

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA**



**“DISTRIBUCION DE ELEMENTOS QUIMICOS EN LA  
ZONA DE ALTA LEY DE AU EN EL TAJO YANACOCCHA –  
DISTRITO MINERO DE YANACOCCHA, CAJAMARCA”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

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

**PRESENTADO POR**

**JENNY JARA GARAMENDI**

**LIMA – PERU**

**2010**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mi familia,  
mis padres Nieves y Pablo,  
mi hermana Silvia y mi esposo Henry,  
que son el motor para lograr mis metas.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar quiero agradecer al Ing. Scott Smith, Gerente General de Geología Mina, por todas las facilidades brindadas para utilizar la información de Minera Yanacocha S.R.L. y elaborar el presente trabajo, también agradezco al personal técnico Vanessa Tantalean por su apoyo en la realización de todos los gráficos presentados y a Riquelme Alva por su apoyo en la búsqueda de la información solicitada.

Finalmente, debo agradecer a José Quispe y Giuliano Zeballos, por su apoyo y agradecerles que de una manera u otra me transmitieran sus conocimientos.

## **RESUMEN**

El Distrito Minero de Yanacocha esta localizado en el norte de los Andes de Perú, dentro de la provincia de Cajamarca a 20 km al NE de la ciudad de Cajamarca. El distrito abarca un área de 120 km<sup>2</sup>.

El Distrito Minero de Yanacocha posee el yacimiento de oro más importante de América Latina, con más de 50 millones de onzas de oro en óxidos y un recurso desconocido en sulfuros.

Actualmente, la mina es explotada por un consorcio integrado por la empresa norteamericana Newmont Mining Corporation (51,35 %), la empresa peruana Compañía de Minas Buenaventura (43,65 %) y la Corporación Financiera Internacional, organismo dependiente del Banco Mundial (5%).

El Distrito Minero de Yanacocha se caracteriza por albergar yacimientos de tipo epitermal de alta sulfuración como: Yanacocha, Chaquicocha, El

Tapado, Maqui Maqui, Carachugo, Cerro Negro, Corimayo, Cerro Quilish, San José y yacimientos fluvio glaciares como La Quinoa.

Esta localizado dentro de una estructura NW de un paleo graben sobre la secuencia de LA "Lower Andesite", limitado hacia el noreste por la falla Yanacocha-Carachugo y hacia el suroeste por la falla Diablo Pacifico. El graben esta relleno por la secuencia de tufos Tft (unidad transicional de tufo fino), TEUT (unidad transicional eutaxítico) y USJ (unidad San José) que albergan la mineralización.

Dentro del Distrito existen tres tendencias estructurales principales que controlan la mineralización: N35-50W, N40-60E y EW (Edwards, 2000; Longo, 2000; Harvey et al., 1999; Myers, 1997b).

La alteración en el distrito es típica de un sistema de alta sulfuración con un zoneamiento que gradúa del centro hacia fuera de sílice masiva a sílice alunita +- pirofilita (alteración argílica avanzada) seguido por la presencia de arcillas-caolinita gradando a montmorillonita (alteración argílica), terminando en alteración propilítica cubierto por rocas frescas.

El área de estudio forma parte del tajo Yanacocha que es un depósito de alta sulfuración caracterizado por la presencia de óxidos (aproximadamente

400m de espesor), y sulfuros actualmente en estudio para determinar el potencial futuro, entre ambas zonas existe una zona transicional (aproximadamente de 50m a 60 m de espesor), esta ultima zona transicional es el área del presente trabajo (bancos 3832 y 3842).

La mineralización de Yanacocha esta vinculada a diversos controles tales como litológico, estructural y de alteración.

En el tajo Yanacocha existe un fuerte control estructural que corresponde a la intersección de las fallas N-S (falla Plateros) con las estructuras E-W, aprovechados por las brechas y fluidos hidrotermales.

El tajo Yanacocha se caracteriza por presentar un cuerpo extenso de alteración sílice masiva, que afecta a las brechas hidrotermales y a los tufos de la unidad TEUT, la alteración sílice masiva es la principal alteración que alberga la mineralización de oro de alta y media ley ( $> 0.3$  gr/tn) a diferencia de la alteración argílica avanzada que alberga mineralización de oro de media a baja ley ( $0.1$  gr/tn a  $0.3$  gr/tn), las alteraciones argílicas y propilíticas están asociados a intrusivos tardíos, por lo tanto las leyes en estas alteraciones son bajas ( $< 0.1$  gr/tn). La zona central que contiene el núcleo

de alta ley de oro tiene como alteración predominante a la sílice masiva, presente tanto en la brecha hidrotermal como en la secuencia del Teut.

El tajo Yanacocha presenta zonas ricas en Au, Ag y Cu, cada una independiente de la otra, el presente trabajo se enfoca en la zona enriquecida en Au (mayor a 2 gr/tn Au) ubicado en la parte central del tajo relacionado a los tufos de la unidad Teut y a las brechas hidrotermales fuertemente fracturados, con una fuerte alteración sílice masiva y abundante óxidos.

Para realizar el presente trabajo se recopiló información de los taladros diamantinos y de los "blastholes" de los niveles 3832 y 3842 y se realizó un tratamiento estadístico a un total de 1426 muestras para encontrar elementos que correlacionen.

Los valores máximos observados fueron: Au (41.1 gr/tn), Ag (352 ppm), As (6336 ppm) y Cu (0.45%) y entre las correlaciones encontradas se tiene a las siguientes:

Correlación fuerte: Cd-Ce-Cs-Rb, As-Sb, In-Pb-Fe-Te,

Correlación moderada: As-Fe-In-Se

Correlación débil: In-Sb-Se-Te, Au-Se-Te. Te-Pb-Fe, Ag-Sb, Cu-Sb.

No se encontró correlación del Hg con ningún elemento

La zona enriquecida de oro en el nivel de transición, presenta correlaciones de elementos típicos de un sistema de alta sulfuración, como se observa en las correlaciones de Cd-Ce-Cs-Rb, As-Sb, In-Pb-Fe-Te, As-Fe-In-Se, In-Sb-Se-Te, Au-Se-Te. Te-Pb-Fe, Ag-Sb, Cu-Sb.

El Cu y Sb tienen buena correlación debido a que ambos elementos se encuentran en los Cobres grises. Esta correlación puede sugerir presencia de estos minerales, observados en niveles más profundos del sistema.

La correlación de Ag con el Sb evidencia a las platas rojas (sulfosales de Ag), que pueden estar presente en el sistema transicional, no se ha podido observar claramente a estos sulfosales ya que solo se ha detectado microscópicamente, otros minerales de Ag existentes en el tajo son sulfatos, tales como la argentojarosita ( $\text{AgFe}_{3+3}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ) y a bismutostibiconita ( $(\text{Bi}_3, \text{Fe}_3)_2\text{Sb}_5\text{O}_7$ ) detectados por análisis de XRD.



Se observa la correlación del oro con telurio y asociado al selenio debido a que existen minerales de calaverita.

Es importante recalcar la baja correlación del Au con el Hg que indica que el Hg no se restringe solo a la zona del oro si no que tiene un área distinta de dispersión.

Es notorio también observar correlaciones fuertes de elementos que se ubican en el mismo grupo de la tabla periódica como As, Sb y Te, Se debido a que tienen similares propiedades químicas.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
CAPITULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES	5
1.1 Ubicación y Accesibilidad	5
1.2 Clima	5
1.3 Antecedentes Históricos	6
1.4 Objetivo y Alcances del Estudio	8
1.5 Metodología	9
CAPITULO 2: MARCO GEOLOGICO REGIONAL	10
2.1 Introducción	10
2.2 Evolución Tectónica	11
2.3 Geología Estructural	12
2.4 Litología	14
2.4.1 Unidad Lower Andesite Sequence (LA)	16
2.4.2 Unidad Fine Tuff Sequence (Tft)	17
2.4.3 Unidad Teut – Principal Secuencia Piroclática	17
2.4.4 Unidad San José (Usj)	19
2.4.5 Unidad Upper Andesite Domes and Flows (UphA)	20
2.5 Dataciones	21

2.6	Prospección Geofísica	22
2.7	Geología Económica	23
2.7.1	Alteraciones Hidrotermales	24
2.7.1.1	Silice	27
2.7.1.2	Argilica Avanzada	28
2.7.1.3	Argilica	28
2.7.1.4	Propilitica	29

### CAPITULO 3: GEOLOGIA LOCAL DE YANACOCHA (BANCOS 3832 Y 3842)

3.1	Introducción	30
3.2	Controles Estructurales	32
3.2.1	Falla Plateros	33
3.2.2	Falla E-W	34
3.2.3	Falla Oro Nativo	34
3.2.4	Diablo Pacifico	34
3.3	Relación Estructuras - Mineralización	34
3.4	Litología	37
3.4.1	Unidad San José	39
3.4.2	Unidad Teut	39
3.4.3	Dacita Porfírica (YP)	40
3.4.4	Intrusiones de Ypq	41
3.5	Brechas Magmático - Hidrotermal	42
3.5.1	Diatrema-Brecha Freatomagmatica (BXFM)	43
3.5.2	Brecha Hidrotermal (BxH)	45
3.5.3	Brecha Crakel (BxC)	47

3.5.4 Brecha Freática (BxF)	48
-----------------------------	----

#### CAPITULO 4: GEOLOGIA ECONOMICA

4.1	Introducción	50
4.2	Alteraciones Hidrotermales	50
4.2.1	Silicificación	52
4.2.1.1	Sílice Masiva	52
4.2.1.2	Sílice Vuggy	53
4.2.1.3	Sílice Granular	54
4.2.2	Alteración Argílica Avanzada	54
4.2.3	Alteración Argílica	55
4.2.4	Alteración Propilítica	56
4.2.5	Relación Alteración - Mineralización	56

#### CAPITULO 5: GEOQUIMICA

5.1	Muestreo	57
5.2	Resultados Geoquímicos	61
5.2.1	Parámetros estadísticos básicos	63
5.2.2	Histogramas	63
5.2.3	Frecuencia acumulada	64
5.2.4	Curva de probabilidad	65
5.2.5	Correlaciones	66
5.2.5.1	Gráficos Bivariables	68
5.2.5.2	Gráficos Multivariables	72
5.3	Comportamiento de los elementos con relación a la mineralización	74

CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Ubicación Geográfica del Distrito Minero de Yanacocha	6
FIGURA 2	Distribución de las minas del Distrito Minero de Yanacocha	8
FIGURA 3	Plano geológico del Distrito Minero de Yanacocha	11
FIGURA 4	Plano con las estructuras principales del Distrito	13
FIGURA 5	Columna estratigráfica del Distrito Minero de Yanacocha	15
FIGURA 6	Muestra de la unidad LA	16
FIGURA 7	Muestra de la unidad Tft	17
FIGURA 8	Muestra de la unidad TEUT	18
FIGURA 9	Muestra de la unidad San José	19
FIGURA 10	Muestra de la unidad UphA	21
FIGURA 11	Principales depósitos del Distrito	24
FIGURA 12	Plano de alteraciones hidrotermales en el Distrito	26
FIGURA 13	Mapa de ubicación del área de trabajo	31
FIGURA 14	Zona de oxido y transicional en el tajo Yanacocha	32
FIGURA 15	Foto de Falla Plateros	33
FIGURA 16	Plano con las principales estructuras	36
FIGURA 17	Plano de interpretación litológica	38
FIGURA 18	Foto contacto entre Teut y Yp	39
FIGURA 19	Foto de muestra de mano de roca Teut	40
FIGURA 20	Foto de contacto de Yp, Teut y Bxfrm	40
FIGURA 21	Foto de muestra de mano de roca Yp	41
FIGURA 22	Foto de Yp	42
FIGURA 23	Foto de muestra de mano de Ypq	42

FIGURA 24	Foto de brecha freatomagmática	44
FIGURA 25	Foto de muestra de mano de Bxfm	45
FIGURA 26	Foto de Brecha Hidrotermal	46
FIGURA 27	Foto de muestra de mano de Bxh	46
FIGURA 28	Foto de muestra de mano de Bxc	47
FIGURA 29	Foto de brecha freática	49
FIGURA 30	Foto de contacto de Yp con Bxh y Bxf	49
FIGURA 31	Plano de alteraciones del Tajo Yanacocha	51
FIGURA 32	Foto de Teut con alteración sílice masiva	52
FIGURA 33	Foto de muestra con alteración sílice vuggy	53
FIGURA 34	Foto de muestra con alteración sílice granular	54
FIGURA 35	Foto de alteraciones hidrotermales	55
FIGURA 36	Plano con ubicación de puntos de muestreo	60
FIGURA 37	Plano con zonas de alta ley de Au, Cu, Ag y Hg	62
FIGURA 38	Histogramas	64
FIGURA 39	Frecuencia acumulada	65
FIGURA 40	Curva de probabilidades	66
FIGURA 41	Grafico bivariable As-Sb	69
FIGURA 42	Grafico bivariable Cu-Sb	70
FIGURA 43	Grafico bivariable Ag-Sb	71
FIGURA 44	Grafico multivariable	73

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1	Edades de las unidades litológicas de Yanacocha	22
TABLA 2	Métodos geofísicos más usados en Yanacocha	23
TABLA 3	Parámetros estadísticos de elementos	63
TABLA 4	Cuadro de correlaciones	67



## **CAPITULO I**

### **CONSIDERACIONES GENERALES**

#### **1.1 Ubicación y Accesibilidad**

El Distrito Minero de Yanacocha esta localizado en el norte de los Andes de Perú, dentro de la provincia de Cajamarca a 20 km al NE de la ciudad de Cajamarca y a 600 km al NE de la ciudad de Lima, entre las cotas 3,750 y 4,200 msnm. El distrito abarca un área de 120 km<sup>2</sup>. (Ver Fig. 1).

#### **1.2 Clima**

El clima es típico de zonas de sierra, relativamente frío y ventoso con temporadas secas y lluviosas. La temporada de lluvia empieza en el mes de Octubre y termina en el mes de Abril, siendo Julio el mes más seco y Marzo el más húmedo. La lluvia anual es alrededor de 780 mm. El promedio anual de temperatura máxima es de 21 °C y el promedio mínimo es de 4.6 °C.

Durante el invierno es común la presencia de niebla, nubes bajas y tormentas eléctricas.

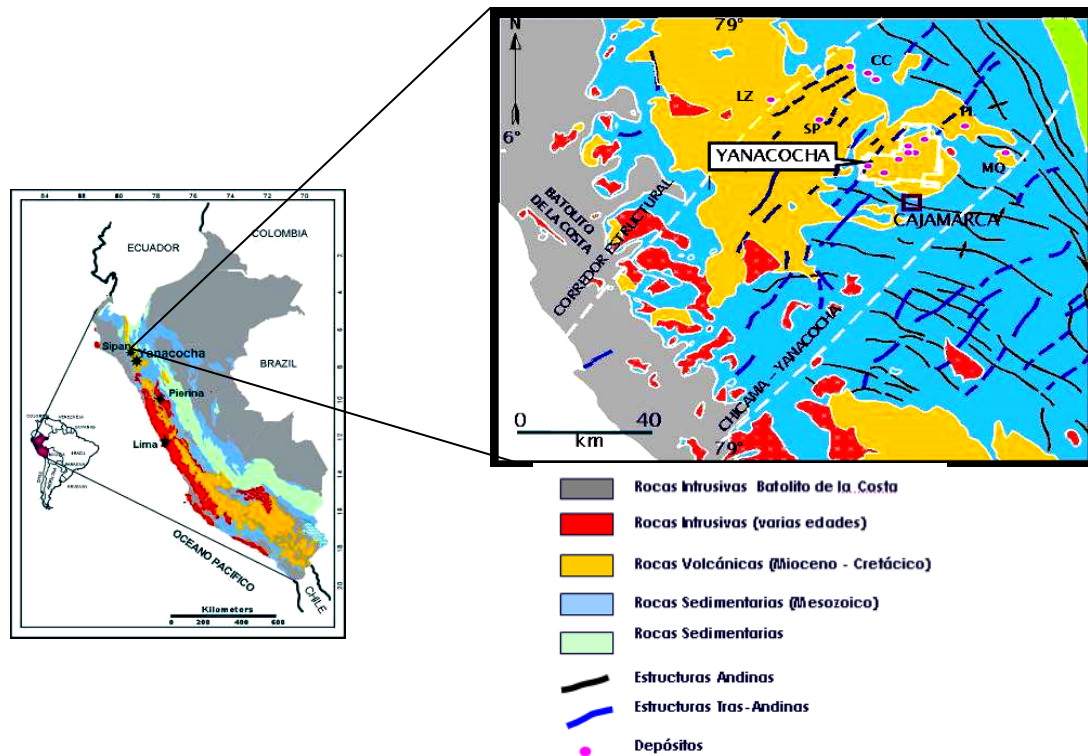


Fig. 1: Ubicación Geográfica del Distrito Minero de Yanacocha y su relación con las unidades geológicas y sistemas estructurales.

### 1.3 Antecedentes Históricos

El Distrito Minero de Yanacocha (yana = negro; cocha = lago) posee el yacimiento de oro más importante de América Latina, con más de 50 millones de onzas de oro en óxidos y un recurso desconocido en sulfuros (cobre). En el 2005 obtuvo 3'333,088 onzas de oro, sin embargo, durante los últimos años Yanacocha ha experimentado una caída en su producción debido al agotamiento de sus reservas. Empezó a operar en 1993 con el depósito de Carachugo Sur. Yanacocha se compone de siete minas (ver Fig.

2), cuatro plataformas de lixiviación y tres plantas de recuperación de oro. Actualmente se tiene en fase de explotación cinco minas: Yanacocha, La Quinoa, El Tapado, Chaquicocha y San José.

La exploración en el Distrito Minero de Yanacocha empezó con fuerza en 1968 por parte de la compañía Japonesa Nippon Mining en busca de pórfidos de cobre, luego fue explorado por la British Geological Survey (B.R.G.M. siglas en francés), y CEDIMIN un organismo estatal francés, posteriormente CEDIMIN se asoció a las empresas Newmont Mining Corporation y Compañía de Minas Buenaventura, retirándose en 1994.

Actualmente, la mina es explotada por un consorcio integrado por la empresa norteamericana Newmont Mining Corporation (tiene el 51,35 % de la mina), la empresa peruana Compañía de Minas Buenaventura (posee un 43,65 %) y la Corporación Financiera Internacional, organismo dependiente del Banco Mundial (posee el restante 5%).

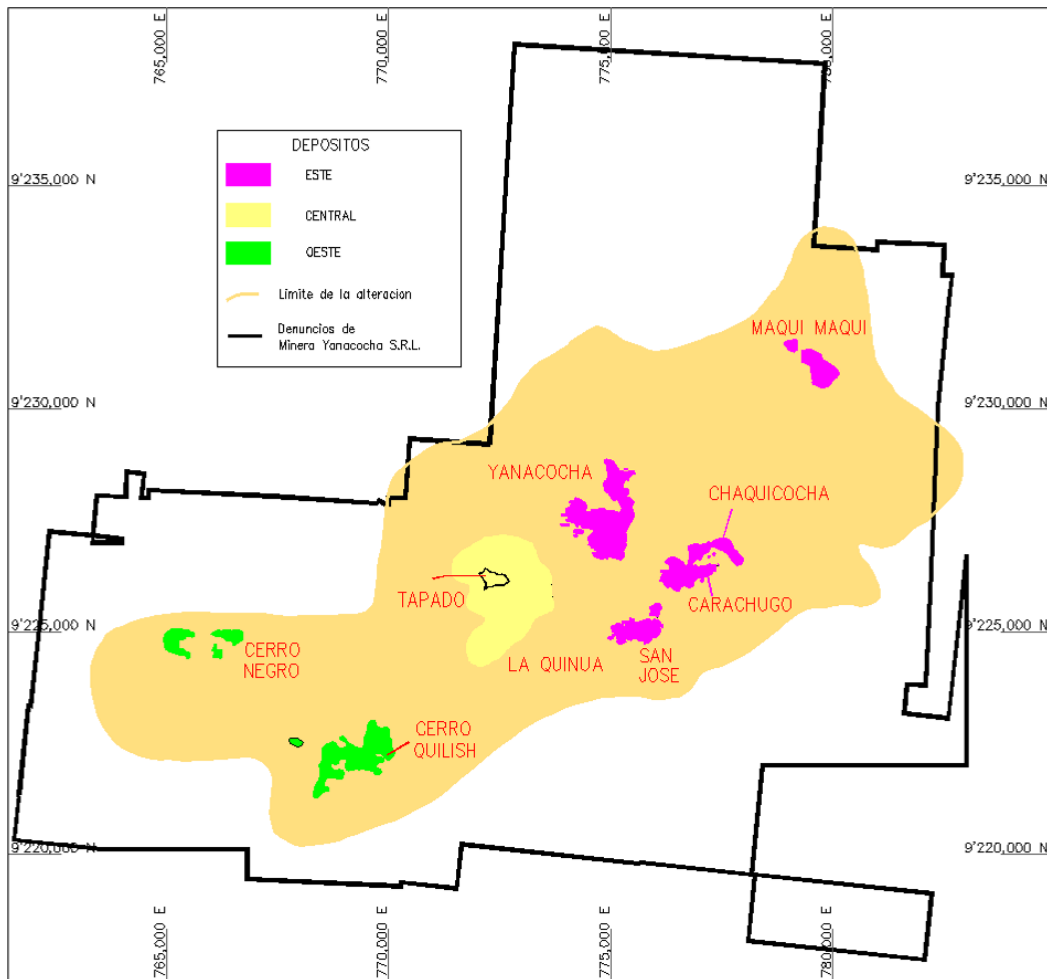


Fig. 2: Distribución de las minas dentro del Distrito Minero de Yanacocha (según reporte interno MYSRL 2002).

#### 1.4 Objetivos y Alcances del Estudio

- Obtener el grado de ingeniero geólogo.
- Conocer la correlación de elementos en la zona de alta ley de oro en el tajo de Yanacocha en la zona transicional del deposito entre los bancos 3832 y 3842 (litología, mineralogía y geoquímica).

## **1.5 Metodología**

- Se empleo dos meses de campo que consistió en el cartografiado del tajo Yanacocha en los niveles 3832 y 3842 a escala 1/2000 en un área aproximada de 1000m x 1000 m.
- Se realizó la interpretación geológica: litología, alteración y estructuras del tajo Yanacocha en un área aproximada de 1800 m x 2000 m.
- Se recopiló información de los taladros diamantinos: análisis ICP y FAA.
- Se recopiló información de los blastholes de producción: análisis de AUFA, AUCN, Ag, CUCN, Hg.

## **CAPITULO II**

### **MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

#### **2.1 Introducción**

El área de trabajo esta localizado en el distrito de Cajamarca, dentro de la propiedad de Minera Yanacocha S.R.L. El estudio esta enfocado en el tajo de Yanacocha en la zona central (Ver Fig. 3). A continuación se describirán las características geológicas del distrito.

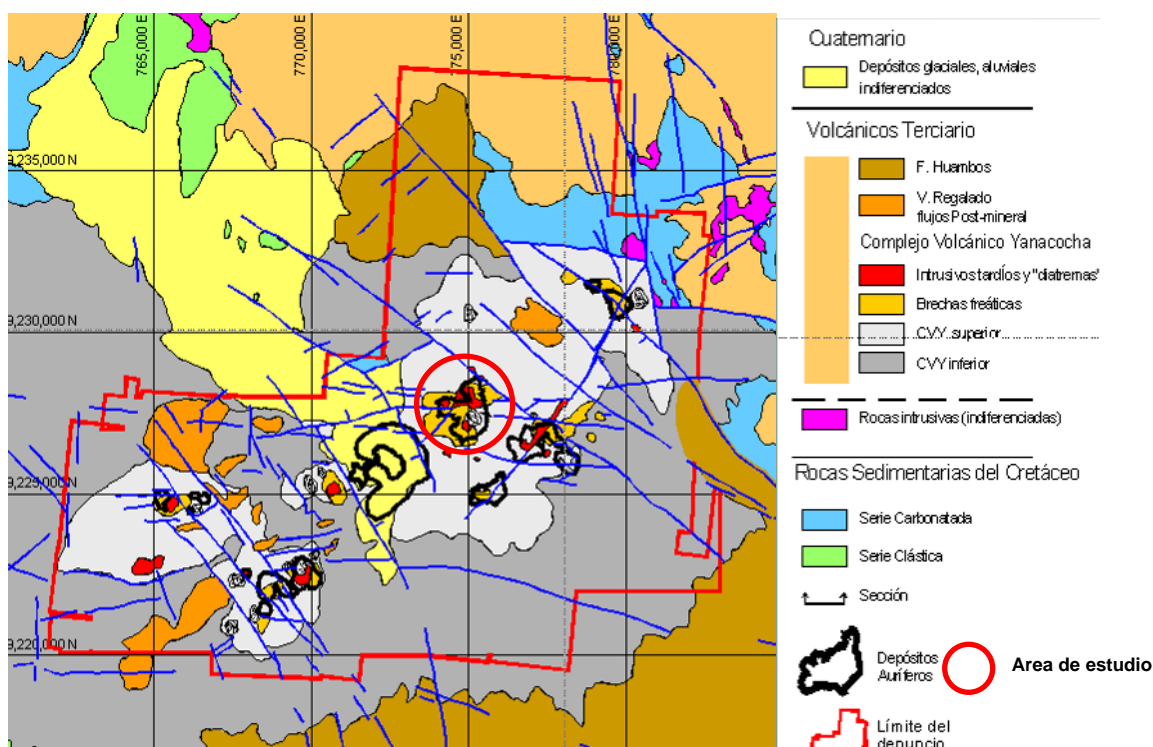


Fig. 3: Plano geológico del Distrito Minero de Yanacocha, indicando el área de estudio (según compilado C. Loayza et al. 2002).

## 2.2 Evolución Tectónica

El paquete sedimentario del Mesozoico y las rocas volcánicas del Cenozoico inferior fueron plegadas y falladas durante varios episodios tectónicos que empezó en el Paleoceno con la fase Inca I, continuando con la fase Inca II del Eoceno y la fase Inca III y IV del Oligoceno a Mioceno. A finales del Mioceno fueron afectados por la Fase Quechua I y II (Canchaya 1990; Noble et al., 1990). Las rocas volcánicas más tardías fueron deformadas en el Eoceno medio debido a la fase Inca II e intruídas por stock dioríticos relativamente más jóvenes hacia el este y norte del distrito.

### **2.3 Geología Estructural**

Existen tres tendencias estructurales principales que controlan la mineralización: N35-50W, N40-60E y EW (Edwards, 2000; Longo, 2000; Harvey et al., 1999; Myers, 1997b).

Estas estructuras están relacionadas al cinturón Mesozoico en el área de Yanacocha. También existen otras estructuras de importancia que están interpretadas como fallas al oeste del distrito y que controla la mineralización de Cerro Negro y Cerro Quilish (reconocidas por Myers 1997b, Klein et al. 1999). La presencia de alunita en estas fallas permite asociar estas estructuras con las principales fase de mineralización.

El complejo Yanacocha es localizado dentro de una estructura NW de un paleo graben sobre la secuencia de LA ("Lower Andesite"), limitado hacia el noreste por la falla Yanacocha-Carachugo y hacia el suroeste por la falla Diablo Pacifico. El graben está relleno por la secuencia de tufos Tft (unidad transicional de tufo fino), TEUT (unidad transicional eutaxítico) y USJ (unidad San José) que albergan la mineralización (Ver Fig. 4).



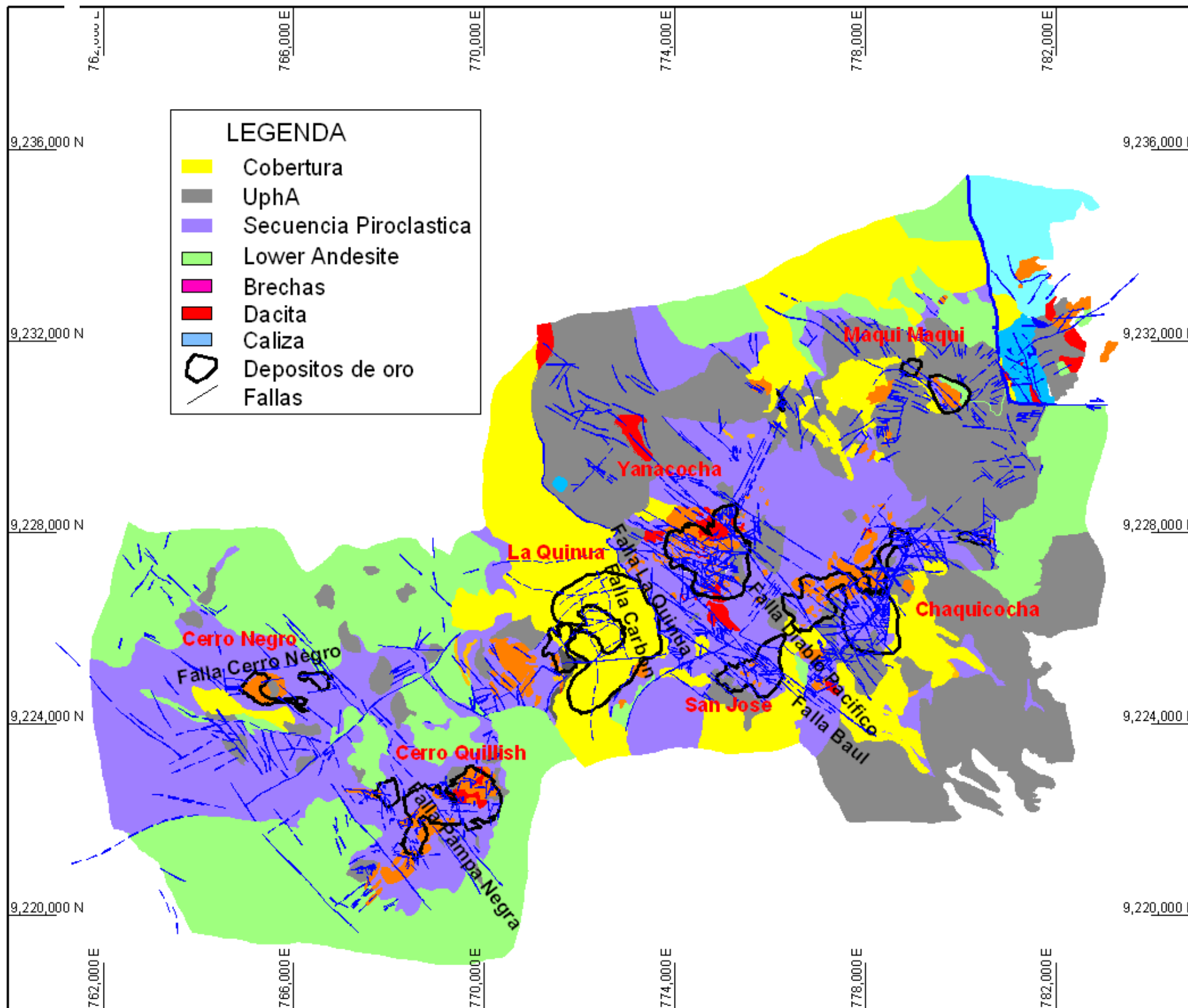


Fig. 4: Plano con las estructuras principales del Distrito (compilado por J. Gomez, S. Moore, L. Teal, 2003).

En el distrito existen calderas que forman un alineamiento SW-NE que es coincidente con la dirección estructural regional conocida como Corredor Estructural Chicama Yanacocha (A. Quiroz, 1997). También existe un segundo corredor estructural notado por la existencia de un conjunto de fallas de rumbo NNW-SSE que se alinean desde la Quebrada Azufre hasta Hualgayoc, este corredor estructural es denominado Yanacocha-Hualgayoc (sistema Diablo Pacifico Ver Fig. 4). La mineralización en la intersección de estos dos grandes corredores estructurales presenta numerosas estructuras mineralizadas relacionadas a fracturas y fallas tensionales relacionadas al sistema NNW-SSE (A. Quiroz, 2002).

## **2.4 Litología**

Las rocas del Basamento de Yanacocha consiste de unidades del Cretáceo inferior, medio y superior del Grupo Gollarisquizga, que consiste principalmente de areniscas de grano grueso intercaladas con limolitas, calizas y calizas limosas, con capas de carbón en la base y hacia el tope la presencia de conglomerados y areniscas de color rojo (Reyes, 1980; Megard, 1987; INGEMMET, 1995). Sobre esta secuencia calcárea se encuentra las rocas volcánicas del Terciario conocidas regionalmente como Grupo Calipuy, que consiste aproximadamente de 2000 m de flujos de lavas y flujos de piroclastos. Regionalmente el Grupo Calipuy ha sido subdividido en tres unidades, de la base hacia el tope: Volcánicos Llama, Volcánicos Porculla y la Formación Huambos (Wilson, 1984). En el distrito de

Yanacocha, Turner (1997) renombra a los Volcánicos Porculla como Complejos Volcánicos Yanacocha (CVY) y lo describe como un centro volcánico que alberga la mineralización del distrito. En la Fig. 4, se observa en detalle el plano geológico del distrito y a continuación se describe la columna del Complejo Volcánico de Yanacocha (CVY) desde la base hacia el tope (Ver Fig. 5).

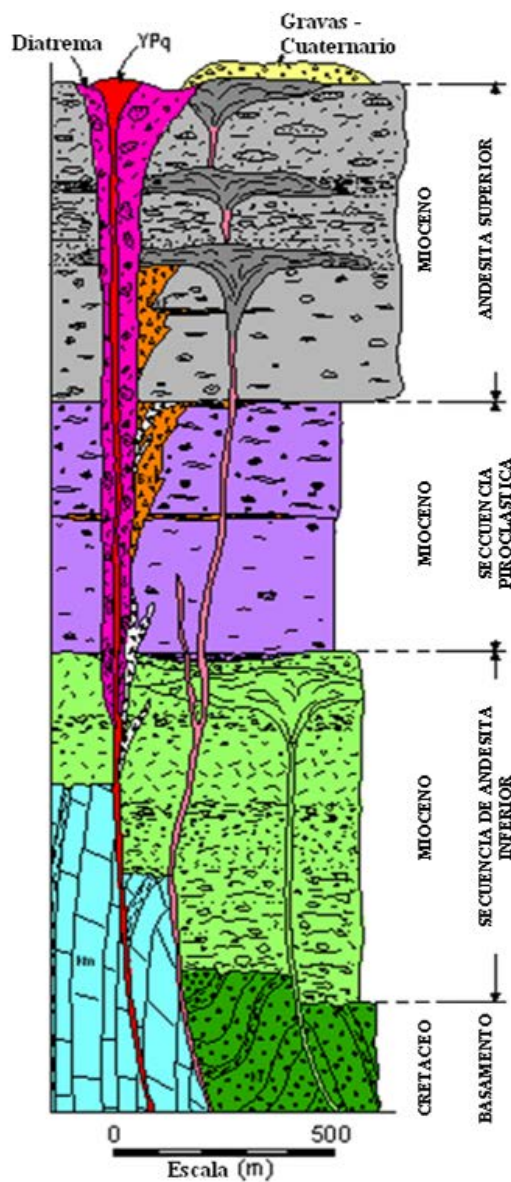


Fig. 5: Columna estratigráfica del Distrito Minero de Yanacocha (según A. Longo, 2002).

**2.4.1 Unidad Lower Andesite Sequence (LA):** son rocas relativamente frescas sin alteración de textura porfírica y fragmental de grano grueso que se encuentra debajo de la secuencia de tufos que alberga la mineralización. Esta unidad esta compuesta de una variada litología tal como andesitas y dacitas con un promedio de 600 m de espesor. Esta unidad ha sido dividido en tres sub unidades de arriba hacia abajo LphA (andesita rica en piroxenos-hornblenda), LbP ( piroclasto rico en biotitas) y BhA ( andesita basal rica en hornblenda). Esta unidad tiene un rango de edad de 13.7 a 19 Ma (A. Longo 2002a). La unidad LA esta sobre la secuencia del basamento Cretáceo, determinado mediante logueos de taladros perforados en el área de Maqui Maqui (Ver Fig. 6).



Fig. 6: Muestra de la unidad LA, roca de textura fragmental heterolítica con matriz porfírica, la muestra es característica de un Lahar.

**2.4.2 Unidad Fine Tuff Sequence (Tft):** es una unidad discontinua ubicada dentro de la cuenca formada durante el fallamiento pos deposición del LA. Esta unidad es altamente variable en espesor y morfología, consiste localmente de tufos finos de cristales laminados y localmente con sedimentos lacustrinos laminados (Ver Fig. 7).



Fig. 7: Muestra de la unidad Tft, conformada de cristales finos alterada a sílice masiva.

**2.4.3 Unidad Teut - Principal Secuencia Piroclástica:** Consiste de una secuencia de tufos con cristales débilmente soldados, líticos y lapillis, el

espesor de esta unidad es variable debido a las imperfecciones en la paleo superficie, varia entre 150 m a 300 m.

La composición original de los flujos de piroclastos no se puede determinar fácilmente debido a la fuerte alteración en todo el distrito. Localmente se observan clastos del basamento y de cuarcitas pero no son tan abundantes, por tanto no se han empleado para su clasificación. Esta secuencia presenta textura eutaxítica rica en cristales y aparentemente se vuelve más felsica hacia el tope del flujo piroclásticos (Ver Fig. 8).



Fig. 8: Muestra de la unidad TEUT, nótese la ausencia de fragmentos líticos.

**2.4.4 Unidad San José (Usj):** La unidad San José tiene aproximadamente 100 m de espesor en el distrito, consiste de un flujo de piroclastos con abundante líticos silificados con fuerte alteración de sílice masiva (Ver Fig. 9). Esta unidad esta localmente cortada por intrusiones andesíticos de la unidad UphA.

La unidad San José se confunde fácilmente con las brechas freáticas (BXF) especialmente en Yanacocha, Chaquicocha y Carachugo, solo las observaciones de campo, logueos y un mapeo detallado puede diferenciar ambas unidades.



Fig. 9: Muestra de taladro de la unidad San José, obsérvese la abundancia de los fragmentos líticos silificados.

**2.4.5 Unidad Upper Andesite Domes and Flows (UphA):** La unidad Andesita Superior (Upper Andesite) cubre e intruye la secuencia de tufos de la unidad San José, esta unidad consiste de andesitas porfiríticas débilmente alteradas que forma diques, domos y flujos en todo el distrito, tiene un rango de edad de 11.6 a 13.3 Ma (A. Longo, 2002a).

Los domos volcánicos y flujos de lavas están compuesto de fenocristales de grano medio a fino con andesitas fuertemente magnéticas, comúnmente presentan la textura “flow banding”. A los diques porfiríticos de grano fino se les denominada CP y a las intrusiones de andesita porfirítica con plagioclasas de grano medio y textura bimodal se les denomina YP. Ambos cuerpos cortan la secuencia de tufos (Ver Fig. 10).

La alteración en esta unidad es muy débil presentando alteración propilítica en los contactos con la secuencia de tufos, caracterizado por arcillas y piritas. Localmente se puede encontrar algo de silicificación y sílice alunita en algunas áreas de contacto. Es común que en los contactos de los domos y CP-YP se emplacen brechas freáticas.





Fig. 10: Muestra de la unidad UphA, andesita de textura porfido afanítica con fenocristales de grano medio, débilmente alterados.

## 2.5 Dataciones Radiométricas

Las dataciones fueron realizados por A. Longo (2002), usando el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , y recopiladas por Steve More (2005). Estas edades están compiladas en la Tabla 1.

Los tufos de la unidad TEUT y USJ que albergan la mineralización no tienen dataciones debido a que están muy alteradas.

Datos de Ar-Ar		
Estratigrafía Interpretada 2002		
Distrito		Análisis A. Longo (2001-2002)
Unidad Estratigráfica	Edad (Ma)	Mineral
<b>Ud Piroclasto e intrusiones tempranas 8.4-10.8 Ma</b>	8.40-10.78 " .06	biotita, alunita
<b>Utx 11.3-12.6 Ma Andesita Superior Piroclastos</b>	11.27-11.51 " .07	plagioclasa, horblenda, alunita
<b>UphA 11.6-13.3 Ma hbl Andesita Superior domos y flujos px</b>	11.58-12.26 " .18	horblenda, plagioclasa
<b>Utx 11.3-12.6 Ma Andesita Superior Piroclastos</b>	12.49-12.62 " .08	plagioclasa, biotita
<b>UphA 11.6-13.3 Ma hbl Andesita Superior domos y flujos px</b>	12.64-13.55 " .61	alunita, plagioclasa
<b>Ult San Jose tufo litico pre-12.05 Ma</b>		<i>no datado</i>
<b>Teut Principal Secuencia Piroclastica</b>		<i>no datado</i>
<b>LA Andesita Inferior: rico en horblenda y biotita lavas y lahars 13.7-19+ Ma</b>	13.76-19.53 " .17	roca, horblenda, biotita, plagioclasa

Tabla 1: Edades de las principales unidades litológicas de Yanacocha (según A. Longo, 2002).

## 2.6 Prospección Geofísica

En el Distrito Minero de Yanacocha se ha empleado distintos métodos geofísicos, siendo los mas usados los métodos resistivos debido a la correlación de la alta resistividad con la alteración sílice masiva, la información de la alteración sílice masiva en las rocas es importante debido a que esta asociada a la mineralización, la resistividad es obtenida de los siguientes métodos geofísicos IP, TDEM, CSAMT. A continuación en la Tabla 2 se presenta una lista de los principales métodos geofísicos empleados en Yanacocha:

ID	METODO	COD_METODO	PLANO
1	Airborne Electromagnetic	AEM	Resistividad
			Conductividad
2	Airborne Magnetics	AMAG	Reducido al Polo
			Señal Analítica
3	Controlled Source Audio Magnetotelluric	CSAMT	Resistividad
			Conductividad
4	Ground Magnetics	GMAG	Total Field
			Reducido al Polo
			Señal Analítica
5	Gravimetria	GRAV	Anomalía de Bouguer
			Anomalía Residual
6	Polarización Inducida_Gradiente	IP_GRAD	Resistividad
			Cargabilidad
			Conductividad
7	Polarización Inducida_Polo DiPolo	IP_PDP	Resistividad
			Cargabilidad
			Conductividad
8	Potencial Espontáneo	SP	Potencial Espontáneo
9	Time Domain Electromagnetic	TDEM	Resistividad
			Conductividad

Tabla 2: Métodos geofísicos más usados en Yanacocha.

## 2.7 Geología Económica

En el Distrito Minero de Yanacocha existe yacimientos de tipo epitermal de alta sulfuración como: Yanacocha, Chaquicocha, El Tapado, Maqui Maqui, Carachugo, Cerro Negro, Corimayo, Cerro Quilish, San José y también existe yacimientos fluvio glaciares siendo el más conocido La Quinoa (Ver Fig. 11).

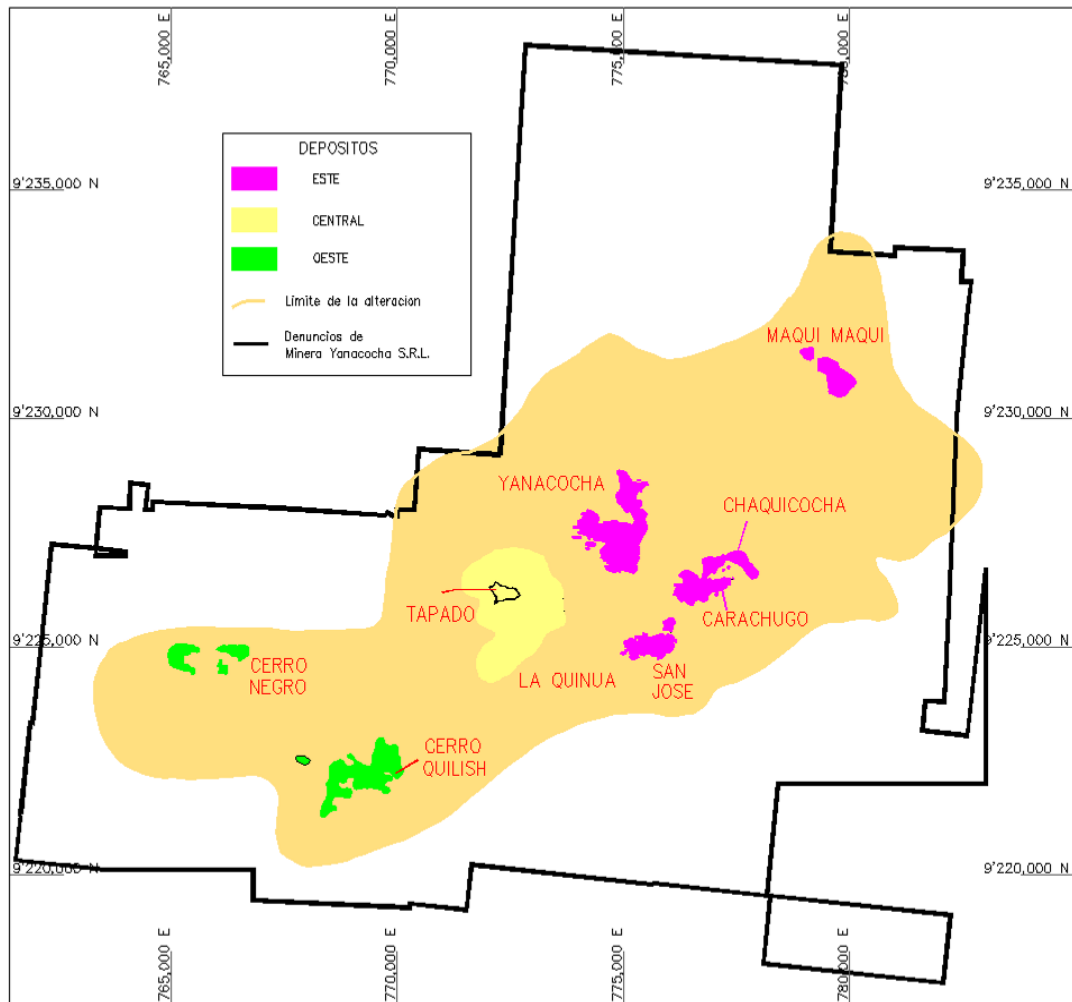


Fig. 11: Distribución de los principales depósitos del distrito: alta sulfuración y fluvioglaciares (según reporte interno MYSRL 2002).

### 2.7.1 Alteraciones Hidrotermales

La alteración en el distrito es típica de un sistema de alta sulfuración (Ver Fig. 12) con un zonamiento que gradúa del centro hacia fuera de sílice masiva a sílice alunita +/- pirofilita (alteración argílica avanzada) seguido por la presencia de arcillas-caolinita gradando a montmorillonita (alteración argílica), terminando en alteración propílica cubierta por rocas frescas.

Volumétricamente las arcillas son las más abundantes pero la alteración sílicea es la más importante para la mineralización de oro. Las dataciones de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  indican una edad de 10.9 a 11.46 Ma. A continuación se presenta una breve descripción de las principales alteraciones:

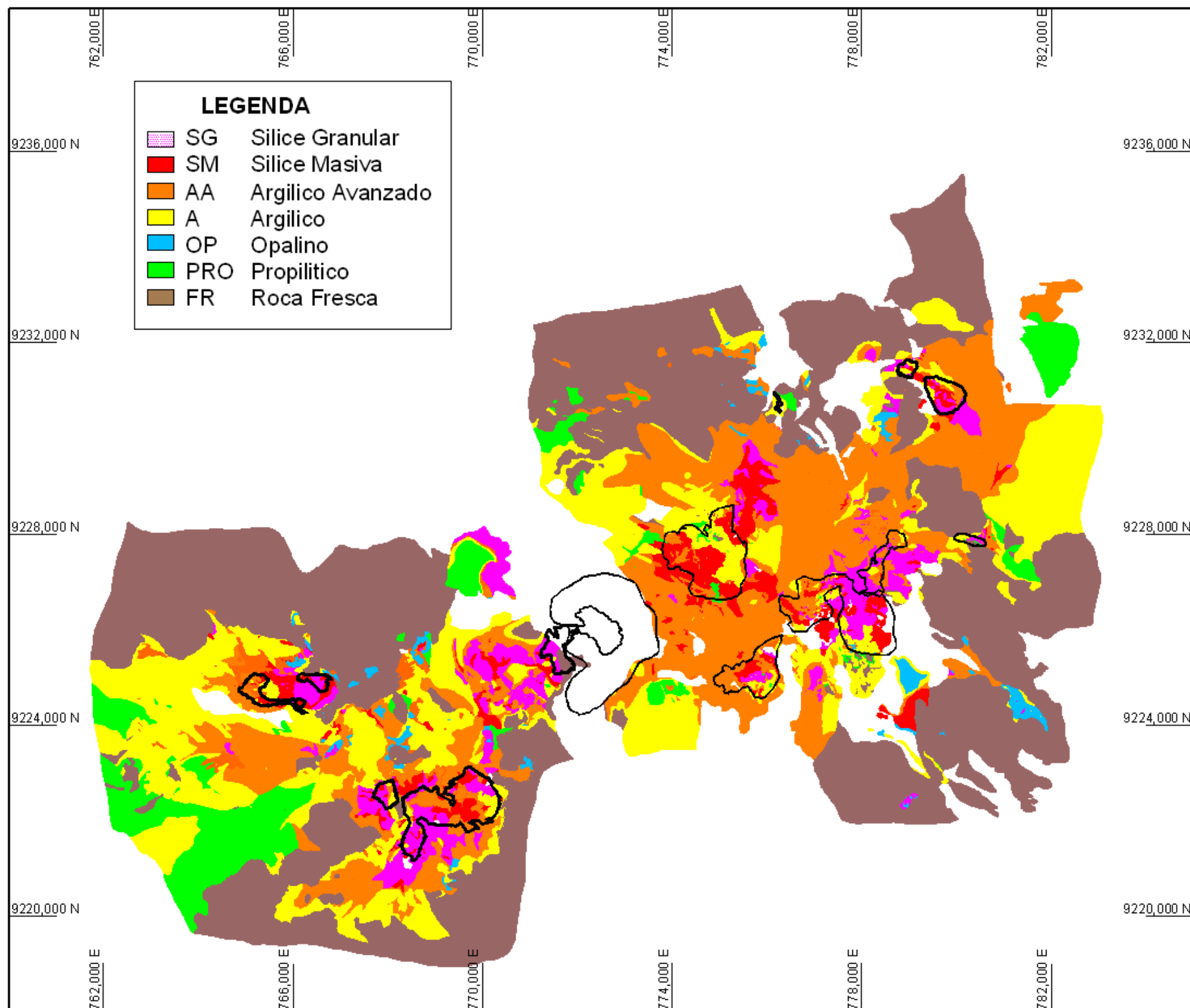


Fig. 12: Plano de Alteraciones Hidrotermales en el Distrito de Yanacocha (compilado por J. Gomez, S. Moore, L. Teal, 2003).

**2.7.1.1 Sílice:** En Yanacocha existe un gran volumen de roca con alteración silicea, formando continuas masas de diversos tipos de sílice, como sílice granular, sílice vuggy y sílice masiva siendo esta última la más abundante.

La alteración sílice granular tiene una textura arenosa a granular, ocurre como cuerpos tabulares subhorizontales de hasta de 70 m de espesor, esta alteración forma una capa que cubre la alteración sílice vuggy (ejemplo los tajos de Carachugo-Chaquicocha) y sílice masiva (ejemplo el tajo Cerro Negro Este). La alteración sílice granular se forma a causa de una actividad lixivante de los niveles más superiores del sistema.

La alteración sílice vuggy está conformada de cuarzo fino con cavidades y espacios abiertos < 1 mm, esta alteración se encuentra debajo de la sílice granular en niveles intermedios y profundos. Forma cuerpos irregulares subhorizontales de hasta 200 m de espesor. Esta alteración se forma por la condensación de vapores magmáticos producto de la mezcla con aguas meteóricas subterráneas dando como resultado la formación de soluciones ácidas y por consiguiente la lixiviación de los feldespatos.

La alteración sílice masiva es una masa densa de sílice microcristalina que forma grandes cuerpos subhorizontales de hasta 450 m de espesor, se

encuentra debajo de la alteración sílice granular y en zonas intermedias y profundas del sistema. Es formado por la interacción de aguas meteóricas frías poco ácidas con fluidos ascendentes más ácidos y de alta temperatura.

**2.7.1.2 Argílica Avanzada:** se caracteriza por presentar el ensamble sílice-alunita/pirofilita, la alunita ocurre de varias formas y en diferentes ocasiones dentro del sistema. Estos tipos incluyen: a) Alunita superficial y alunita profunda de textura destructiva “patchy” variedad donde la alunita reemplaza grandes masas destruyendo la textura original, b) Alunita de textura preservada “porfirítico” se caracteriza porque reemplaza a los fenocristales conservando la textura original, c) Alunita fina, blanquecina que ocurre en cuerpos profundos con sílice – pirita, es una forma de alunita hipógena, d) Alunita rellenando fracturas, esta es una alunita supérgena.

La pirofilita esta localmente desarrollada y ocurre con la alunita y/o caolinita, formando zonaciones que pueden variar de pirofilita – alunita, pirofilita-alunita-caolinita a pirofilita-caolinita.

**2.7.1.3 Argílica:** presenta un ensamble dominado por caolinita con illita, pirofilita y pirita. Los fenocristales y la matriz de la roca están alterados a



arcillas pero la textura porfirítica es preservada. Esta alteración ocurre como un zonamiento lateral de las zonas de alunita.

La montmorillonita se presenta en esta alteración en el margen del sistema como una alteración abrupta de contacto con la zona silíceo.

**2.7.1.4 Propilítica:** la zona con alteración argílica grada hacia afuera a una alteración propilítica, en la mayoría de las rocas con este tipo de alteración se observa un tinte verdoso por presentar el ensamble clorita/illita-calcita-pirita.

### **CAPITULO III**

#### **GEOLOGIA LOCAL DE YANACocha (BANCOS 3832 Y 3842)**

##### **3.1 Introducción**

El área de estudio forma parte del tajo Yanacocha que es un depósito de alta sulfuración (Ver Fig. 13) caracterizado por la presencia de óxidos, en los niveles de estudio (bancos 3832 y 3842), el depósito se encuentra en un nivel de transición de óxidos a sulfuros predominando los óxidos (Ver Fig.14). A continuación se describe las características geológicas y las interpretaciones de los mapeos.

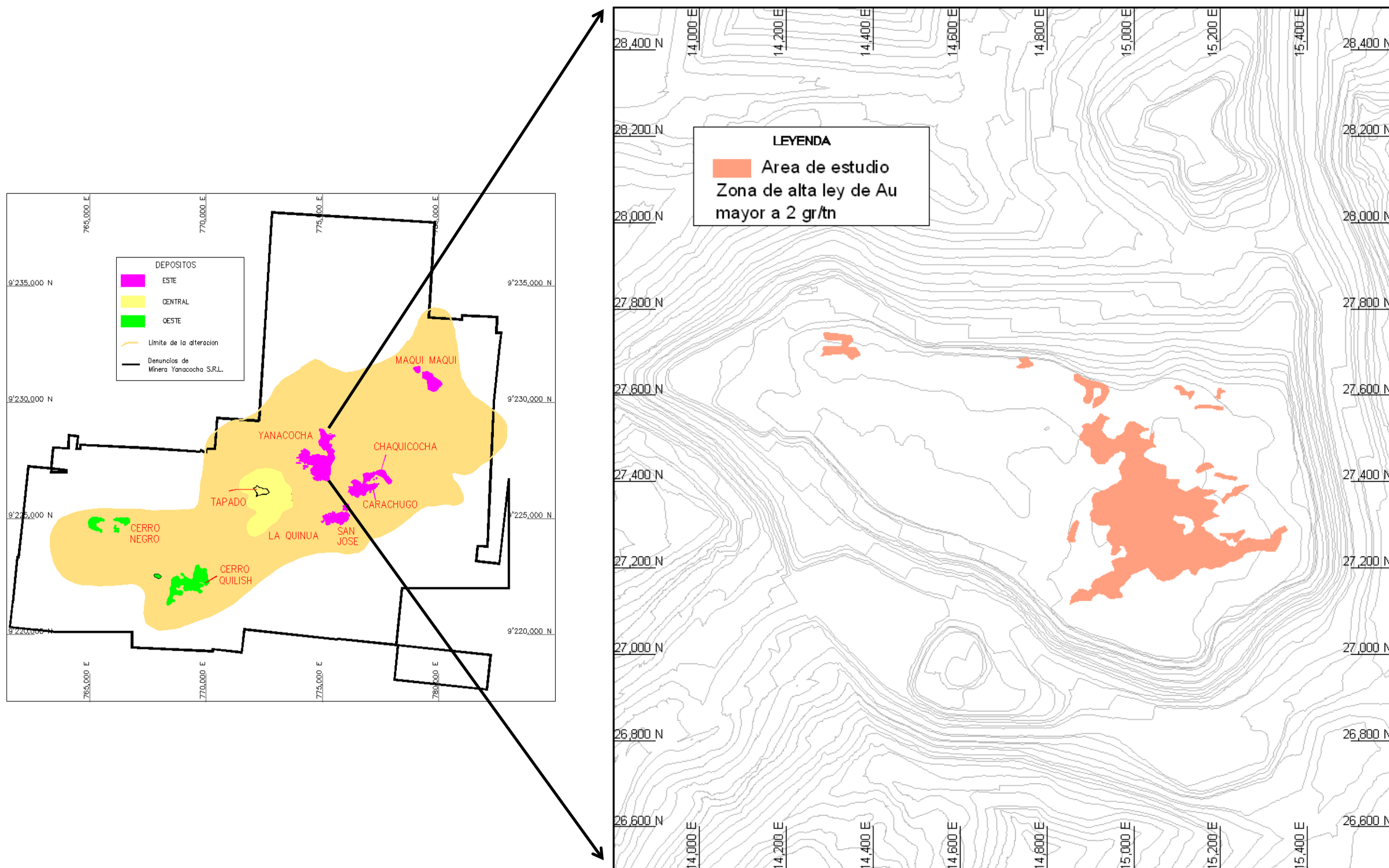


Fig. 13: Mapa mostrando el área del tajo Yanacocha en la que se muestra la ubicación del área de trabajo.

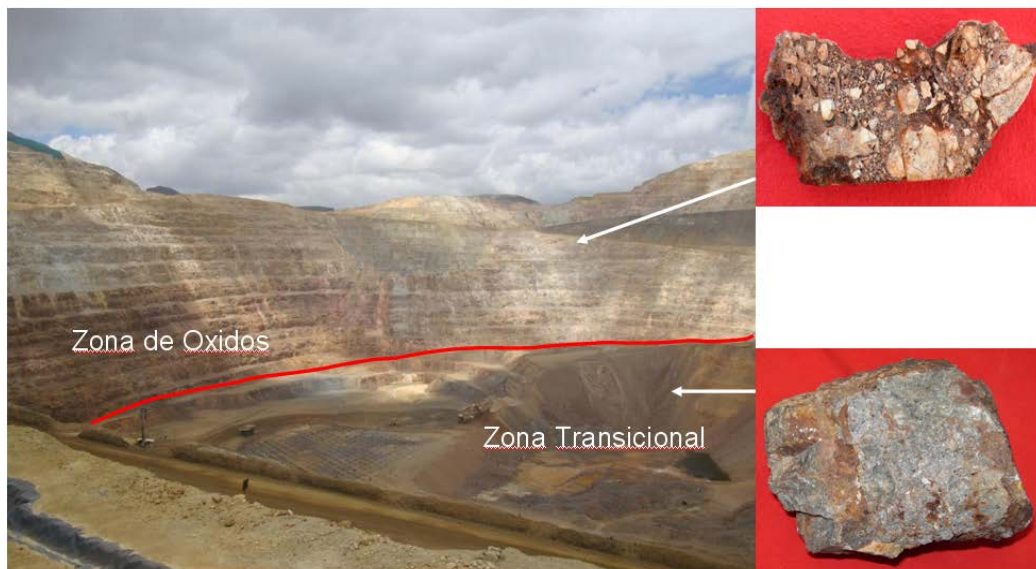


Fig. 14: Zona de Oxido y transicional en el tajo Yanacocha.

### 3.2 Controles Estructurales

En los niveles de los bancos 3832 y 3842 se registró un conjunto de estructuras principales de dirección N-S, N10°W, denominada Falla Plateros, este sistema de falla es aprovechado por las brechas hidrotermales, cuerpo principal que alberga la mineralización de oro. También se tiene estructuras E-W, que albergan a las brechas freáticas y estructuras menores de dirección N80°E en la zona oeste del tajo rellenas con alunita y esporádicamente se puede apreciar oro libre de tamaño variable pudiendo llegar hasta los 5 mm el valor máximo que se obtuvo en esta zona fue de 1000 gr/tn de Au (Ver Fig. 16). Las Fallas de interés registradas en el sistema son:

**3.2.1 Falla Plateros:** conjunto de estructuras de N-S subverticales ( $80^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ) en la zona de Encajon (lado este del tajo Yanacocha) de espesor variable de 30 cm a 5 m, estas estructuras son aprovechadas por las brechas hidrotermales y por el emplazamiento de intrusivos tardíos sin mineralización de composición dacítica conocida como YPQ (Ver Fig.15).

El conjunto de fallas Plateros siguen un proceso de reactivación que da origen a los diques de YPQ sin mineralización (0.029 gr/tn de Au) que cortan a las brechas hidrotermales mineralizadas (0.3 gr/tn de Au a 10 gr/tn de Au).



Fig. 15: Falla Plateros rellena por dique de YPQ totalmente argilizado (illita, foto mirando al Sureste).

**3.2.2 Fallas E-W:** de menor concentración con respecto a las fallas N-S y de menores espesores de 5 cm a 30 cm, en las cuales en su mayoría albergan a la BXF. Estas estructuras se encuentran cortadas por las estructuras N-S de la falla Plateros.

**3.2.3 Falla Oro Nativo:** Denominado así por la ocurrencia esporádica de oro visible, conformado por un conjunto de estructuras con dirección N80°E rellenas de alunita fina, ubicadas en el lado oeste del Tajo Yanacocha, también son un conjunto de estructuras de menor intensidad con respecto a las N-S. A estas estructuras se les asocia leyes esporádicas muy altas (1000 gr/tn de Au).

**3.2.4 Falla Diablo Pacífico:** Falla principal de dirección NW-SE que se encuentra en la parte Norte del Distrito que ha originado el desplazamiento de bloques de Yanacocha, que separa el tajo Yanacocha Norte de Yanacocha Sur. La falla Diablo Pacífico controla el emplazamiento de las intrusiones YP y la diatrema-Brecha Freatomagmática.

### **3.3 Relación Estructuras – Mineralización**

Es importante notar la relación que tienen las estructuras con la mineralización. En el tajo Yanacocha existe un fuerte control estructural que

corresponde a la intersección de las fallas N-S (falla Plateros) con las estructuras E-W, estos ductos fueron aprovechados por las brechas y fluidos hidrotermales.

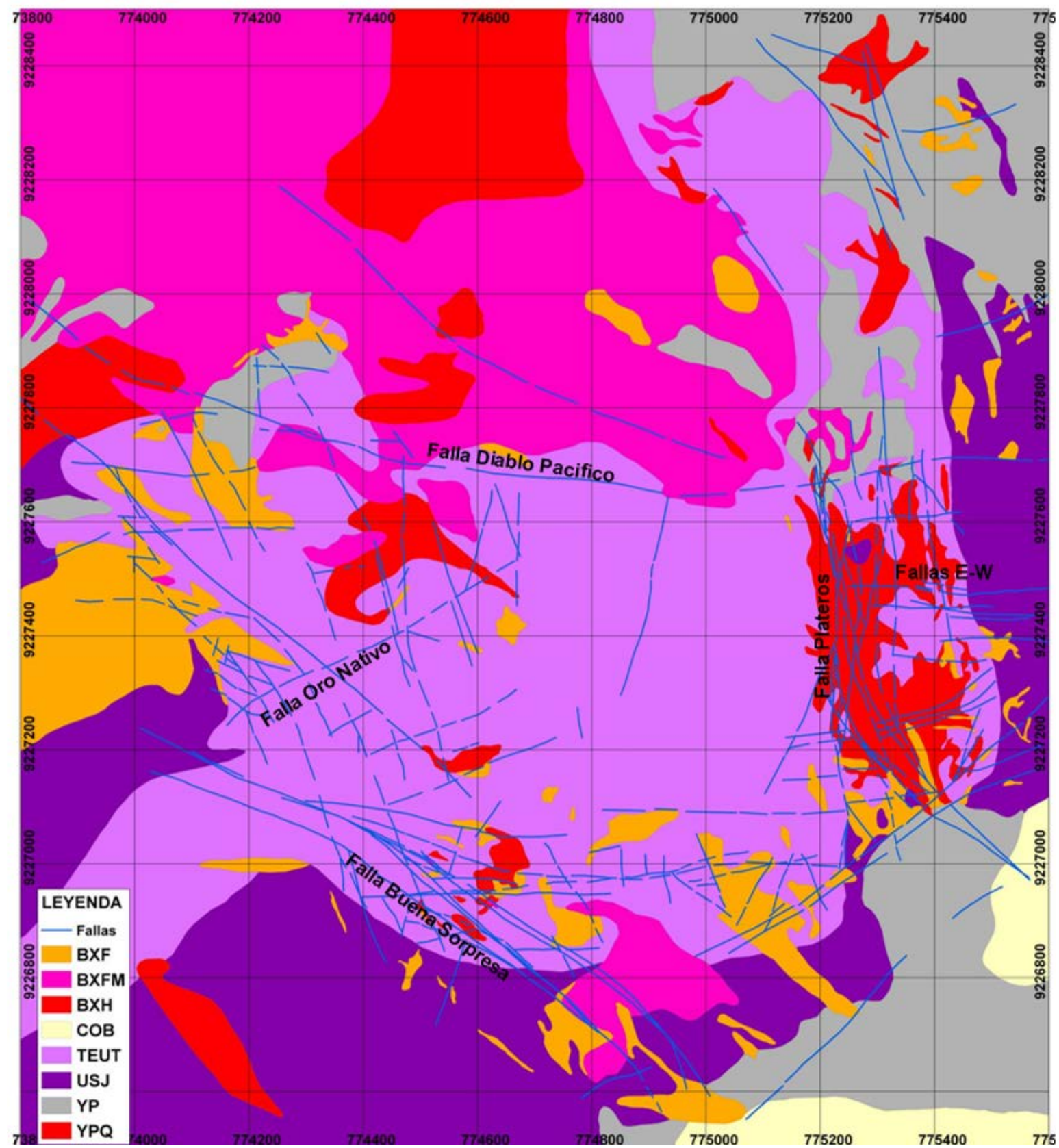


Fig. 16: Plano litológico mostrando las principales estructuras.



### **3.4 Litología**

A continuación se describe las unidades litológicas cartografiadas en las paredes de avance de minado de los niveles 3832 y 3842. (Ver Fig. 17)

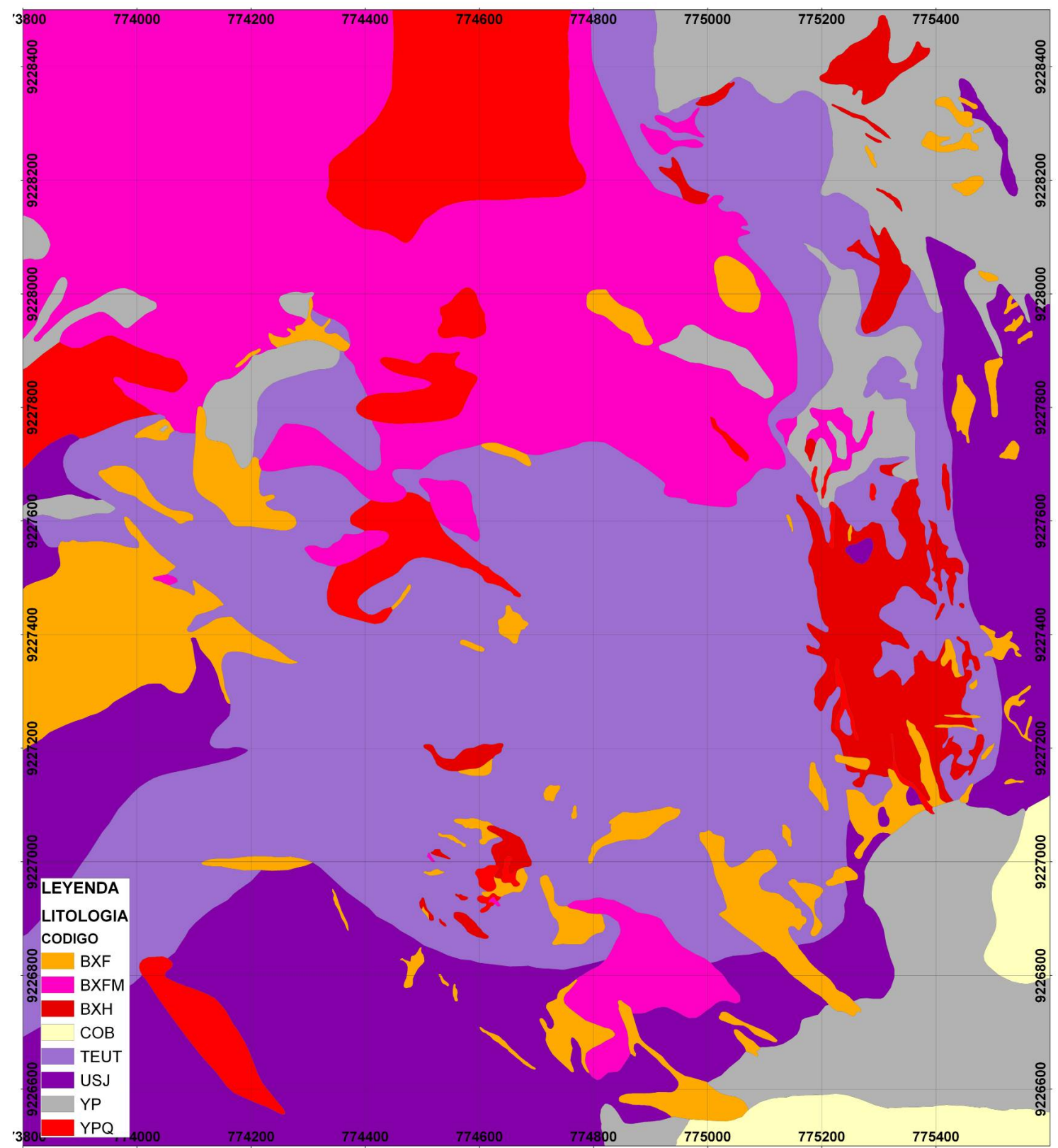


Fig. 17: Interpretación litológica del tajo Yanacocha, modificado en base al cartografiado de los bancos 3832 y 3842.

**3.4.1 Unidad San José:** Esta secuencia de tufos líticos se encuentra en la parte superior del tajo sobre el nivel 4020, por tal motivo no se tiene cartografiado esta unidad en los niveles 3832 y 3842.

**3.2.2 Unidad Teut:** Es la principal secuencia piroclástica que alberga la mineralización, en el tajo Yanacocha tiene un espesor promedio de 150 m, consiste de una secuencia de flujos piroclásticos y tufos de lapillis ricos en cristales, la secuencia se encuentra obliterada debido a la fuerte alteración de sílice masiva, vuggy y sílice-alunita (Ver Fig. 18, 19), observándose en algunos tramos los relictos de los cristales rotos de las plagioclasas. Esta unidad de tufos es pre mineral con un promedio de leyes de Au de 0.5 gr/tn.

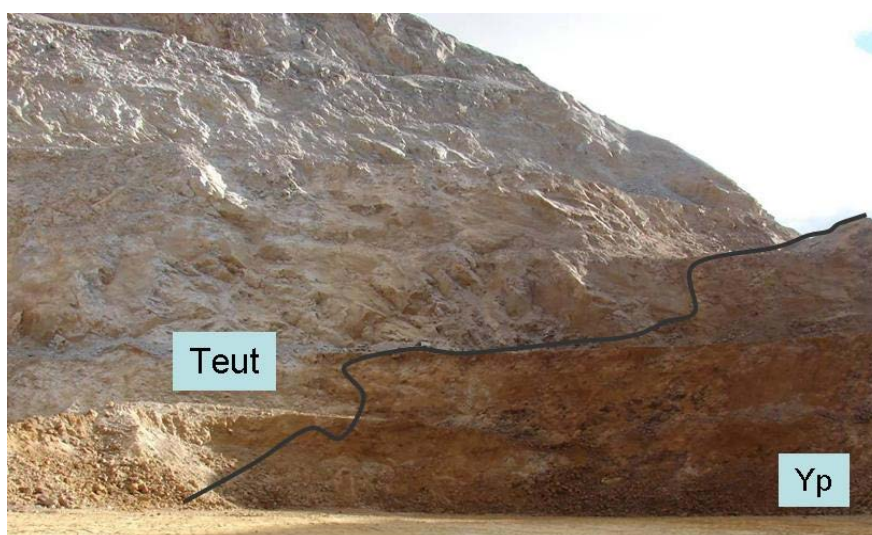


Fig. 18: Roca fragmental de grano fino (TEUT) alterada a sílice masiva-granular con moderada oxidación en contacto con roca porfirítica de grano fino (Ypq) con ojos de cuarzo (1%) (Foto mirando al NW).



Fig. 19: Tufo de cristales. Los moldes de los cristales están rellenos parcialmente por hematita. La alteración es silice vuggy. Ley 0.992 Au g/t.

**3.4.3 Dacita Porfirítica (YP):** de textura porfirítica, de grano grueso, se caracteriza por tener cristales de plagioclasas y matriz argilizadas, reemplazada por caolinita y montmorillonita con presencia de algunas disseminaciones de pirita (<1%) (Ver Fig. 20, 21).



Fig. 20: Dique porfirítico argilizado (Yp) cortando la secuencia de tufos TEUT, hacia el oeste obsérvese el cuerpo de brecha freatomagmática BXFM totalmente argilizado (foto mirando al Norte).



Fig. 21: Dacita porfírica (Yp), de textura porfírica de grano grueso >3mm. Los fenocristales de feldspatos están alterados a arcillas. Las hornblendas reemplazadas por sulfuros (pirita), biotitas alterándose a cloritas y carbonatos. Ensamble clorita – calcita – cuarzo.

**3.4.4 Intrusiones de YPq:** Se ha encontrado diques de Ypq totalmente obliterado, conservando solo los ojos de cuarzo (Ver Fig. 22), estos diques son tardíos a la mineralización de oro y están argilizados con presencia de Lims-hm, estos diques han aprovechando los espacios abiertos del conjunto de fallas Plateros dirección Norte Sur para emplazarse. También se ha encontrado diques de Ypq frescos en el lado norte del tajo (Ver Fig. 23).

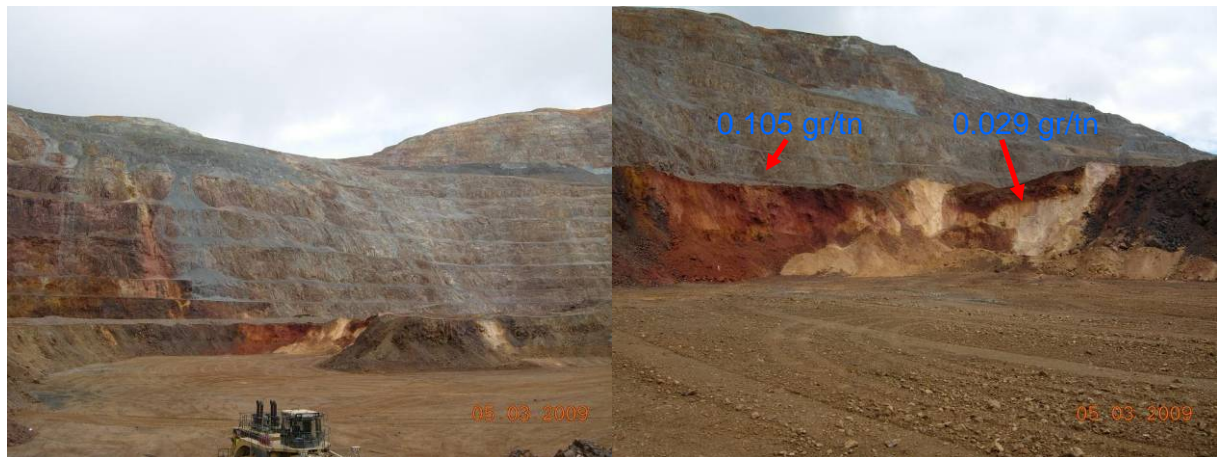


Fig. 22: Diques de Ypq totalmente argilizados, conservándose solo los ojos de cuarzo (1%.) Ley de 0.029 gr/tm Au.



Fig. 23: Tonalita porfirítica (Ypq) de textura porfirítica de grano grueso. Se observa ojos de cuarzo. La pirita se encuentra diseminada y reemplazando a los fenocristales.

### 3.5 Brechas Magmático - Hidrotermal:

La brecha es una roca fragmental constituida principalmente por clastos y matriz con espacios abiertos, de ambientes profundos a superficiales dependiendo de la energía del evento. Su génesis involucra agua y calor, factores importantes en su formación. A continuación solo se explicará las características y origen de las brechas magmáticas hidrotermales

encontradas en el tajo Yanacocha, las que son: brechas freatomagmáticas, brechas freáticas y brechas hidrotermales.

**3.5.1 Diatrema - Brecha Freatomagmática (BXFM):** La más explosiva y de gran extensión, son profundas y pueden llegar hasta la superficie, de composición heterolítica. La matriz es porfirítica con algunos componentes juveniles y fragmentos de cuarzo. Puede ser estéril o albergar mineralización dependiendo del momento de la explosión respecto a la etapa de mineralización. La alteración en este tipo de brecha suele ser argílica.

**Génesis:** Se generan por interacción directa entre el magma y agua meteórica. En esta circunstancia hay transferencia de magma que, con el agua fría, se establece una reacción tipo Combustible – Refrigerante. Este es un proceso muy energético y puede ser que llegue a la superficie. **(Sillitoe, utiliza el termino de Diatrema como sinónimo de brecha freatomagmática)**

La brecha freatomagmática en el tajo Yanacocha tiene una extensión aproximada de 600m x 800m, se caracteriza por tener matriz y fragmentos porfiríticos, angulosos a subangulosos, con alteración argílica a argílica avanzada (Ver Fig. 24, 25). La brecha ha sufrido varias pulsaciones, el

primer evento se caracteriza por tener fragmentos porfiríticos profundos con sulfuros diseminados (Py ++ y calcosita), también se encuentran esporádicos fragmentos con venillas cortadas rellenas con covelita, el siguiente evento de esta brecha freatomagmática sugiere ser un evento más superficial ya que trae consigo fragmentos subangulosos silicificados con matriz porfirítica y fragmentos porfiríticos, abundando la presencia de fragmentos silificados, en este evento se observan pocos sulfuros diseminados (pirita < 1%).

Esta brecha es posterior a la mineralización de oro pero se cree que también es posterior a la mineralización de Cobre, debido a que los fragmentos de esta brecha tiene valores altos de cobre alrededor de 1000 a 2000 ppm de Cu.



Fig. 24: Brecha Freatomagmática compuesta de matriz y fragmentos porfiríticos con alteración argílica (0.15 gr/tn Au y 0.12 %Cu).





Fig. 25: Brecha freatomagmática, obsérvese la matriz porfirítica con fragmentos heterolíticos, angulares a subredondeados y silicificados. Pirita diseminada. La alteración es argílica.

**3.5.2 Brecha Hidrotermal (BxH):** Se caracteriza por tener fragmentos silicificados subangulosos ensamblados en una matriz de óxidos principalmente goetita, hematita y jarosita, en fracturas escorodita y en oquedades baritina cristalizada (Ver Fig. 26, 27). Debido a la profundidad también se pueden observar clastos en la etapa de transición con sulfuros que no han sufrido lixiviación observándose especialmente pirita diseminada. Esta brecha esta relacionada a la mineralización de oro, en zonas de contacto de la brecha con el tufo la mineralización se incrementa. La BxH se emplaza siguiendo el lineamiento estructural norte-sur del sistema de fallas denominado Plateros.



Fig. 26: Frente de brecha hidrotermal muy fracturada, nótese la fuerte oxidación compuesta de gohetita y limonita (foto mirando al norte).



Fig. 27: Brecha Hidrotermal, obsérvese la matriz rellena de óxidos - limonitas, fragmentos heterolíticos, angulares a subredondeados y silicificados. Las paredes de las cavidades están recubiertas por limonitas. La alteración es sílice masiva. Ley: 1.726 Au g/t.

**3.5.3 Brecha Crakel (BxC):** Se encuentra cortando a la brecha hidrotermal, también es común encontrarla en contacto y a los bordes de las BxH. Las BxC se caracterizan porque sus fragmentos no han sido desplazados, solo es notorio el intenso fracturamiento (Ver Fig. 28) que es aprovechado por los fluidos mineralizadores, los espacios abiertos de las fracturas están rellenos de óxidos con una mineralogía similar al de la BXH.

Es difícil discriminar en el mapeo ambos tipos de brecha debido a las continuas intercalaciones entre ambas, por tal motivo en el mapeo de bancos se cartografía a ambas como BXH.



Fig. 28: Brecha Crakel obsérvese ligero movimiento de los clastos posiblemente debido a los fluidos hidrotermales que se movilizaron a través de las fracturas, ahora rellenas de óxidos. Es posible observar clastos silicificados dentro de los fragmentos monolíticos que indica varios eventos de brechamiento. La alteración es argílica avanzada.

**3.5.4 Brecha Freática (BxF):** Este tipo de brechas no muestran vinculación con el magma y puede estar o no mineralizada. La matriz suele ser de roca finamente molida, que también puede ser hidrotermal. En general es monomítica y de fragmentos angulosos debido a que no suele tener mucho transporte. Tiene menor continuidad vertical que las freatomagmáticas.

**Génesis:** Este tipo de brechas se generan cuando la transferencia de calor (no de magma) asciende y los fluidos descendentes se mezclan produciéndose un cambio de fase produciendo el flushing (paso violento de agua a vapor). No se involucra magma en el proceso pero si calor.

Las brechas freáticas en el tajo Yanacocha se aprecia en la parte sur y este del tajo, siguiendo una tendencia NW-SW, estas brechas se caracterizan por presentar poca oxidación. Está conformada por una matriz de polvo de roca silicificada con fragmentos monolíticos silicificados (Ver Fig. 29). La mineralización en estas brechas es de ley baja entre 0.2 gr/tn a 0.3 gr/tn



Fig. 29: Brecha Freática, obsérvese la matriz totalmente silicificada con poca presencia de óxidos y los fragmentos líticos subangulosos silicificados.

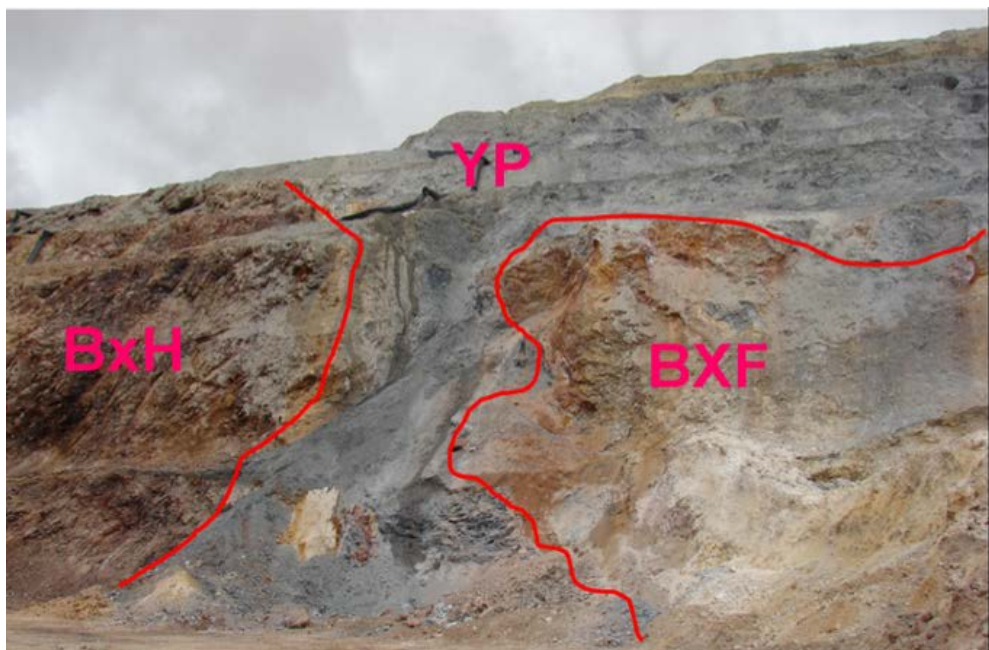


Fig. 30: Dique de YP en contacto con BXH y BXF.

## **CAPITULO IV**

### **GEOLOGIA ECONOMICA**

#### **4.1 Introducción**

El tajo Yanacocha en la actualidad tiene una reserva en óxidos de 1.6 Moz en Au. Tiene una capa oxidada de aproximadamente de 400m, seguido de una capa transicional aproximado de 50m a 60 m de espesor, gradando a una zona de sulfuros a profundidad que esta en estudio para determinar el potencial futuro.

#### **4.2 Alteraciones Hidrotermales**

El tajo Yanacocha se caracteriza por presentar un cuerpo extenso de alteración sílice masiva, que afecta a las brechas hidrotermales y a los tufos de la unidad TEUT, la alteración sílice masiva es la principal alteración relacionada a la mineralización. A continuación se describirán las alteraciones cartografiadas en el distrito (Ver Fig. 31).

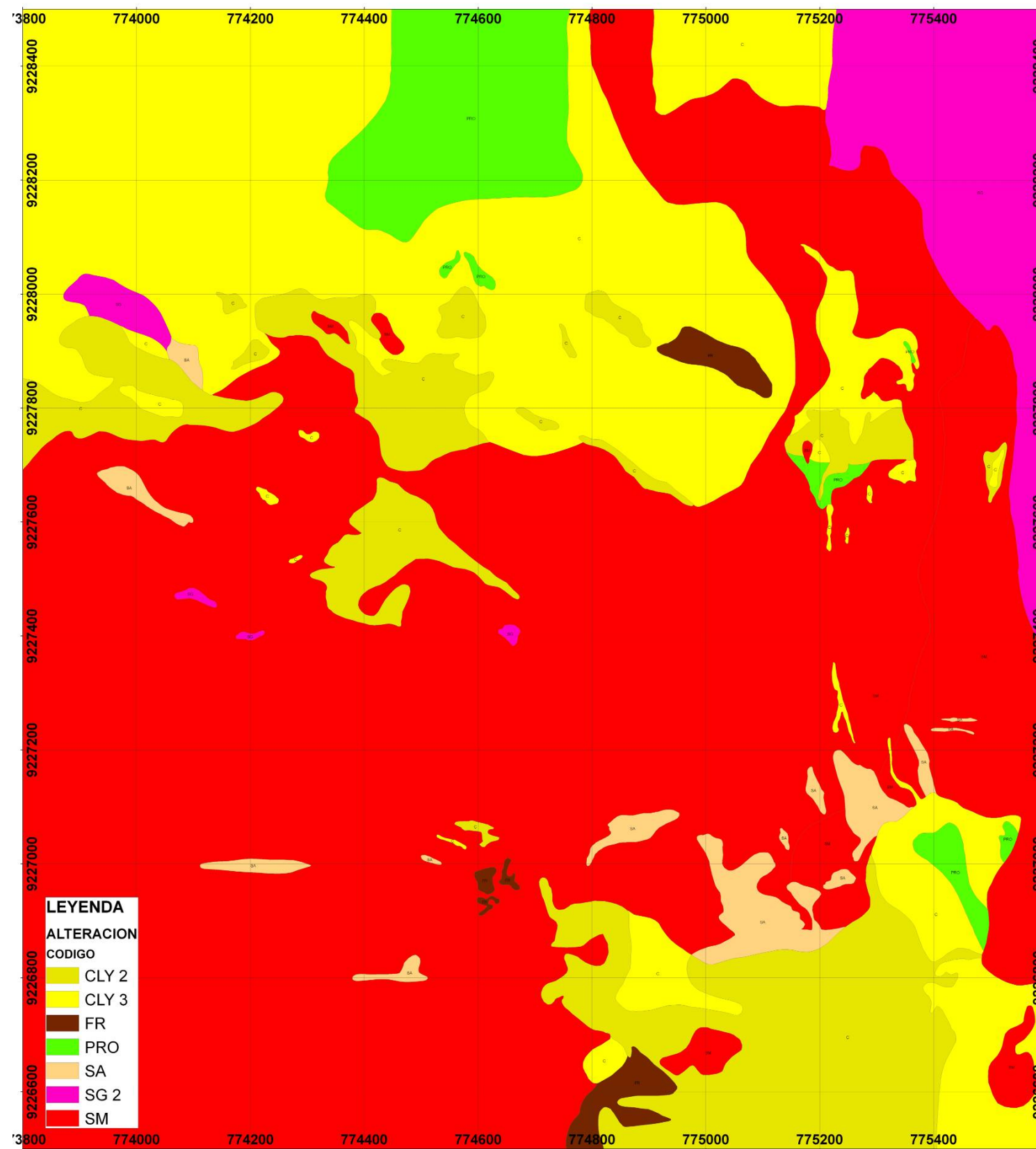


Fig. 31: Mapa de Interpretación de alteraciones del tajo Yanacocha, modificado en base al cartografiado de los bancos 3832 y 3842.

#### 4.2.1 Silicificación

En el tajo se ha observado tres tipos de silicificación: sílice masiva, sílice vuggy y sílice granular.

**4.2.1.1 Sílice Masiva:** restringida al cuerpo de la brecha hidrotermal que alberga la mineralización de oro y en los tufos de la unida TEUT, se caracteriza por presentar sílice microstalina de aproximadamente 0.005 mm. (Ver Fig. 32).



Fig. 32: Unidad Teut con escasos fragmentos líticos subredondeados con alteración sílice masiva.



**4.2.1.2 Sílice Vuggy:** se aprecia en los tufos de cristales de la unidad TEUT cerca del contacto con la brecha hidrotermal, se distingue por presentar oquedades producto de la lixiviación de los fenocristales, los tamaños de las oquedades son menores de 1 mm. (Ver Fig. 33), ocurre principalmente al este de las brechas hidrotermales y se observa que la sílice masiva corta a la sílice vuggy, sugiriendo un evento tardío de la sílice masiva. Esporádicamente se puede observar cristales euhedrales de cuarzo en las cavidades y la presencia de sulfuros principalmente pirita en la matriz de la sílice masiva.



Fig. 33: Muestra con alteración sílice vuggy, obsérvese las oquedades producto de la lixiviación de los fenocristales.

**4.2.1.3 Sílice Granular:** de menor extensión, restringida a los lentes y cuerpos de las brechas freáticas especialmente en la matriz polvo de roca, se caracteriza por presentar granos de cuarzo que son fácilmente disgregables (Ver Fig. 34), producto de fluidos ácidos que originaron una intensa lixiviación en el sistema.

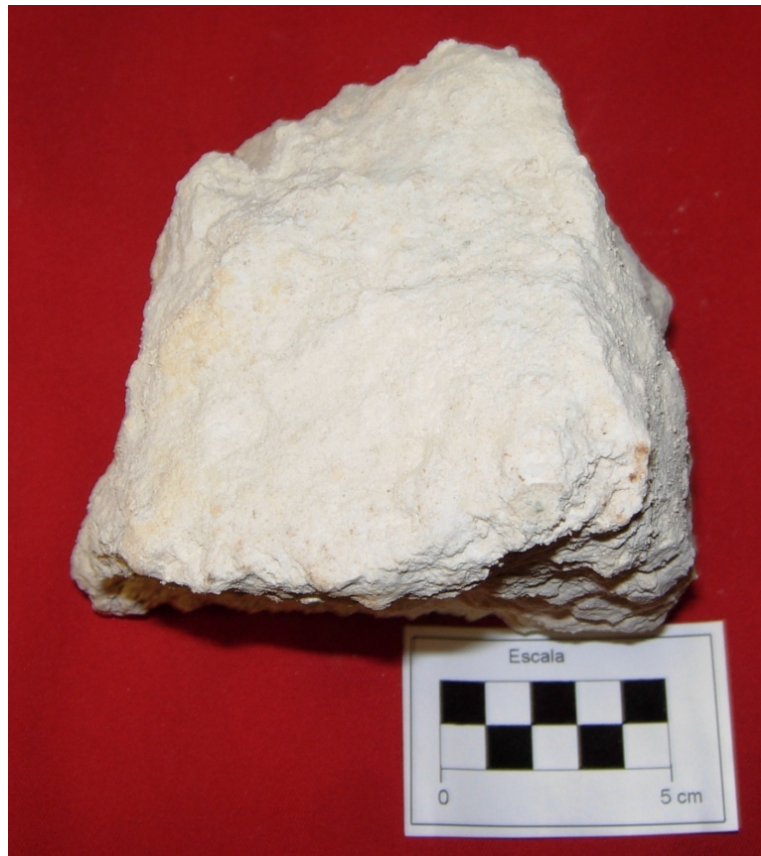


Fig. 34: Muestra de sílice granular, donde se observa la textura sacarosa.

#### **4.2.2 Alteración Argílica Avanzada**

Presenta el ensamble sílice-alunita y/o sílice-pirofilita, es débilmente observada en el tajo Yanacocha Norte y restringida a niveles superiores, se presenta también como relleno en las fallas, siendo la principal la Falla Oro Nativo ubicado hacia el suroeste de la brecha hidrotermal. También se

observa esporádicamente en los relictos de los fenocristales de los tufos silicificados y rellenando la textura patchy de leve intensidad. Debido a la poca proporción y a la escala de mapeo no son registrados en los planos diarios.

#### 4.2.3 Alteración Argílica

Se caracteriza por los siguientes ensambles: a) caolinita-montmorillonita con pirita diseminada y esmectita, restringida a cuerpos intrusivos de YP y CP, b) illita-caolinita con algo de óxidos restringida a diques totalmente obliterados.

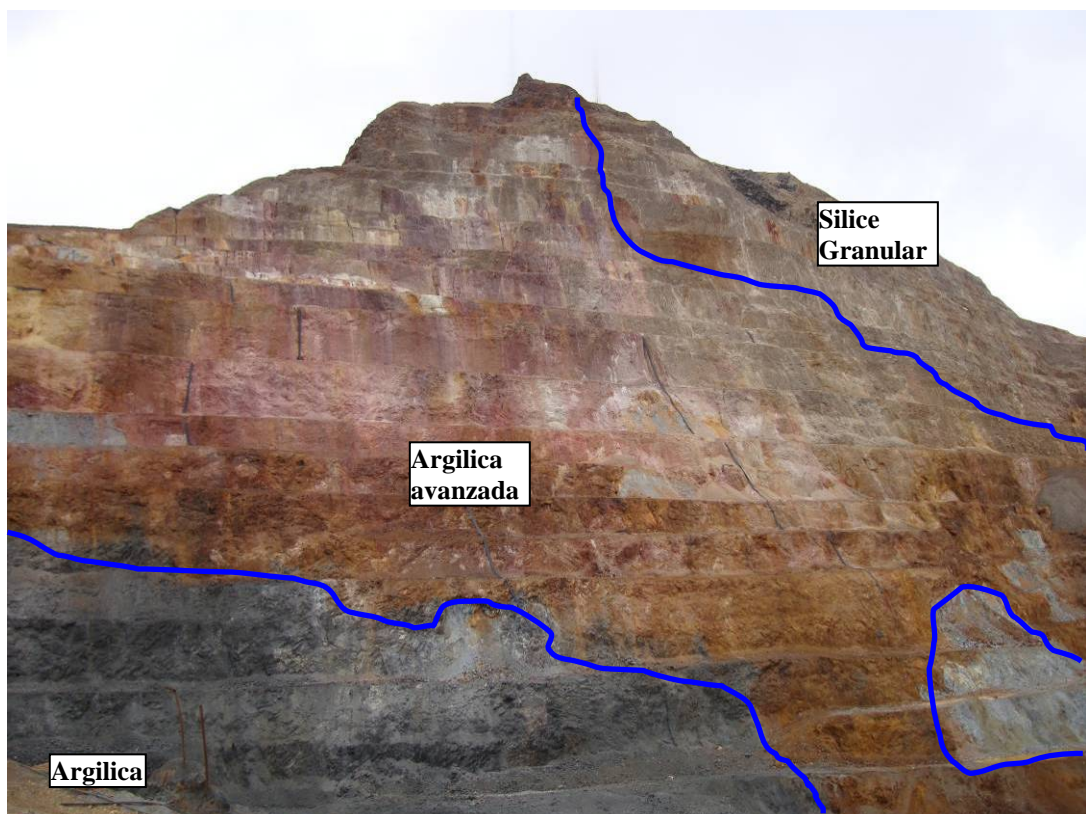


Fig. 35: Foto mostrando zoneamiento de las alteraciones en el tajo Yanacocha Norte.

#### **4.2.4 Alteración Propilítica**

Restringida a cuerpos de intrusivos de YP y CP, caracterizado por el ensamble de clorita-pirita-carbonatos, esta alteración se presenta débil a moderada y es observada al norte del tajo gradando a alteración argílica.

#### **4.2.5 Relación Alteración - Mineralización**

Es importante mencionar que la mineralización de Yanacocha esta vinculada a diversos controles tales como litológico, estructural y de alteración, En relación al tema de alteración, en el tajo Yanacocha existe un gran volumen de alteración sílice masiva que alberga mineralización de oro de alta y media ley ( $> 0.3$  gr/tn) a diferencia de la alteración argílica avanzada que alberga mineralización de oro de media a baja ley ( $0.1$  gr/tn a  $0.3$  gr/tn), las alteraciones argílicas y propilíticas están asociados a intrusivos tardíos a la mineralización, por lo tanto las leyes en estas alteraciones son bajas ( $< 0.1$  gr/tn). La zona central que contiene el núcleo de alta ley de oro tiene como alteración predominante a la sílice masiva, presente tanto en la brecha hidrotermal como en la secuencia del Teut.

## **CAPITULO V**

### **GEOQUIMICA**

#### **5.1 Muestreo**

El tratamiento estadístico se baso en la información obtenida de los taladros diamantinos y de los “blastholes” de los niveles 3832 y 3842, un total de 1426 muestras (Ver Fig. 36).

Las muestras de los “blastholes” son originados por las maquinas perforados de producción PV e IRs, que al perforar la roca dan como resultado conos conformados por los detritus de la roca triturada, ubicados en la superficie del hoyo a manera de rumas de material. La altura de perforación es de 10m, en mallas irregulares separadas 6.5 m a 7 m. Los conos de perforación tienden a tener los materiales más gruesos en la base y los más finos en la parte superior, el mejor método para recolectar la muestra y evitar perder los

finos es realizar un corte en forma de triangular y radial en el cono y recolectar la muestra de las paredes aproximadamente 4 kg por muestra.

Las muestras de los “blastholes” fueron enviados conjuntamente con muestras de control al Laboratorio Químico de Minera Yanacocha para ser analizadas, el objetivo de las muestras de control es asegurar y controlar los errores en las etapas de muestreo, preparación y análisis, entre los tipos de controles insertados tenemos:

**Estándar:** Muestra de control, a partir de una Pulpa de valor y límites de confianza conocidos, se inserta en los lotes con la finalidad de controlar la etapa analítica (la exactitud).

**Blanco:** Muestra de control, preparada de material estéril (como caliza o cuarzo) que se inserta en el lote, con la finalidad de controlar la contaminación. Este material se obtiene de canteras de arenisca estéril, que se encuentra en los alrededores de la mina, compuesta en un 95% de cuarzo, se insertan dos tipos de blanco, 1) blanco grueso controla la posible contaminación durante la etapa de la preparación chancado y cuarteo, 2) blanco fino se ingresa durante el proceso analítico.

**Duplicado:** se obtiene al realizar un doble muestreo en el mismo cono de perforación, el objetivo es determinar si existe error en el muestreo.

En el caso de los datos de los taladros diamantinos se utilizaron compósitos de 10 m, los análisis de estos taladros fueron realizados en los laboratorios de SGS y Als Chemex, los que contaron con similares muestras de control descrito para los “blastholes”.

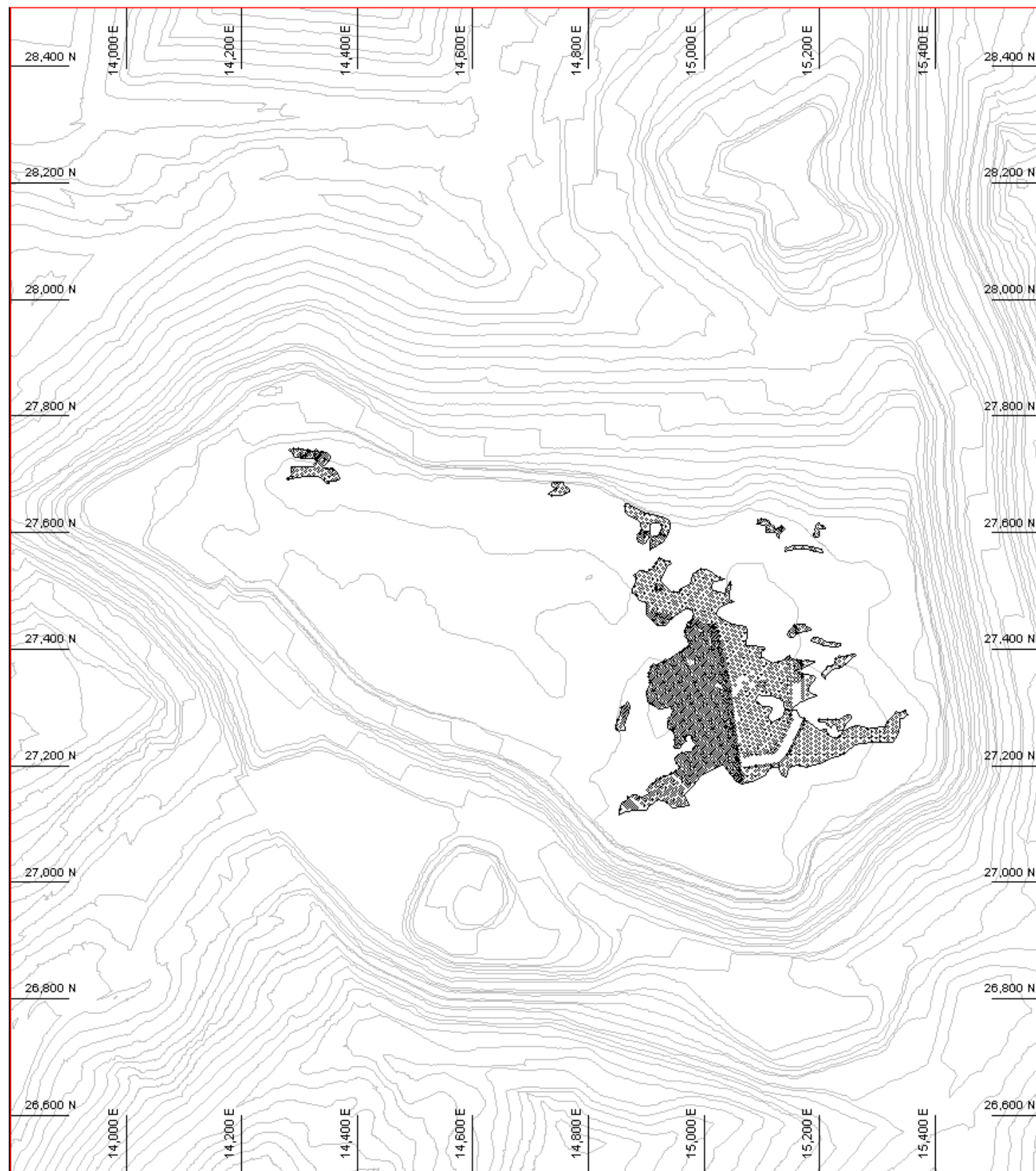


Fig. 36: Plano indicando la ubicación de los puntos de muestreo en la zona de alta ley de Au en el tajo Yanacocha.



## **5.2 Resultados Geoquímicos**

El tajo Yanacocha presenta zonas ricas en Au, Ag y Cu, cada una independiente de la otra (Ver Fig. 37), en este trabajo se va a enfatizar en la zona enriquecida en Au enfocado en el núcleo de alta ley ubicado en la parte central del tajo relacionado a la brechas hidrotermales y a los tufos de la unidad TEUT fuertemente fracturados, con una fuerte alteración sílice masiva y abundante óxidos. Se ha realizado un tratamiento estadístico para encontrar elementos que correlacionen, encontrando elementos típicos de un sistema hidrotermal de alta sulfuración.

los parámetros estadísticos que se presenta son: parámetros estadísticos básicos, histogramas, diagrama de frecuencia acumulada, curva de probabilidad y coeficientes de correlación.

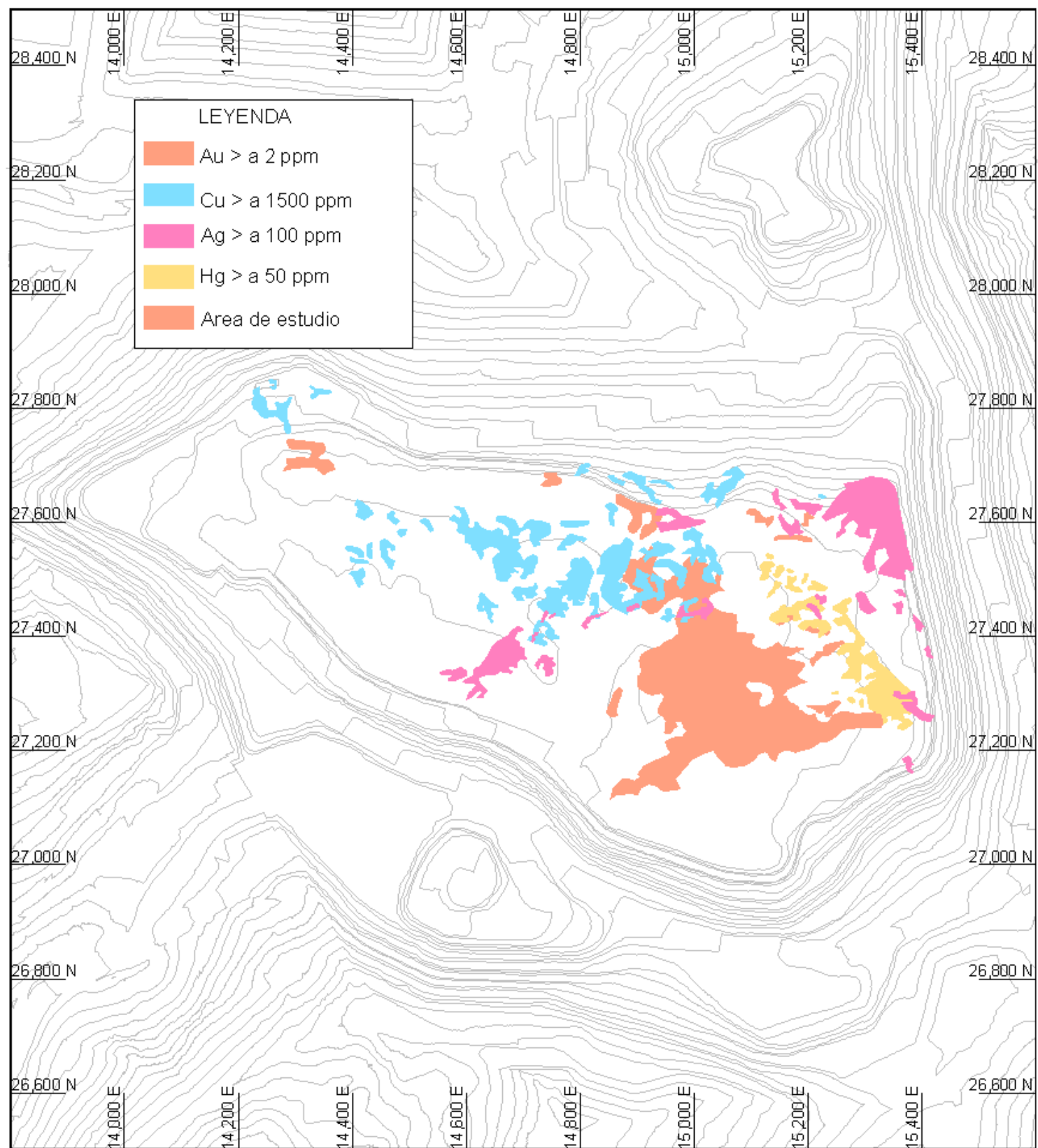


Fig. 37: Plano mostrando las zonas de alta ley de Au, Cu, Ag y Hg en el tajo Yanacocha.

**5.2.1 Parámetros estadísticos básicos:** Se presenta los parámetros estadísticos básicos solo de los elementos mas representativos y con buena correlación, los seleccionados son Au, Ag, As, Cu, Fe, In, Pb, Sb, Se, Te, también se incluye al Hg, aunque no presente correlación con ningún elemento, pero es considerado un elemento volátil muy representativo en las zonas de alta sulfuración, los parámetros a presentar son: numero total de muestra, valor mínimo, valor máximo, varianza, coeficiente de variación, media, desviación estandar y la mediana (Ver Tabla 03).

Variable	N Total	Minimo	Maximo	Varianza	CoefVar	Media	Des. STD	Mediana
Au	1426	1.5	41.1	8.6	232.4	1.3	2.9	0.4
Ag	1426	10.0	352.0	1924.1	92.9	47.2	43.9	32.1
As	1426	52.0	6336.0	1135603.7	68.0	1567.1	1065.6	1277.0
Cu	1426	29.0	4504.0	287792.6	99.8	537.6	536.5	369.0
Hg	1426	0.5	5.9	1.3	76.1	1.5	1.1	1.3
Fe	1426	3000.0	136200.0	333258354.0	58.2	31390.0	18255.0	28600.0
In	1426	0.2	4.4	0.7	248.4	0.3	0.8	0.1
Pb	1426	25.0	8806.0	560487.4	126.7	590.9	748.7	312.0
Sb	1426	1.2	226.0	1885.3	71.1	61.1	43.4	48.0
Se	1426	0.5	22.0	14.6	82.6	4.6	3.8	4.0
Te	1426	0.8	65.7	87.7	144.5	6.5	9.4	4.3

Tabla 3: Parámetros estadísticos de los principales elementos en la zona de alta ley de Au.

De los parámetros estadísticos básicos, se observa valores altos en Au (41.1 gr/tn), Ag (352 ppm), As (6336 ppm) y Cu (0.45%).

**5.2.2 Histogramas:** A continuación se presentan los histogramas de los elementos de Au, Ag, As, Cu, Hg, Fe, In, Pb, Sb, Se y Te, se observa una distribución de dos familias para el Hg, As y Sb (Ver Fig. 38).

### Histograma de Au, Ag, As, Cu, Hg, Fe, In, Pb, Sb, Se, Te

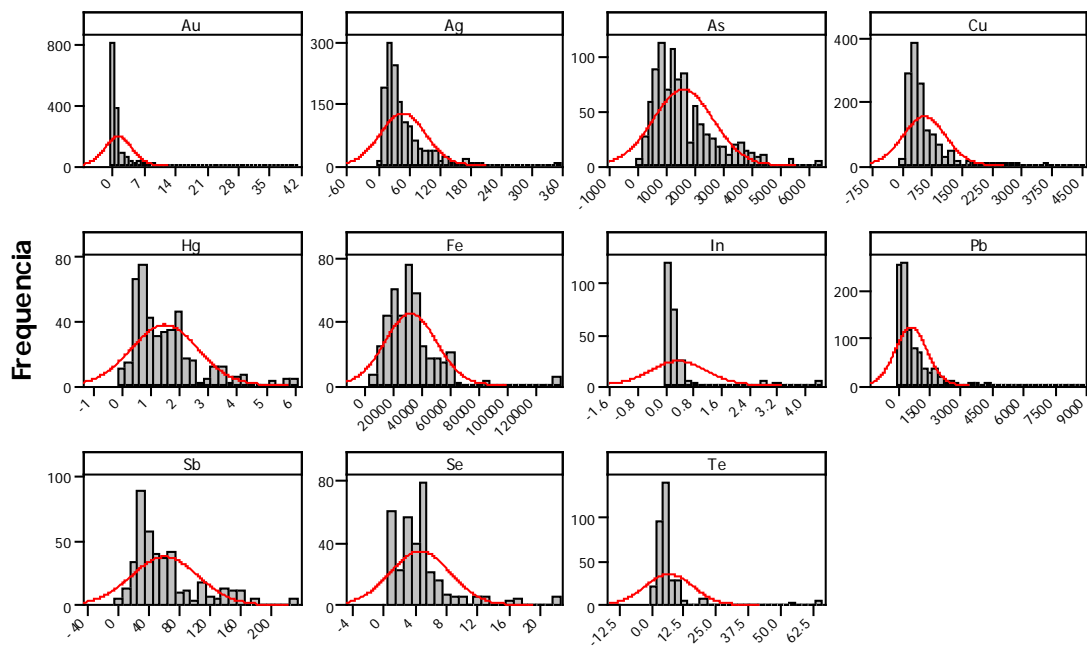


Fig. 38: Histogramas de los elementos de mayor correlación de la zona de alta ley de Au.

**5.2.3 Frecuencia acumulada:** El grafico de frecuencia acumulada permite ver el comportamiento de las leyes, así como también permite obtener una visión rápida a partir del cual un elemento se vuelve estable con poca variación en sus leyes (Ver Fig. 39), por ejemplo el Au presenta una meseta aproximadamente a los 5 ppm, indicando que valores mayores a esta ley es poco probable encontrar. En caso de presentarse solo sería en algunas muestras, que se interpretaría como muestras anómalas o como valores erráticos.

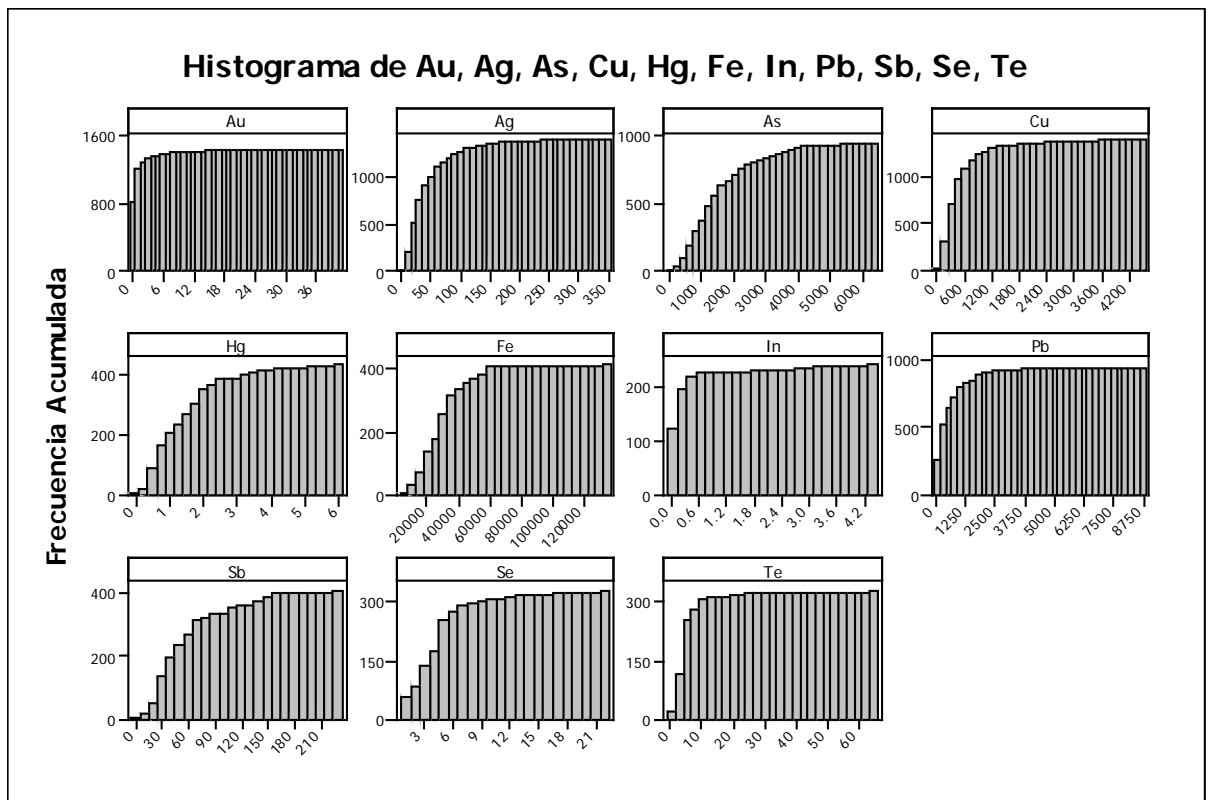


Fig. 39: Frecuencia acumulada de los elementos de mayor correlación de la zona de alta ley de Au.

**5.2.4 Curva de probabilidad:** El grafico de curva de probabilidades ayuda a identificar “outlayers” es decir valores altos que pueden o no ser valores erráticos. En la gráfica se observan como puntos alejados y aislados de la curva (lado superior derecho), también se pueden identificar los valores que están cerca del límite de detección (Ver Fig. 40). Estos valores se observan cuando el gráfico presenta una pendiente casi perpendicular (lado izquierdo inferior).

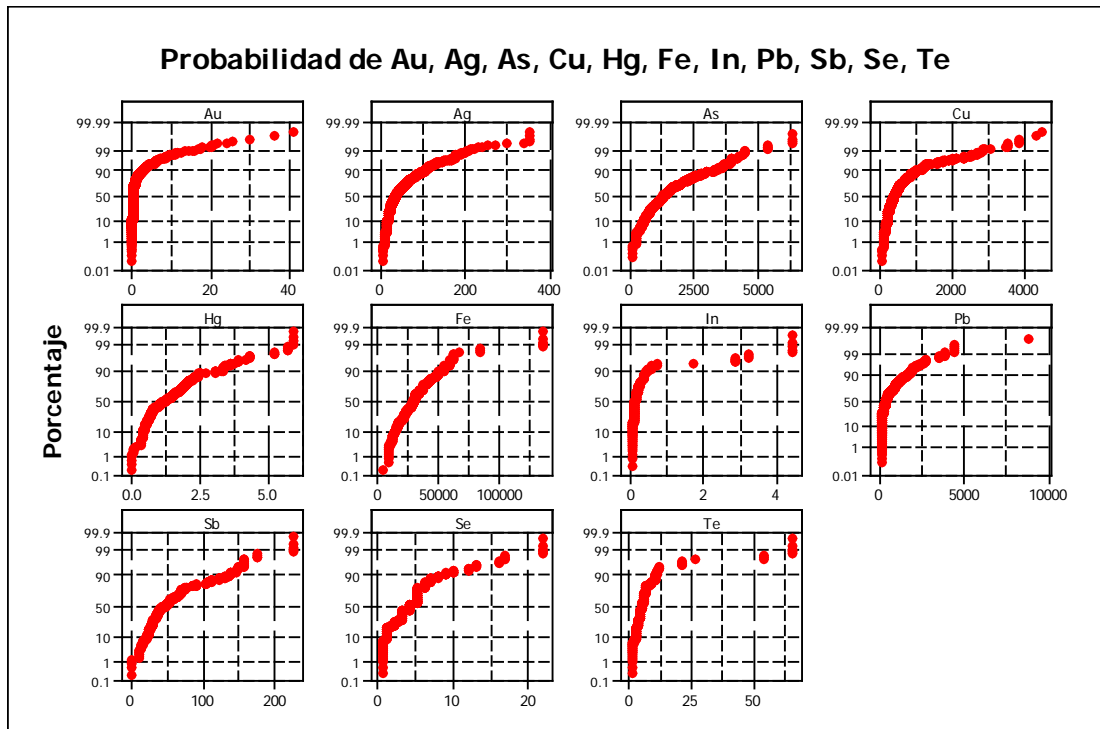


Fig. 40: Curva de Probabilidades de los elementos de mayor correlación en la zona de alta ley de Au.

### 5.2.5 Correlaciones:

Las correlaciones ayudan a identificar relaciones lineales entre dos elementos que puede ayudar a identificar que elementos están asociados entre si, entre las correlaciones encontradas se tiene a las siguientes:

Correlación fuerte: Cd-Ce-Cs-Rb, As-Sb, In-Pb-Fe-Te,

Correlación moderada: As-Fe-In-Se

Correlación débil: In-Sb-Se-Te, Au-Se-Te. Te-Pb-Fe, Ag-Sb, Cu-Sb.

No se encontró correlación del Hg con ningún elemento (Ver Tabla 4).



### 5.2.5.1 Gráficos Bivariados:

Estas correlaciones se dan entre dos elementos, para realizar los gráficos bivariados se tiene que determinar primero que elementos tienen fuerte, moderadas o débil correlación, para el presente caso se determinó lo siguiente:

Correlación fuerte: As-Sb (Ver Fig. 41).

Correlación débil: Cu-Sb, Ag-Sb (Ver Fig. 42,43).

Una vez determinado los elementos se procede a normalizar los valores con Z-score mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Z-score} = (\text{valor real} - \text{media}) / \text{desviación estándar}$$

El objetivo de estos gráficos es confirmar las correlaciones de los elementos encontrados en el primer análisis de correlación.

A continuación se presentan los siguientes gráficos bivariados: As-Sb, Cu-Sb y Ag-Sb.



## As-Sb

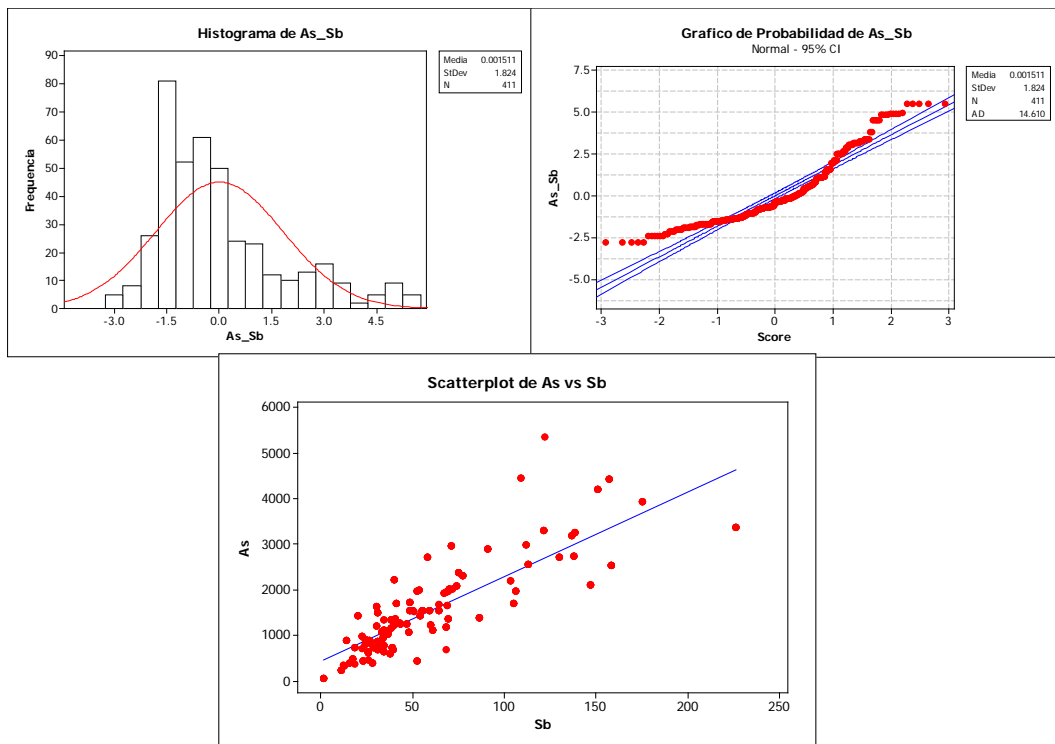


Fig. 41: Grafico bivariable ente el As y Sb.

El As y Sb tienen buena correlación porque están ubicados en el mismo grupo de la tabla periódica, por lo tanto tienen similares propiedades químicas.

## Cu-Sb

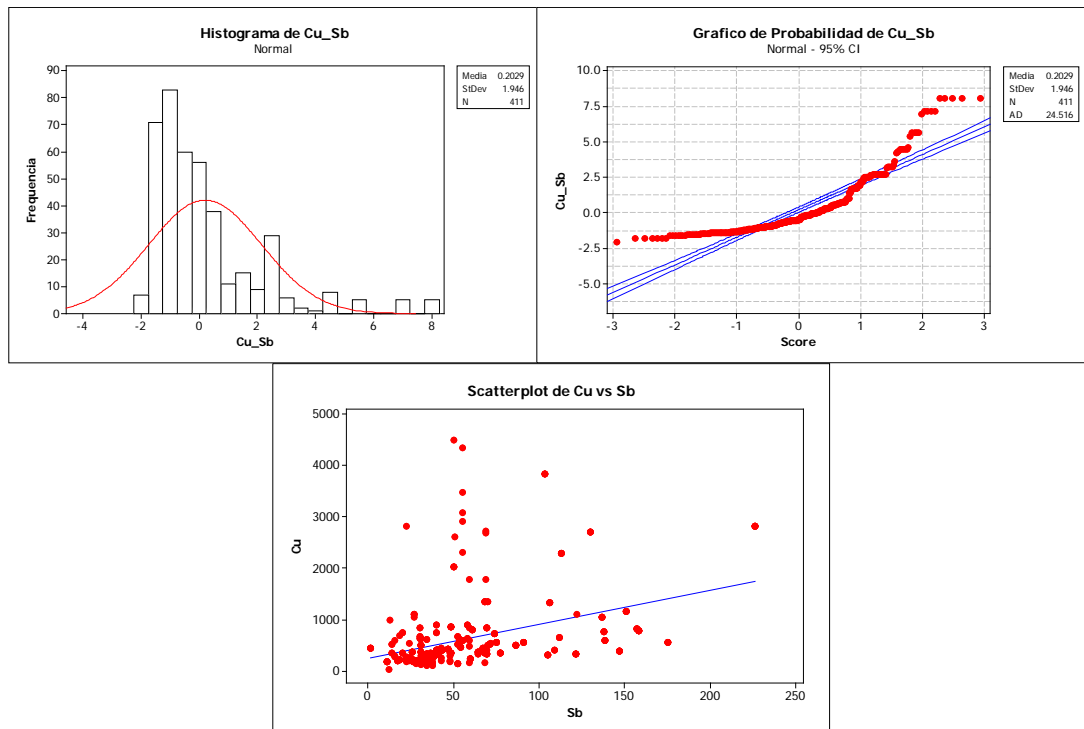


Fig. 42: Grafico bivariable entre el Cu y Sb.

El Cu y Sb tienen buena correlación debido a que ambos elementos se encuentran en los Cobres grises. Esta correlación puede sugerir presencia de estos minerales, encontrados en niveles más profundos del sistema pero no en los niveles transicionales.

## Ag-Sb

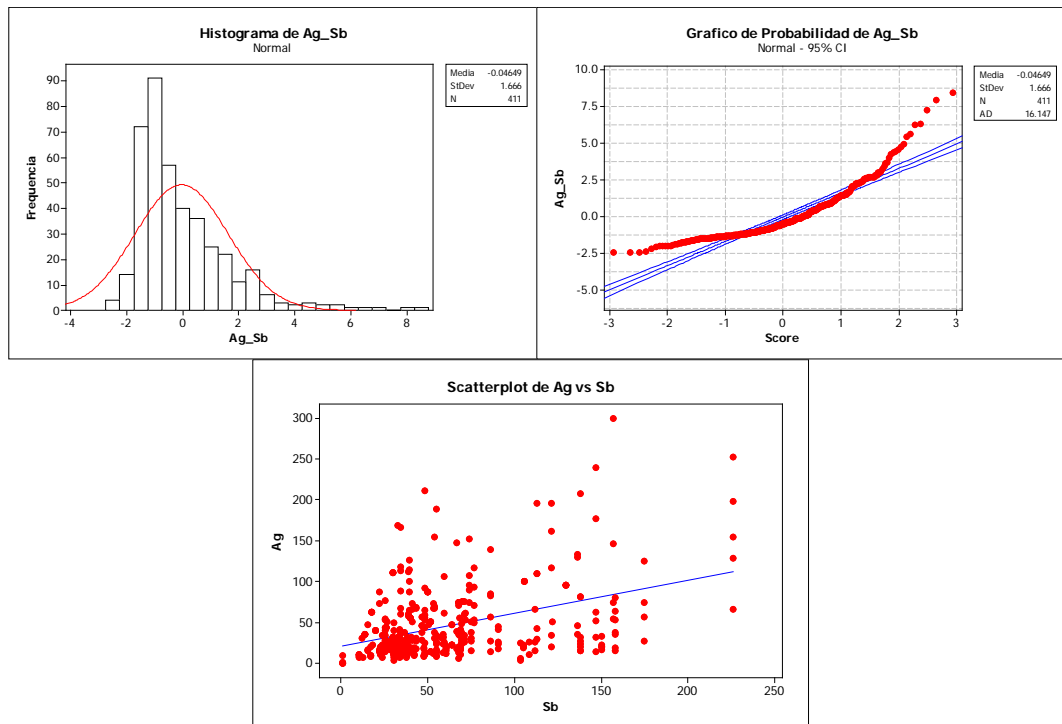


Fig. 43: Grafico bivariable entre el Ag y Sb.

La correlación de Ag con el Sb evidencia a las platas rojas (sulfosales de Ag), que pueden estar presente en el sistema transicional, no se ha podido observar claramente a estos sulfosales, ya que la mineralización de Ag esta relacionada a sulfatos, tales como la argentojarosita ( $\text{AgFe}_{3+3}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ) y a bismutostibiconita ( $(\text{Bi}_3, \text{Fe}_3)_2\text{Sb}_5\text{O}_7$ ) detectados en estos niveles por analisis de XRD.

### **5.2.5.2 Gráficos Multivariables**

Estas correlaciones se dan en más de dos elementos, para realizar estos gráficos se sigue el mismo procedimiento de los gráficos bivariados, en el presente caso se realizó los gráficos multivariados a los siguientes elementos:

Correlación fuerte: Cd-Ce-Cs-Rb, In-Pb-Fe-Te,

Correlación moderada: As-Fe-In-Se

Correlación débil: In-Sb-Se-Te, Au-Se-Te. Te-Pb-Fe.

A continuación se presentan los gráficos bivariados de los elementos mencionados:

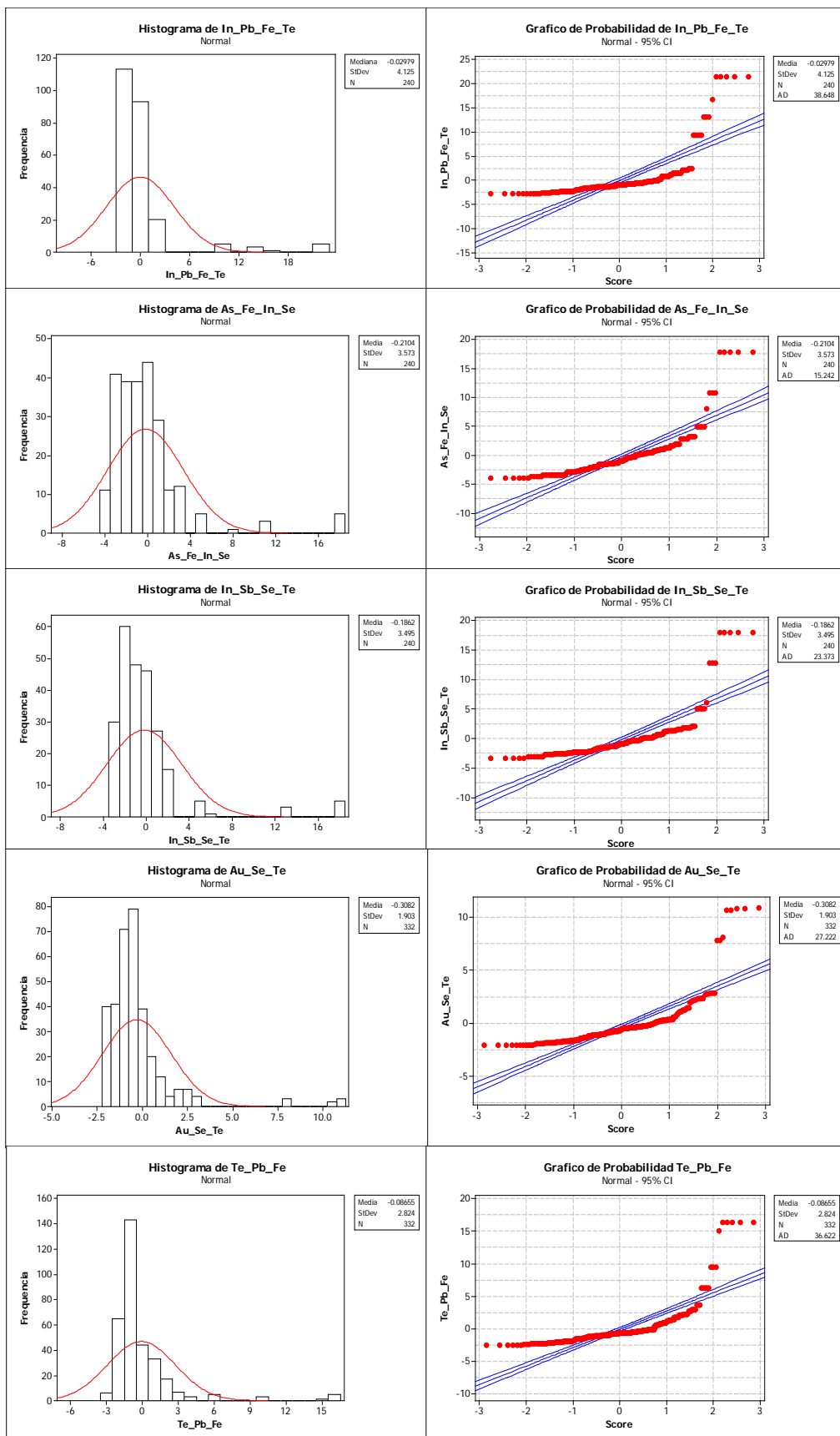


Fig. 44: Grafico Multivariable.

### **5.3 Comportamiento de los elementos con relación a la mineralización**

La zona enriquecida de oro en el nivel de transición conformada por óxidos y escasos sulfuros, presenta correlaciones de elementos típicos de un sistema de alta sulfuración, como se observa en las correlaciones de Cd-Ce-Cs-Rb, As-Sb, In-Pb-Fe-Te, As-Fe-In-Se, In-Sb-Se-Te, Au-Se-Te. Te-Pb-Fe, Ag-Sb, Cu-Sb. Se observa la correlación del oro con telurio y asociado al selenio debido a que están ubicados en el mismo grupo de la tabla periódica, por lo tanto tienen similares propiedades químicas. La correlación débil de Au con el Te indica una débil presencia posiblemente de calaverita. Es importante recalcar la baja correlación del Au con el Hg ello indica que la presencia del Hg no se restringe solo a la zona del oro si no que tiene un área distinta de dispersión.

## **CONCLUSIONES**

- La distribución de las leyes del oro sugiere que la actividad hidrotermal estuvo ubicado en el centro del tajo Yanacocha.
- La mineralización de oro se encuentra a lo largo de un conjunto de intersecciones de fracturas de dirección noroeste, este-oeste y noreste.
- La mineralización de oro esta relacionada a las brechas hidrotermales y a las unidades volcánicas, con fuerte silicificación (unidad TEUT).
- El núcleo de alta ley de oro esta asociado a una fuerte alteración hidrotermal de sílice masiva.
- Existen zonas bien marcadas y diferenciadas espacialmente de Au, Ag, Cu y Hg, que se guardan relación con los diversos eventos de mineralización.
- No se observa correlación del Au con Hg, debido a que son dos eventos distintos y están ubicados espacialmente en distintas zonas.
- El Au no presenta correlación con la Ag, debido a que son dos eventos distintos de mineralización.
- La débil correlación del Au con el Fe es validada por la presencia de zonas enriquecidas de oro con débil oxidación.

- Existe fuerte correlaciones con elementos que se encuentran ubicados en el mismo grupo de la tabla periódica como el As-Sb, Cs-Rb, Te-Se.
- La correlación de Ag con Sb corrobora la presencia de sulfosales de plata como la bismutostibiconita encontrado en análisis de XRD.
- La correlación de As con el Fe es debido a la presencia de la escoradita que se encuentra en las fracturas.
- La correlación del Cu con el Sb indica la presencia de sulfosales de cobre, propios de la zona transicional y zona de sulfuros.
- Los histogramas muestras 2 familias para el Hg, Cu y Sb en la zona de alta ley de Au.



## **RECOMENDACIONES**

- Realizar correlaciones de elementos en la zona enriquecida de plata y en la zona enriquecida de cobre para caracterizar el tajo Yanacocha y obtener zoneamiento marcados, lo que permitirá un mejor tratamiento del material en los pads y planta de Gold Mill.
- Realizar correlaciones similares en la zona de sulfuros para dar soporte al área de procesos en la recuperación del mineral.
- Determinar las zonas alta ley de Hg para realizar correlaciones separadas por litología, y poder realizar un mejor control del Hg en el pad y la planta de Gold Mill.

## **BIBLIOGRAFIA**

Bell, P.; Gomez, J.; Loayza, C., and Pinto, R., 2004, "GEOLOGY OF GOLD DEPOSITS OF THE YANACOCHA DISTRICT NORTHERN PERU" PACRIM 2004.

Cánepa, C. "ESTUDIO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE MUESTRAS DE TESTIGOS DE PERFORACIÓN", informe 40, 2005.

Gustafson, L. B., et al, 2004, "PORPHYRY-EPITHERMAL TRANSITION, CAJAMARCA REGION, NORTHERN PERU" Society of Economic Geology, Special Publication 11, 2004. pag. 279-299.

Harvey, B.; Myers, S., and Klein, T., 1999, "YANACOCHA GOLD DISTRICT, NORTHERN PERU" PACRIM 1999.

Longo, A., 2000, "THE SAN JOSE-CARACHUGO-CHAQUICOCHA GOLD TREND, YANACOCHA DISTRICT, NORTHERN PERU" Newmont Mining Corporation, Peru.

Longo, A., 2005, "EVOLUTION OF VOLCANISM AND HYDROTHERMAL ACTIVITY IN THE YANACOCHA MINING DISTRICT, NORTHERN PERU", tesis para obtener el grado de Doctor de Filosofía en Geología.

Loayza, C., 2002, "GEOLOGY STUDY OF CERRO YANACOCHA GOLD-SILVER DEPOSIT, YANACOCHA DISTRICT, NORTHERN PERU", Tesis para obtener el grado de Master en Ciencia en Geologia

Muller, W., 1985, "MINERALOGIC EXAMINATION FOR GOLD AND SILVER PHASES OF SAMPLES FROM THE YANACOCHA TRENCHES, PERU" Newmont Exploration Limited Metallurgical Department Danbury, Connecticut.

Reporte Interno MYSRL 1992, "SEMIQUANTITATIVE XRD-XRF ANALYSIS OF DRILL HOLE SAMPLES FROM CARACHUGO NORTE CARACHUGO N-W, YANACOCHA PROJECT"

Reporte Interno de MYSRL, 2000, "ESTUDIO MINERALOGICO DE TESTIGOS DE SONDAJES".

Reporte Interno MYSRL 2002, "INFORME - RESUMEN DE LITOLOGIA Y ALTERACION"

Reporte interno MYSRL 2007, "GEOLOGICAL RE-LOG FOR YANACOCHA SULFIDE 2007".

Reporte interno MYSRL 2009, "MINERAL RESOURCE AND ORE RESERVE REPORT AS OF JUNE 30, 2009", compilado por planeamiento mina.

Reporte interno MYSRL 2009, "MINERAL RESOURCE AND ORE RESERVE REPORT AS OF DECEMBER 31, 2009", compilado por planeamiento mina.

Saderholm, E., and More, S., 2002 "YANACOCHA DISTRICT STRATIGRAPHIC SUMMARY"– The Yanacocha Geology Team.

Setyandhaka, D., "Peru Cross Training - Report Summary", Informe interno para MYSRL.

Trujillo, J., y Teran, L., "GEOQUIMICA DE ORO Y ELEMENTOS TRAZAS EN EL YACIMIENTO CERRO NEGRO DISTRITO AURIFERO DE YANACOCHA – PERU" X Congreso Peruano de Geología pag. 93.

Quiroz, Q., 2002, "ESTUDIOS DE RASGOS CIRCULARES EN EL DISTRITO AURIFERO YANACOCHA Y SU RELACION CON ESTRUCTURAS Y MINERALIZACION" Informe interno para MYSRL.