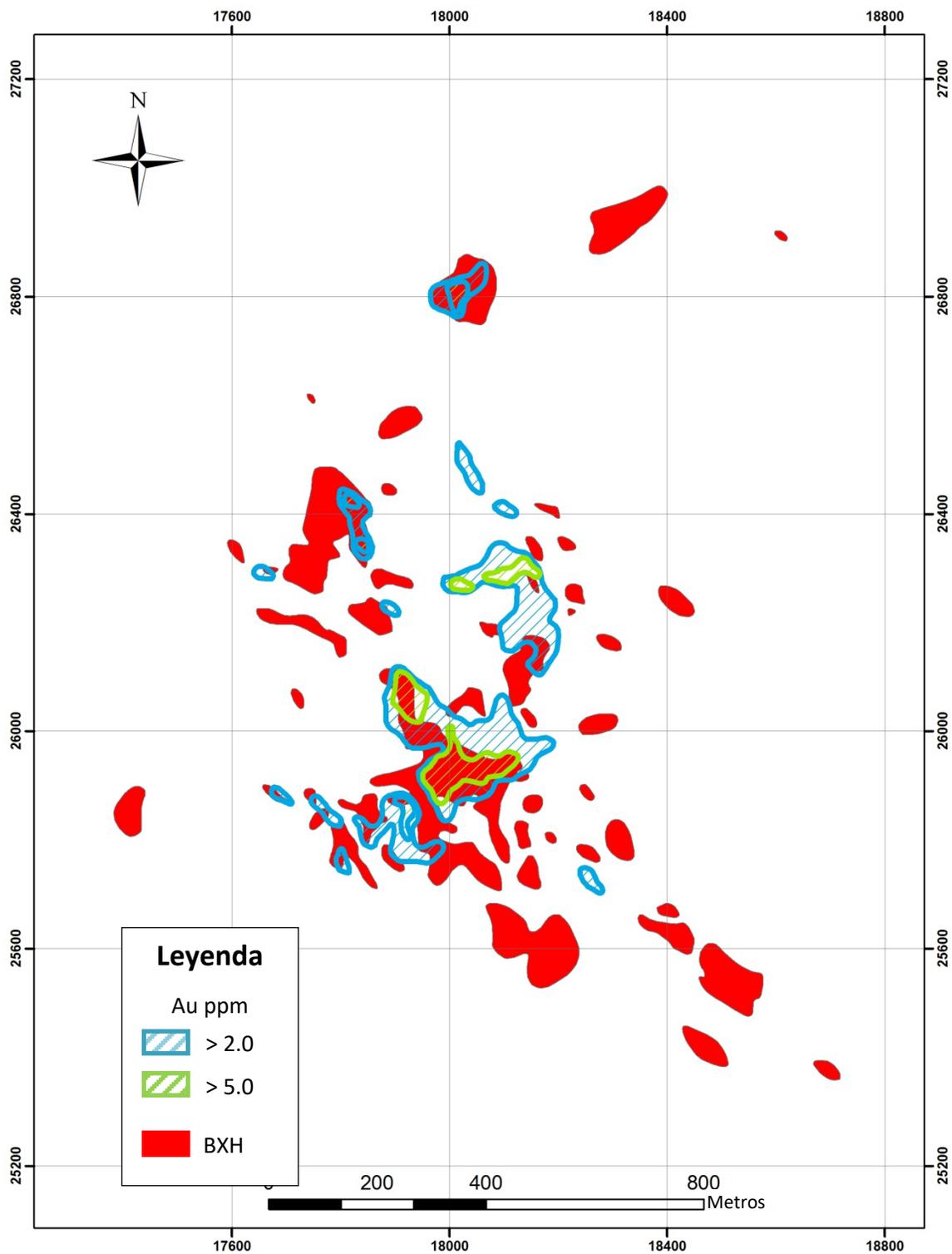


Figura 6.2. Plano en vista de planta en la cota 3665, mostrando las ubicaciones de las altas concentraciones de oro y las brechas hidrotermales

6.2. Control de Alteración

Las secuencias piroclásticas fueron afectados por diversos eventos de alteración hidrotermal, generando grandes volúmenes de sílice, dentro del depósito. Este evento de alteración hidrotermal originó y acondicionó un ambiente favorable para la precipitación y deposición de los metales. La textura sílice granular y sílice vuggy ha permitido que el oro se emplace en las oquedades dejadas por la fuerte lixiviación de los feldespatos y minerales ferromagnesianos. La alteración sílice masiva desarrolló una porosidad secundaria originada por el fuerte fracturamiento de la roca, donde el oro se emplazó y se depositó en fracturas y microfracturas.

La principal alteración que alberga la mineralización de alta ley de oro es la sílice masiva. Esta alteración se ha desarrollado extensivamente en todo el depósito, principalmente en la zona de sulfuros, por ende no necesariamente correlaciona directamente con el oro. Por encima de los cuerpos de sulfuros, la alteración sílice granular y vuggy hospedan la mineralización de oro en óxidos y de baja ley.

Lateralmente y en profundidad las alteraciones gradan a sílice-alunita, argílica y propílica, estas alteraciones no albergan mineralización significativa de oro.

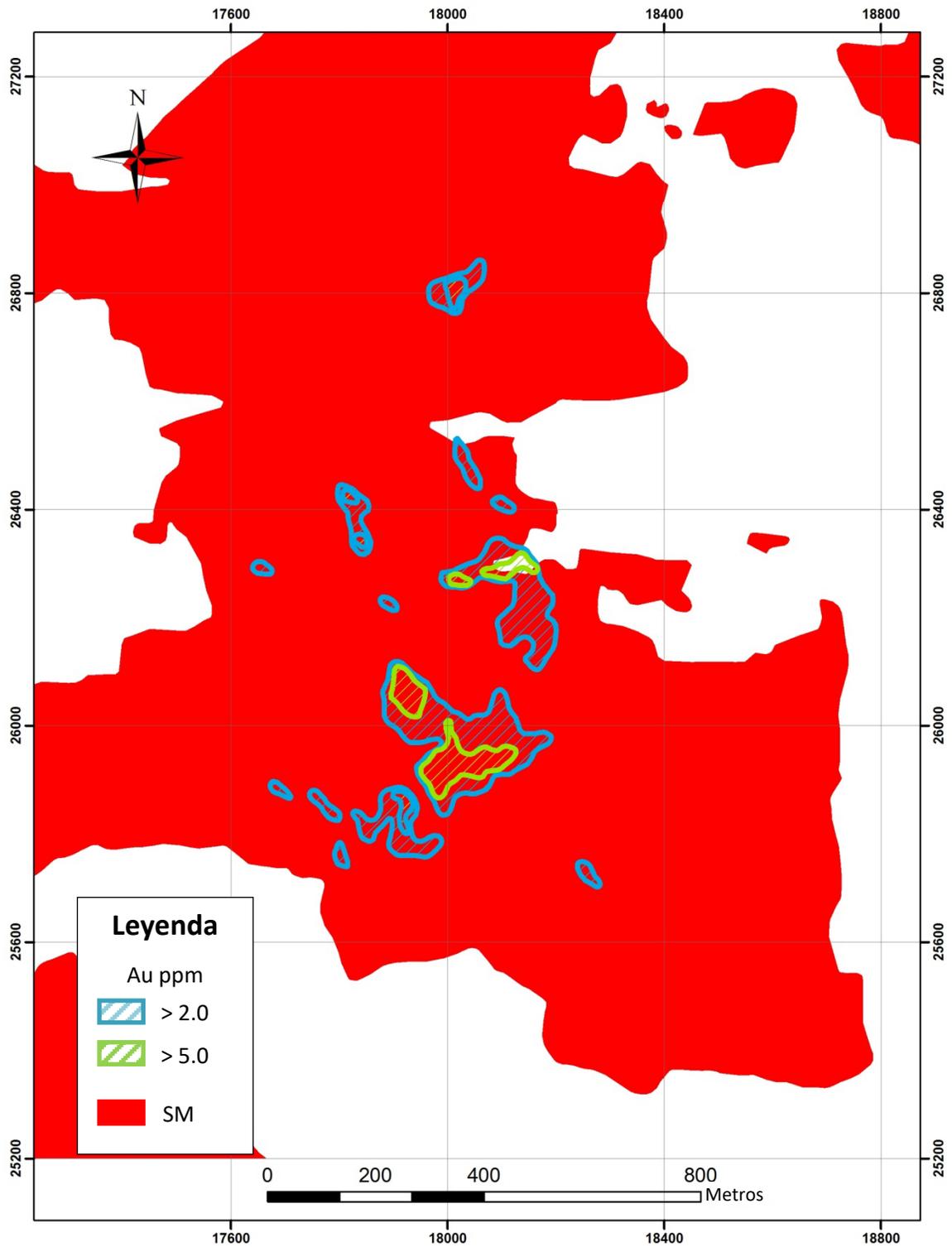


Figura 6.3. Plano en vista de planta en la cota 3665, mostrando las ubicaciones de las altas concentraciones de oro y la alteración sílice masiva.

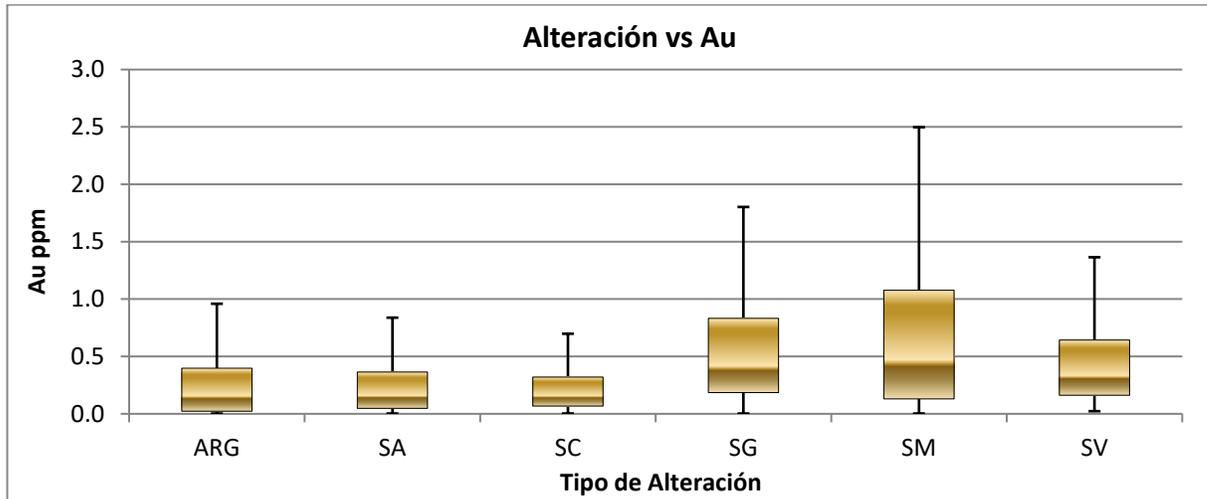


Figura 6.4. Diagrama "box plot" mostrando la distribución del oro según el tipo de alteración.

6.3. Control Estructural

Las interpretaciones realizadas utilizando los datos de superficie y de taladros sugieren que el emplazamiento de los cuerpos de brechas hidrotermales y las altas concentraciones de oro están controlados, en gran parte, por estructuras y sus intersecciones. El principal dominio estructural que controla los cuerpos de alta ley es el NNW, conocido como sistema "La Champa"; las leyes son significativamente más altas cuando se intersecta con el dominio estructural E-W, conocido como sistema "Paty". También se observa que las altas concentraciones de oro presentan un alineamiento NE, que corresponde al dominio estructural "La Fuente".

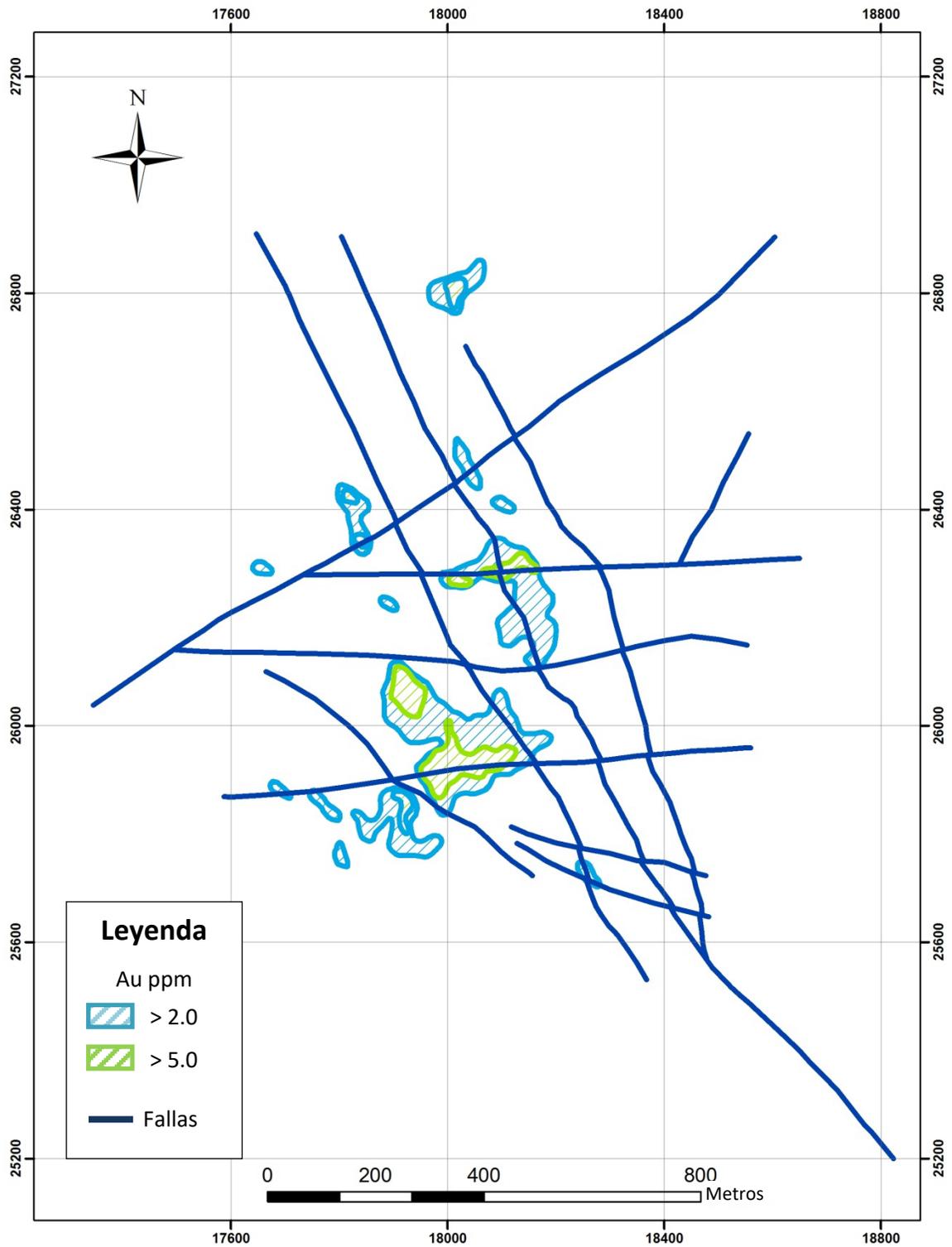


Figura 6.5. Plano en vista de planta en la cota 3665, mostrando las ubicaciones de las altas concentraciones de oro y las fallas principales.

Hacia el este del depósito, y en niveles cercanos a superficie, las fallas NNW que controlan las altas leyes de oro son “La Escarpa” y “Césped”, mientras que en profundidad, en la zona de sulfuros y hacia el oeste del depósito, la falla NNW que controla las altas concentraciones es “La Champa”.

6.4. Control Mineralógico

En la zona de sulfuros del depósito, en donde la roca caja (unidad Teut) fue intensamente afectada por una lixiviación ácida y una silicificación masiva, los minerales generalmente se presentan como sulfosales o sulfuros. Las altas leyes de oro posiblemente se deban a los múltiples eventos de enargita/luzonita, covelita y pirita arsenical. El oro también pudo haber sido concentrado cuando el azufre reemplazaba a los sulfuros asociados a la mineralización de oro. En las zonas con mayor concentración de oro, se ha observado que el oro grueso está asociado a la covelita y azufre nativo. Sin embargo, esta asociación se interpreta como espacial debido a que el azufre nativo llega a reemplazar parcialmente o completamente a la pirita, enargita, luzonita y covelita, dejando en ocasiones solamente oro, cuarzo y azufre, así mismo la covelita reemplaza a la enargita y luzonita. El depósito contiene un promedio de 5% de azufre, sin embargo localmente llega a contener hasta > 20%. El oro grueso es más frecuente hacia el suroeste del depósito donde el contenido de covelita y azufre nativo es mayor.

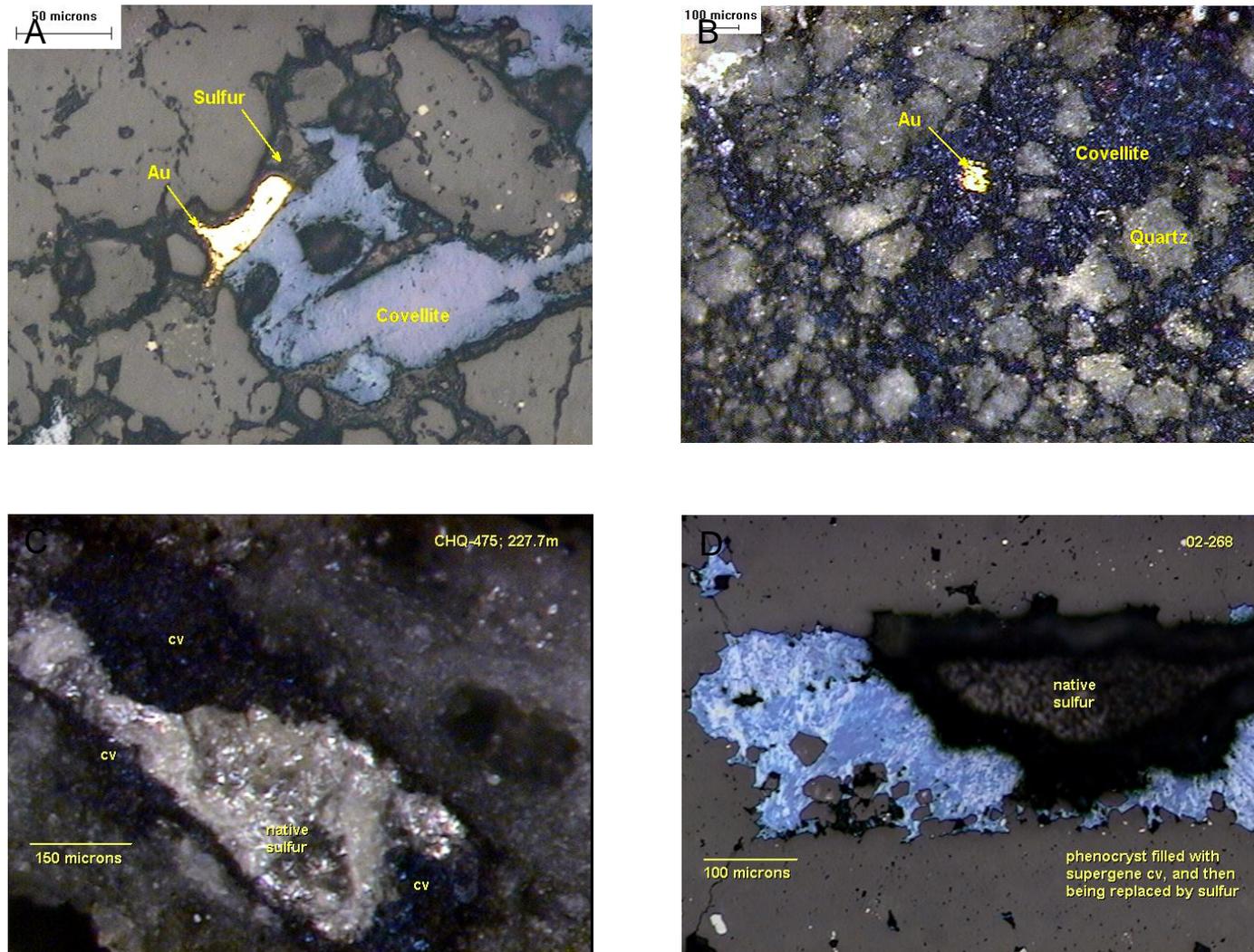


Foto 6.1. A. Fotografía mostrando oro grueso asociado a la covelita y azufre nativo. B. Fotografía mostrando un grano de oro en covelita. C y D. Fotografía mostrando el reemplazamiento de covelita por azufre nativo.

CONCLUSIONES

- Las brechas hidrotermales son los principales cuerpos hospedantes para la mineralización de alta ley de oro en la zona de sulfuros.
- La unidad Tft, y la unidad LA, se interpretan como el límite inferior de la mineralización de oro en el depósito.
- Las altas concentraciones de oro en la zona de sulfuros están emplazadas en la alteración sílice masiva, sin embargo no presentan una correlación directa.
- El dominio estructural principal que controla la mineralización de oro es el sistema NNW conocido como “La Champa”.
- La intersección de los sistemas estructurales NNW y E-W controlan las altas concentraciones de oro.
- Las estructuras como las fracturas mineralizadas y venillas tienen orientaciones preferenciales NNW y E-W en la zona de alta ley de oro en sulfuros.
- La correlación entre Au y Cu es baja a moderada, sin embargo en las brechas hidrotermales la correlación es buena a muy buena.
- Se identificó una moderada a buena correlación entre Au y Te, y a su vez con Cu, lo que indica que hubo una fase de telururos rica en Cu en el depósito, a pesar de la abundante presencia de As y S.
- Mineralógicamente, la presencia de oro está asociado principalmente a la pirita fina arsenical (segundo evento) y a los sulfuros de cobre (covelita principalmente).

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un remapeo estructural del tajo Chaquicocha para determinar si existen fallas con orientación NE en la zona de sulfuros, debido a que se infiere un alineamiento con esta orientación de los cuerpos con altas concentraciones de oro (> 2ppm).
- Continuar con la exploración hacia el norte y nor-oeste del depósito, siguiendo las trazas de las fallas con orientación NO (sistema “La Champa”), debido a que hay zonas amplias sin información de sondajes.
- Realizar estudios petro-minerográficos de muestras con pirita y altas leyes de oro y poder determinar una diferencia macroscópica entre el primer evento y el segundo evento de pirita que está relacionado a la mineralización de oro.

BIBLIOGRAFÍA

- Dr. Brosnahan; 2003: Updated paragenetic report on Chaquicocha Sur mineralization.
- Williams Cindy, Reyes Pedro, Flores Elmer, Manyari Cesar, Ugarte Efraín; 2002: Reporte interno del proyecto sulfuros de la zona de Chaquicocha.
- Canepa Cesar; 2002: Informe interno de estudio microscópico de secciones delgadas y pulidas del proyecto Chaquicocha.
- Miranda Miguel; 2002: Informe interno del estudio del proyecto Chaquicocha Alta, en relación a la presencia de zonas de bonanzas.
- Velazco Cesar; 2001: Informe de tesis “Modelo geoquímico del oro y elementos traza del Proyecto Chaquicocha.”
- Newmont Metallurgical Services; 2001: Petrographic examination of sulfides mineral in Chaquicocha Sur Drill Holes CHQ-261. Memorandum interno.
- Newmont Metallurgical Services; 2001: Petrographic examination of sulfides mineral in Chaquicocha Sur Drill Holes CHQ-341. Memorandum interno.
- INGEMMET; 1995. Geología del Perú: Instituto Geológico Minero Metalúrgico, boletín 55.
- Nelson Erick; 2010: “Chaquicocha Structural Geological Analysis”
- Cox Luke, 2012: Reporte interno del depósito Chaquicocha Sulfuros.
- Longo Anthony, 2012: “Evolution of Clalc-Alkaline Volcanism and Associated Hydrothermal Gold Deposits at Yanacocha, Peru”.

- Teal Lewis and Benavides Alberto, 2010: “History and Geologic Overview of the Yanacocha Mining District, Cajamarca, Peru”.
- Martinez, Pedro, 2005: Informe de Tesis, “Geología y Controles de Mineralización en el Depósito de Chaquicocha Sur asociado a Rocas Piroclásticas perteneciente al Complejo Volcánico Yanacocha”.
- Aguilar Danny, 2006: Informe de Tesis, “Controles de Mineralización de los Oreshoots en el Yacimiento de Oro Diseminado de Alta Sulfuración Chaquicocha – Minera Yanacocha”.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

Litología

- BxF: Brecha freática.
- BxH: Brecha hidrotermal.
- Cp: Intrusivo de composición andesítica y textura fina a media.
- LA: Unidad Andesita Inferior.
- Teut: Unidad Tufo Transicional Eutaxítico.
- Tft: Unidad Tufo Fino Transicional.
- Ult: Unidad Tufo Lítico Inferior.
- UphA: Unidad Andesita Superior.
- Yp: Intrusivo de composición andesítica, bimodal y textura media a gruesa.
- Ypq: Intrusivo de composición dacítica y textura media a gruesa.
- Ypqb: Intrusivo de composición dacítica rico en biotita.
- Ypq-E: Intrusivo de composición dacítica previo al intrusivo Ypq.

Alteración

- SM: Sílice Masiva
- SV: Sílice Vuggy
- SG: Sílice Granular
- AA: Argílico Avanzado

- ARG: Argílico
- PRO: Propilítico

Mineralización

- Au: Oro
- cov: Covelita
- en: Enargita
- lz: Luzonita
- early pyrite: Pirita temprana
- late pyrite: Pirita tardía
- py: Pirita
- Q: Cuarzo
- S, native sulfur: Azufre Nativo