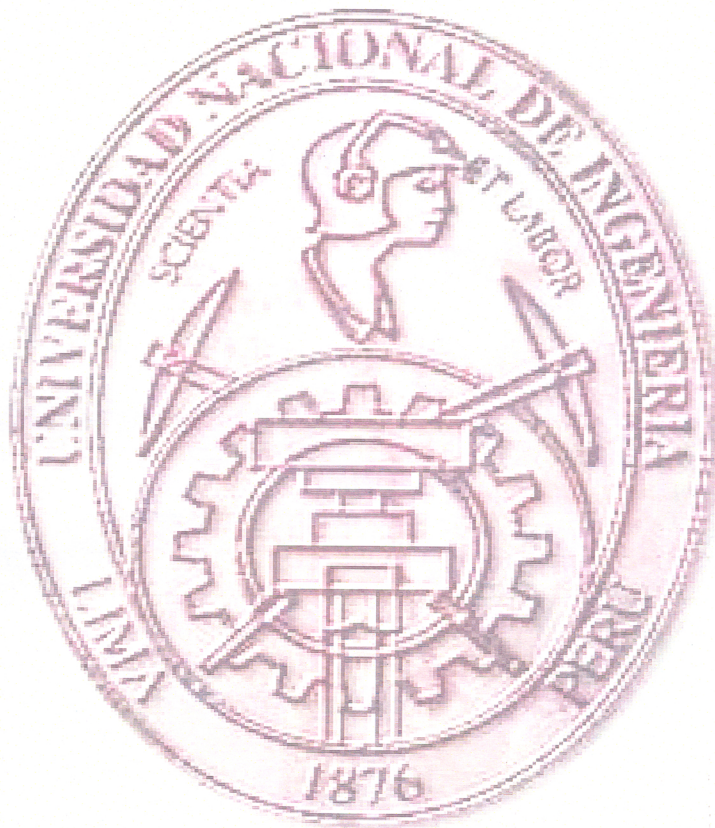


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica



**GEOLOGIA Y CONTROLES DE MINERALIZACION EN EL DEPÓSITO
CERRO YANACOCCHA, DISTRITO DE YANACOCCHA (CAJAMARCA - PERU)**

TESIS

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Geólogo

DANIEL ALEX MERINO NATORCE

Lima - Perú
2005

CONTENIDO

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Tabla de contenidos	iii
Lista de figuras	vi
Lista de fotos	vii
Lista de tablas	viii
Resumen	IX
Parte I.- Generalidades y geología regional	
Capítulo 1: Generalidades	
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Ubicación y acceso	1
1.3 Clima y fisiografía	3
1.4 Antecedentes históricos	5
1.5 Trabajos previos	7
1.6 Metodología	8
Capítulo 2: Geología regional	
2.1 Introducción	10
2.2 Estratigrafía sedimentaria y volcánica	
2.2.1 Basamento Cretáceo	11
2.2.2 Volcánicos Llama	11
2.2.3 Volcánicos Porculla	12
2.2.4 Volcánicos Huambos	12
2.3 Geología estructural	14
2.4 Metalogenia	17
Parte II.- Geología local	
Capítulo 3: Litología	
3.1 Introducción	19
3.2 Rocas volcánicas	19
3.3 Rocas porfíricas	
3.3.1 Pórfidos andesíticos	22
3.3.2 Pórfidos dacíticos	22
3.4 Brechas	
3.4.1 Brechas primarias	28
3.4.2 Brechas freáticas	28
3.4.3 Brechas freatomagmáticas	28
3.4.4 Brechas hidrotermales	30

Capitulo 4: Alteración	
4.1 Introducción	34
4.2 Silicificación	34
4.3 Ensamble argílico avanzado	35
4.4 Ensamble argílico	37
4.5 Ensamble propilítico	37
4.6 Oxidación supergena	37
Capitulo 5: Mineralización	
5.1 Introducción	40
5.2 Eventos de mineralización	40
5.3 Secuencia paragenética	45
Capitulo 6: Geoquímica	
6.1 Introducción	46
6.2 Geoquímica de superficie	
6.2.1 Análisis de planos geoquímicos	46
6.2.2 Análisis de muestras	50
6.2.2.1 Tratamiento estadístico de los resultados	53
Capitulo 7: Estudio estructural	
7.1 Introducción	55
7.2 Análisis estructural a escala local	
7.2.1 Cerro Encajón	
7.2.1.1 Análisis de diagrama estructural (dominios)	57
7.2.1.2 Características estructurales	61
7.2.2 Yanacocha Sur	
7.2.2.1 Análisis de diagrama estructural (dominios)	66
7.2.2.2 Características estructurales	71
7.2.3 Yanacocha Oeste	
7.2.3.1 Análisis de diagrama estructural (dominios)	74
7.2.3.2 Características estructurales	79
Parte III.- Interpretaciones	
Capitulo 8: Controles de mineralización	
8.1 Introducción	82
8.2 Control estructural	82
8.3 Control litológico	94
8.4 Control de alteración	94
Capitulo 9: Análisis Kinemático estructural	
9.1 Introducción	95
9.2 Análisis de esfuerzos	95
9.4 Modelo kinemático de esfuerzos	96
9.3 Paragénesis estructural relacionada a eventos de mineralización	99

Parte IV.- Conclusiones

Capitulo 10: Conclusiones y recomendaciones

10.1 Conclusiones

101

10.2 Recomendaciones

103

Bibliografía

Apendice

LISTA DE FIGURAS

	Pag	
Fig 01.	Plano de ubicación del distrito de Yanacocha	2
Fig 02.	Mapa geológico regional	13
Fig 03.	Correlación del Grupo Calipuy	14
Fig 04.	Columna estratigrafica generalizada	15
Fig 05.	Corredor estructural Chicama □ Yanacocha y Yanacocha - Hualgayoc	16
Fig 06.	Complejo volcánico Yanacocha	18
Fig 07.	Mapa geológico del Cerro Yanacocha y alrededores	20
Fig 08.	Sección litológica 26800N	26
Fig 09.	Sección litológica N20E	27
Fig 10.	Sección litológica 27500N	33
Fig 11.	Plano de alteración y litología del Cerro Yanacocha	38
Fig.12.	Testigos y microfotografías relacionados a la mineralización	42
Fig 13.	Microfotografías de secciones pulidas	43
Fig 14.	Estadíos de mineralización en Yanacocha	44
Fig 15.	Planos geoquímicos de oro	47
Fig 16.	Planos geoquímicos de plata	48
Fig 17.	Planos geoquímicos de cobre	49
Fig 18.	Cuadros estadísticos de muestras selectivas	53
Fig 19.	Estructuras en el basamento Cretáceo	56
Fig 20.	Estructuras formadas durante el Mioceno	56
Fig 21.	Densidad de polos y diagrama de rosas totales de Encajon	58
Fig 22.	Densidad de polos y diagrama de rosas de fallas de Encajon	59
Fig 23.	Densidad de polos y diagrama de rosas d e juntas de Encajon	60
Fig 24.	Subdivisión de áreas estructurales en el Cerro Yanacocha	62
Fig 25.	Plano litológico y estructural del Cerro Yanacocha	64
Fig 26.	Características de las fallas en el Cerro Yanacocha	65
Fig 27.	Densidad de polos y diagrama de rosas totales de YS	67
Fig 28.	Densidad de polos y diagrama de rosas de fallas de YS	68
Fig 29.	Densidad de polos y diagrama de rosas de juntas de YS	69
Fig 30.	Densidad de polos y diagrama de rosas de brechas de YS	70

Fig 31.	Características de las brechas freáticas en el Cerro Yanacocha	73
Fig 32.	Densidad de polos y diagrama de rosas totales de YO	75
Fig 33.	Densidad de polos y diagrama de rosas de fallas de YO	76
Fig 34.	Densidad de polos y diagrama de rosas de juntas de YO	77
Fig 35.	Densidad de polos y diagrama de rosas de brechas de YO	78
Fig.36.	Junturas mineralizadas	81
Fig.37.	Ubicación de secciones litológicas	86
Fig.38.	Controles de mineralización, sección 27500	87
Fig.39.	Controles de mineralización, sección N20E	88
Fig.40.	Controles de mineralización, sección 26800	93
Fig.41.	Direcciones preferenciales de esfuerzos compresivos	97

LISTA DE FOTOS

		Pag
Foto 01.	Superficies de erosión glacial	4
Foto 02.	Rocas volcánicas	21
Foto 03.	Baritina en cristales	21
Foto 04.	Microfotografía de roca silicificada	39
Foto 05.	Alteración argílica avanzada cuarzo-alunita-arcillas	39
Foto 06.	Foto aérea del Cerro Yanacocha	23
Foto 07.	Rocas intrusivas andesíticas	25
Foto 08.	Rocas intrusivas dacíticas	25
Foto 09.	Brechas freáticas	31
Foto 10.	Brechas hidrotermales	31
Foto 11.	Brechas freatomagmáticas	32
Foto 12.	Brechas Ypq-Bx	32
Foto 13.	Microfotografía de óxido-jarosita	36
Foto.14.	Textura sílice-alunita- <i>patchy</i>	36
Foto 15.	Mineralización de oro-cobre alrededor del Ypq	83
Foto 16.	Intersección de fallas y controles	84
Foto 17.	Contacto del lava-domo con el tufo lítico	90
Foto 18.	Falla Laura controlando el emplazamiento del Ypq y la diatrema	91
Foto 19.	Cerro Encajon, alteración argilico avanzado	92

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Edad radiométrica de los principales Yacimientos	17
Tabla 2. Muestreo selectivo en el Cerro Yanacocha	50
Tabla 3. Dominios preferenciales de las estructuras en el Cerro Yanacocha	95

RESUMEN

Cerro Yanacocha es el depósito más grande en términos de contenido de onzas de oro en el distrito Yanacocha. La secuencia volcánica consiste de rocas piroclásticas y lávicas de composición dacítica a andesítica cortadas por intrusivos y brechas de similar composición. La alteración hidrotermal es típica de los depósitos de alta sulfuración con un núcleo silíceo que gradúa hacia los bordes a un ensamble argílico avanzado, argílico y propilítico.

Cinco eventos principales de mineralización han sido reconocidos en este depósito: el evento más temprano, de baja ley de oro (menor a 0.2 ppm), se caracteriza por la silicificación pervasiva que es contemporánea con la deposición de pirita fina diseminada (Harvey et al., 1999). La segunda etapa (el evento principal de oro) se caracteriza por la deposición de pirita fina, enargita y covelita. Estos sulfuros ocurren como diseminaciones y rellenando oquedades y fracturas. El oro ocurre en granos del tamaño de sub-micron, usualmente asociados a los óxidos de hierro (Bersch, 1999; Turner, 1997).

La tercera etapa de mineralización de oro de alta ley está relacionada con la presencia de baritina, sílice cremosa (sílice y rutilo) y hematita; siendo restringidas localmente a las fracturas y matriz de las brechas. La baritina y hematita se encuentra principalmente en fracturas, y la sílice cremosa como venillas y en la matriz de algunas brechas hidrotermales.

La cuarta etapa de mineralización, Cu-(Au), está asociada con la intrusión de brechas freatomagmáticas y *stocks* de composición dacítica. Los sulfuros presentes son esencialmente enargita, covelita y pirita. La última etapa de mineralización se presenta localmente en la parte norte del depósito y está constituida por carbonatos intercrecidos con esfalerita, galena y menores cantidades de enargita. Esta última etapa marca un posible cambio de pH en los fluidos mineralizantes (Loayza, 2002).

Los controles de mineralización en este depósito son principalmente el estructural y litológico. La mayor concentración de mineralización aurífera está hospedada principalmente en las rocas piroclásticas y está espacialmente relacionada a las diatremas, domos, diques de intrusivos y fallas. Los eventos volcánicos, intrusiones y etapas de alteración hidrotermal relacionados con la mineralización de oro, fueron controladas principalmente por fallas mayores de dirección NW (Falla Dinosaurio y Laura) y NE (Falla Arual), y fallas menores de dirección EW y NS.

Capítulo 1: Generalidades

1.1 Planteamiento del problema

Los controles de mineralización del Cerro Yanacocha han sido materia de diferentes interpretaciones. Por un lado se plantea controles relacionados al emplazamiento de domos y por otro lado a soluciones mineralizantes provenientes de diversos estadios de brechas. Por ello, aspectos como zonas de alta y baja ley, morfología del yacimiento y potencialidad de zonas vecinas pueden ser erróneamente interpretadas.

El presente trabajo busca determinar los principales controles de mineralización basado en el comportamiento estructural y el estudio petromineralógico.

1.2 Ubicación y acceso

El depósito de oro y plata [Cerro Yanacocha] es uno de los varios depósitos de alta sulfuración en el distrito de Yanacocha. Este distrito de clase mundial está localizado en un cinturón volcánico Cenozoico en el norte de los Andes del Perú, aproximadamente a 600km al norte de Lima, la capital del Perú.

Este cinturón volcánico además hospeda otros depósitos de alta sulfuración como Alto Chicama, Pierina y Sipán (Fig.01).

El distrito comprende un área de 120 km² y está centrado en los 78.30 de longitud oeste y 7.00 de latitud sur, y elevaciones entre 3400 a 4200 m.s.n.m.

El acceso a Cajamarca: Vía aérea Lima-Cajamarca (vuelo directo), el tiempo de vuelo es de 1 hora. Vía Terrestre: Lima-Cajamarca, el tiempo de viaje es de 14 horas (la carretera está totalmente asfaltada).

El acceso al distrito Yanacocha se hace por la carretera Cajamarca-Hualgayoc. Son aproximadamente 49 km de carretera desde la ciudad de Cajamarca hasta las instalaciones de la mina.

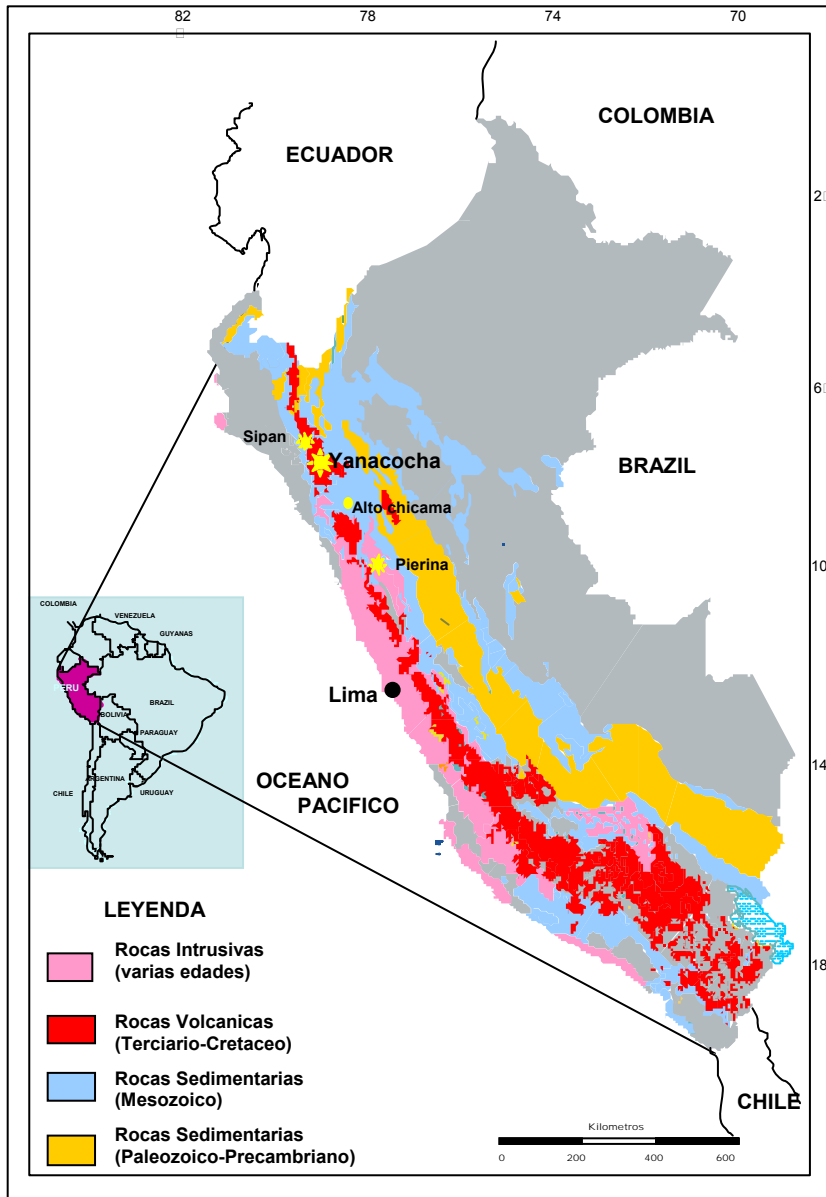


Fig.01. Plano de ubicación del distrito de Yanacocha

1.3 Clima y fisiografía

El distrito de Yanacocha se encuentra en la división entre el drenaje de la cuenca amazónica al este y el árido desierto costero al oeste.

El clima es frígido llegando a temperaturas menores a 3°C, dando lugar a continuas heladas en la temporada de lluvias. En la temporada seca se tiene intenso sol, fuertes vientos y temperaturas mayores a 20°C.

Las principales unidades geomorfológicas han sido diseñadas por los procesos de levantamientos, fallamientos y erosión debido a la tectónica Andina, volcanismo Cenozoico y la glaciación Cuaternaria.

A continuación se describe la fisiografía de la zona:

- Superficies de erosión, estarían conformados por todas las cumbres, los cuales se encuentran entre los 3800 y 4150 m.s.n.m. Las más altas corresponden a la "Superficie Puna" pero es probable que correspondan a diferentes superficies de erosión, relacionadas con el levantamiento de los Andes. En varios casos se puede reconocer remanentes de superficie de erosión como el Cerro Yanacocha, el mirador, los Cerros Carachugo, Cerro Chaquicocha y San José.
- Las superficies de erosión glacial, destacando algunas geoformas semicirculares de circos glaciares erosionados (testigos de ello son muchas estrías labradas en las rocas silíceas). Algunas zonas modeladas por la glaciación son el Cerro Yanacocha y Plateros, Cerro Chaquicocha, la quebrada Encajon y las morrenas de la Quinua (Foto.01).
- Las pampas de Pampa Larga a 4000 m.s.n.m. y Pampa Negra a 3600 m.s.n.m corresponden a dos niveles de erosión de la superficie Puna (Mioceno).
- Las quebradas que bordean las superficies de erosión del área de Yanacocha, forman un drenaje juvenil con cañones abruptos y tributarios principales en la dirección NNW y secundarios en la dirección NE-SW ó NW, los cuales aportan sus aguas tanto a la Cuenca Pacífica como a la Atlántica.



Foto.01. Vista panorámica de bloques con superficies planas formadas por la erosión glacial.



Foto.01. Bloque con muchas estrías labradas por la erosión glacial.

1.4 Antecedentes históricos □ Datos generales

Los trabajos de prospección y actividad minera en el distrito de Yanacocha se iniciaron desde tiempos remotos. Se tiene una serie de trabajos desde la época pre-inca a la época colonial en el Cerro Quillish, Maqui Maqui y Carachugo.

Las actividades de prospección continuaron en los siglos XIX □ XX, con la llegada de numerosas empresas extranjeras, entre ellas Newmont en 1983. A mediados de 1984 se firma un *Joint Venture* entre CEDEMIN, Buenaventura y Newmont, iniciándose una agresiva campaña de mapeo y muestreo geoquímico, descubriéndose anomalías fuertes en plata y débiles en oro.

Hacia 1865, Newmont ejecuta los primeros taladros, dando como resultado, angostos cuerpos de plata y oro. En 1986, continuó la campaña de perforación descubriéndose los depósitos de Yanacocha Norte y Yanacocha Sur.

En 1990 se continua con una agresiva campaña de perforación con la intención de delinear los cuerpos mineralizados de Carachugo y Maqui Maqui, obteniéndose buenos resultados. Se inician los estudios de factibilidad poniéndose en prueba una planta piloto de lixiviación de 15 000 toneladas de mineral con una recuperación de 83□ .

La operación minera se inició en 1993, con la primera barra de oro obtenida el 7 de agosto de ese año. La primera mina que se abrió fue Carachugo con 100 000 onzas recuperadas. La segunda mina, Maqui Maqui, se comenzó a explotar en 1994 y el primer millón de onzas se completó el 3 de febrero de 1996. En 1997 se abrieron dos nuevas minas, San Jose y Cerro Yanacocha; en ese año se produjeron más de 1 millón de onzas de oro; es la primera operación en América del Sur que alcanzó esa marca. A fines de octubre del 2003 se recuperaron más de 14 millones de onzas desde que se inició la operación en 1993.

Actualmente se están minando dos tajos a cielo abierto, en óxidos: Cerro Yanacocha y La Quinoa. La operación consiste en perforación, voladura, carguío y transporte. La relación desmonte a mineral es de 0.7:1.0, oscilando entre un mínimo de 0.5:1.0 en Cerro Yanacocha, con una producción anual de 2.3 Moz/año. En La Quinoa la producción anual es de 1.7 Moz/año siendo la relación desmonte mineral de 0.3:1.0. Como no se requiere chancado ni clasificación, el mineral se transporta directamente a una de las tres pilas de lixiviación ubicadas en Carachugo, Maqui Maqui y Cerro

Yanacocha. Una solución diluida de cianuro (30 ppm) se riega sobre la pila de mineral, y percola a través del mismo, extrayendo el oro (Díaz, 1999). El ciclo de lixiviación es corto, la mayoría del oro es extraído en un periodo de 30 días. La solución impregnada con oro se colecta en una poza, y luego es bombeada a una de las dos plantas (Carachugo y Cerro Yanacocha), donde el proceso de Merrill Crowe usa polvo de zinc para recuperar el oro de la solución impregnada. La recuperación es alta (75%) y el consumo de los reactivos principales es bajo (cianuro 0.02 Kg/t, cal 0.8 Kg/t y zinc 4.98 g/t) (Díaz, 1999). El producto final que se obtiene en la mina es una barra de *Doré* conteniendo aproximadamente 70% de oro, 25% de plata y 5% de metales base (zinc, cobre).

A fines del 2004, Minera Yanacocha reportó un recurso/reserva de 40 millones de onzas, el más grande de América del Sur. Casi todo el recurso/reserva está en óxidos, con un potencial en sulfuros de alta ley de material transicional en la base de la zona de óxidos, que se ha incluido en las reservas en Yanacocha Sur.

Yanacocha es uno de los mayores productores de oro a bajo costo en el mundo, con un costo efectivo de \$120/onza en el 2003. El bajo costo se debe a varios factores, entre ellos: mineral cerca de la superficie, baja relación de desmonte a mineral, no se necesita chancado o molienda, alta recuperación de oro, y ciclo corto de lixiviación.

1.5 Trabajos previos

Estudios previos en Yanacocha incluyen las siguientes investigaciones:

- Carlos Loayza (agosto, 2002), realizó el estudio geológico del Cerro Yanacocha, aportando importantes resultados en relación a la mineralogía, litología y el zonamiento termal.
- Andrés Quiroz (octubre, 2002), realizó el estudio de rasgos circulares en el distrito aurífero Yanacocha y su relación con estructuras y la mineralización; este trabajo consistió en identificar rasgos estructurales superficiales, investigar la relación que existe con la mineralización aurífera y sugerir nuevos blancos de exploración.
- Dr. William Rehrig (agosto, 2001), analizó todo lo relacionado al aspecto estructural del sector central del distrito, realizando un modelo tectónico □ estructural aplicable a la exploración distrital.
- Peter Rogowski (octubre, 2001), interpretó los lineamientos de imágenes satelitales en la zona central del distrito, aportando importantes tendencias estructurales de orden distrital como la dirección NW, NE, EW y NS.
- Dr. Stephen J. Turner (1997), 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.
- Adicionalmente existe una gran variedad de reportes internos realizados por los geólogos de Minera Yanacocha.

1.6 Metodología

El trabajo de campo consistió en realizar el mapeo de bancos del Cerro Encajon, Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste, en un área de 1.5 km². El mapeo de bancos consistió en el reconocimiento de la litología, alteración y estructuras a escala local 1:2000.

El trabajo geológico relacionado a litología y alteración consistió en reconocer las diferentes texturas y ensambles de alteración de las rocas volcanoclásticas, porfiríticas, intrusivas y brechas. Diferentes muestras fueron seleccionadas para realizar estudios petrográficos y mineralógicos. Un total de 25 secciones delgadas y 10 secciones pulidas fueron estudiadas, con la finalidad de identificar los minerales, formas, texturas y descripción de sus intercrecimientos y así determinar sus relaciones paragenéticas.

Para un mejor reconocimiento de las facies de alteración, 25 muestras fueron analizadas mediante el PIMA en los laboratorios de Luis Salazar Suero □ asociados y Minera Yanacocha. Estudios como difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X, dataciones e inclusiones fluidas realizados por los geólogos de la empresa, fueron estudiados para un mejor entendimiento de la geología.

El estudio geoquímico consistió en identificar las anomalías geoquímicas y posibles controles de mineralización asociados al oro, plata y cobre.

Paralelamente al mapeo de bancos se realizó un muestreo selectivo de brechas, venillas, contactos y fallas, recolectándose en total 123 muestras. Estas muestras fueron analizadas por AuFFA, AgFFA y CuCN en los laboratorios de Minera Yanacocha.

El estudio estructural consistió en revisar los lineamientos regionales y distritales de las principales estructuras en el área de mineralización económica.

El trabajo de campo en los tajos y afloramientos consistió en la identificación de diferentes tipos de rocas, alteraciones y estructuras tales como fracturas, fallas, venillas y diques. Las medidas de los rumbos y buzamientos fueron tomadas usando el método del *azimut* o regla de la mano derecha. El estudio estructural se realizó con mayor detalle en las paredes de los bancos finales de los tajos.

Los datos obtenidos en el campo, se editaron y se procesaron en el gabinete mediante los softwares DIPS y GEOMODEL para su posterior interpretación.

Basado en las evidencias de campo, revisiones y discusiones con los geólogos de Minera Yanacocha, se desarrolló un modelo estructural y se establecieron los principales controles de mineralización en el Cerro Yanacocha.

Capítulo 2. Geología regional

2.1 Introducción

La mineralización de oro en el distrito de Yanacocha forma parte del cinturón de depósitos polimetálicos que están ubicados a lo largo de la Cordillera de los Andes, y el cual está asociado al volcanismo Cenozoico y las rocas intrusivas (Turner, 1997).

Los Andes Peruanos son el resultado de la subducción de la litósfera oceánica (placa de Nazca) debajo de la litósfera continental (placa Sudamericana). La primera actividad magmática ocurre en el Terciario inferior y es representado por un volcanismo efusivo de tipo lávico andesítico, correspondiente al volcánico Llama (Benavides, 1956 y Noble, 1990). Contemporáneamente se inicia la primera pulsación intrusiva en la región, correspondiente a intrusivos dioríticos (stocks Michiquillay y Picota) datadas del Eoceno medio (43-46 Ma: BRGM, 1995).

La segunda manifestación magmática ocurre durante el Mioceno inferior (fase Quechua I) y corresponde al emplazamiento de numerosos *stocks*, entre ellos los pórfidos de: Chailhuagón, Perol, Mishacocha, Corona, Cajas y Yanacocha, todos ellos datados (K/Ar) entre 11 y 20 Ma (Borredón, Noble, Turner y BRGM). La composición evoluciona desde una microdiorita con hornblenda hasta microgranodioritas y pórfidos cuarzo feldespático. Paralelamente a esta fase intrusiva se desarrolla la depresión volcano tectónica de Yanacocha (20 x 20 km), compuesta de derrames lávicos y flujos piroclásticos de composición dacítica-andesítica y asociado a domos porfiríticos andesíticos, cuyas edades varían desde el Mioceno inferior a medio entre 10 y 19 Ma (Longo, 2002; Turner, 1997). Este volcanismo es el principal albergante de la mineralización epitermal de Au-Ag y está asociado a *stocks* porfiríticos del tipo pórfidos, diatremas y brechas *pipes*.

Posterior a la gran actividad volcano-plutónica Miocénica se produce el levantamiento Andino y erosión, seguidamente se deposita el volcanismo de la Formación Huambos (8.2 Ma, Noble et 1989), constituido por coladas piroclásticas de composición andesítica-dacítica que recubren valles y depresiones del distrito de Yanacocha. Finalmente en el Pleistoceno, ocurre una fuerte etapa de glaciación que

erosiona el depósito de Yanacocha dando lugar a la depositación de morrenas y gravas del depósito La Quinua.

2.2 Estratigrafía sedimentaria y volcánica

La geología de la región de Cajamarca - Yanacocha está constituida por un basamento sedimentario de edad Cretácea que ha sido plegado, fallado e intruído por *stocks* terciarios y recubiertos por efusiones volcánicas de edad Terciaria (Fig.02).

Regionalmente el grupo Calipuy se subdivide en dos unidades: Volcánicos Llama y Volcánicos Porculla. Sobre ellas yacen con discordancia erosional las ignimbritas de la Formación Huambos. Turner, considera a la Formación Huambos como parte del Grupo Calipuy (Fig.03).

2.2.1 Basamento Cretáceo

La serie Cretáceo inferior, está constituida principalmente por una secuencia arenácea cuarcítica con intercalaciones de limolita, correspondientes al Grupo Goyllarisquizga; estas secuencias están coronadas por una secuencia limo-calcárea correspondientes a las grandes transgresiones albiánas. Las rocas del Cretáceo superior están mejor desarrolladas y conforman una potente secuencia calcárea, correspondientes a las formaciones: Inca, Chulec, Pariatambo, Yumagual, Mujarrón, Quilquiñan y Celendín. Las rocas del Cretáceo superior y Paleoceno (Terciario inferior) consisten de Capas Rojas y conglomerados de la Formación Chota. Las capas rojas están relacionadas con la fase orogénica Andina del Cretáceo superior (Reyes, 1980; Megard, 1987; Ingemmet, 1995).

2.2.2 Volcánicos Llama

Es la secuencia basal y está dominada por flujos de lava, conglomerados volcánicos (*flujo de debris*) y rocas volcanoclásticas. Esta secuencia se localiza al sur del distrito de Yanacocha y presenta una débil alteración argílica y propilítica. Las dataciones radiométricas (K-Ar) efectuadas por D. Noble (1999), datan de 54.8±1.8 y 44.2±1.2 M.A. La alteración pervasiva que presenta en partes esta formación podría ser el resultado de un gran sistema hidrotermal relacionado con el Batolito de Chota, que forma parte de la Formación Chota.

2.2.3 Volcánicos Porculla

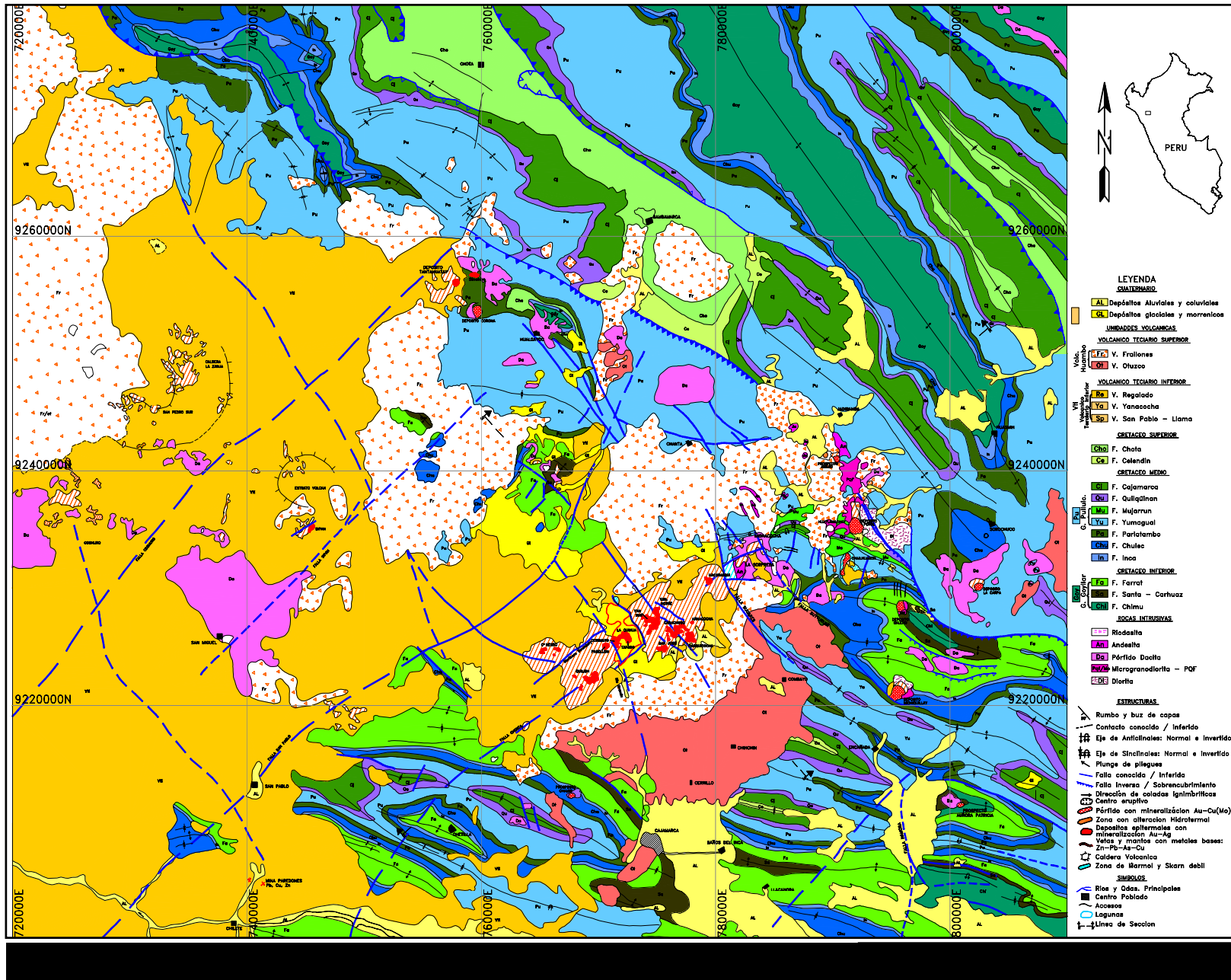
Consiste de rocas piroclásticas intercaladas con niveles lávicos y cortadas por multi-fases de eventos intrusivos. Según Turner, los volcánicos Porculla se subdividen en el Complejo Volcánico Yanacocha y los Volcánicos Regalado (Fig.03).

Complejo Volcánico Yanacocha: Esta secuencia volcanoclástica se extiende regionalmente y es en donde se alberga la mineralización del distrito de Yanacocha. Este Complejo Volcánico de edad Miocénica está constituido por rocas piroclásticas y flujos de lava de composición andesítica (Fig.04).

Volcánicos 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 (Reyes, 1980).

2.2.4 Volcánicos Huambos

Posterior a la gran actividad volcano-plutónica Miocénica se produce el levantamiento Andino y erosión, seguidamente se deposita el volcanismo de la Formación Huambos (8.2 Ma, Noble et 1989) constituido por coladas piroclásticas andesítica-dacítica que recubren valles y depresiones del distrito de Yanacocha. 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.



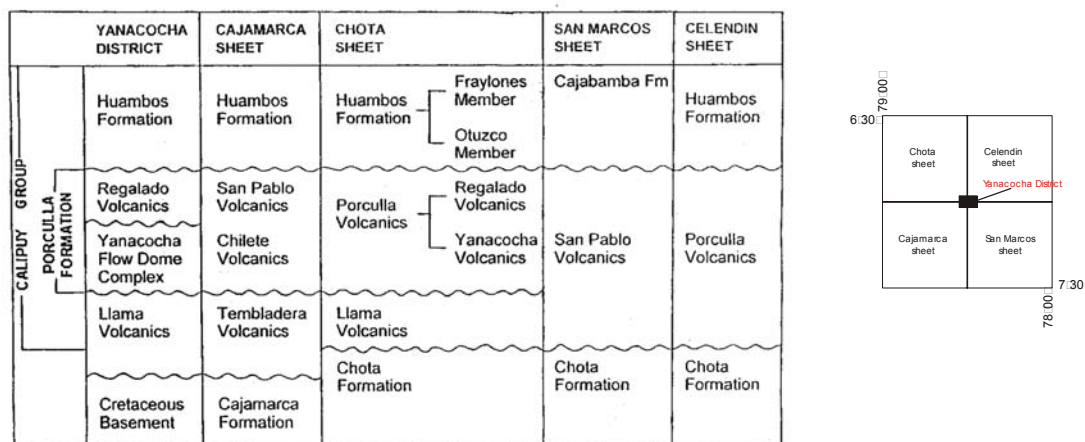


Fig.03. Correlación del grupo Calipuy (Turner, 1997).

2.3 Geología estructural

La más importante característica estructural en la región es el lineamiento transandino que forma el corredor estructural Chicama □ Yanacocha (Quiroz, 1997). Este corredor alberga una serie de fallas de dirección NE, emplazamiento de intrusivos, y controla la localización de varios pórfidos y yacimientos de alta sulfuración (Fig.05). Un conjunto de fallas de rumbo general NW-SE se disponen con ligeras variaciones de rumbo, definiendo el corredor estructural Yanacocha □ Hualgayoc, de 5 a 6 Km de ancho (Quiroz, 2002). A lo largo de este corredor se disponen coincidentemente una serie de ocurrencias de mineralización tanto dentro como fuera del distrito de Yanacocha (Fig.05).

Dentro del distrito de Yanacocha se observa un alineamiento de dirección NE definido por la sucesión de depósitos que constituyen parte del Complejo Volcánico Yanacocha. Entre ellos tenemos al Cerro Yanacocha, Carachugo, Maqui Maqui, Chaquicocha, Cerro Negro, Cerro Quillish, el Tapado y La Quinoa (Fig.06).

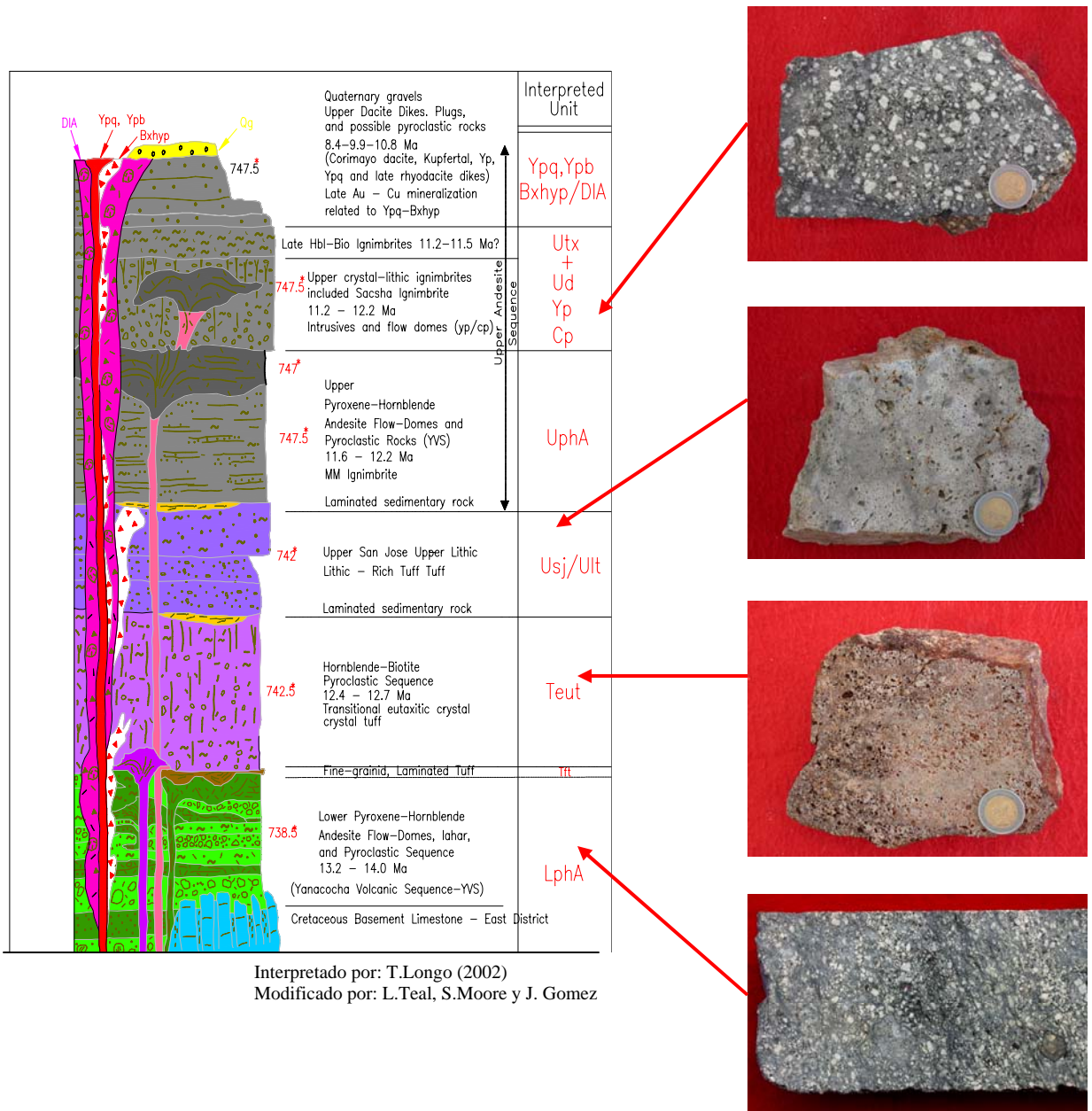


Fig.04. Columna estratigráfica generalizada

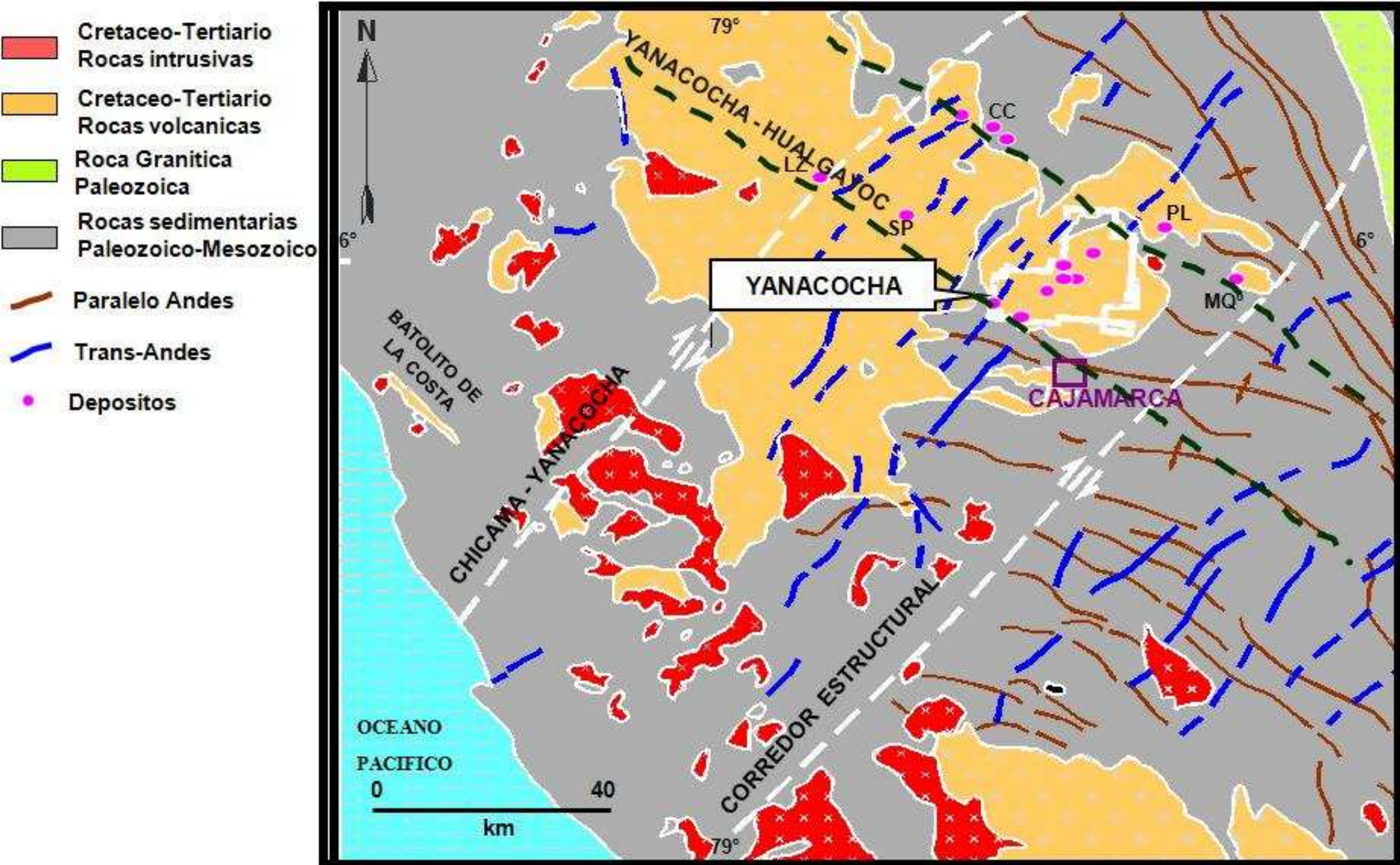


Fig.05. Corredor estructural Chicama – Yanacocha y Yanacocha – Hualgayoc

2.4 Metalogenia

Los yacimientos metálicos dentro del distrito de Yanacocha forman parte del cinturón metalogenético Miocénico (Noble y Mckee, 1999; Petersen, 1999). Este cinturón, el cual se extiende paralelo a los Andes a lo largo de la cordillera Occidental, es definido por numerosos yacimientos hidrotermales de diferentes estilos de mineralización (Noble y Mckee, 1999).

Principales depósitos incluyen: Los Mantos, Cerro Corona, Tantahuatay, Michiquillay, Hualgayoc y Yanacocha.

Entre los yacimientos mencionados ocurren los pórfidos de Cu-Au, en la parte NE del distrito de Yanacocha. Entre ellos se tiene a Minas Conga, Michiquillay, Colpayoc y Chamis. Los depósitos de alta sulfuración están localizados en el Complejo Volcánico Yanacocha. Otros depósitos de alta sulfuración en el área son Sipán (Candiotti y Guerrero, 1999) y la Zanja; ambos depósitos ocurren en el mismo cinturón volcánico terciario. Existen además yacimientos vetiformes como Cerro Jesús.

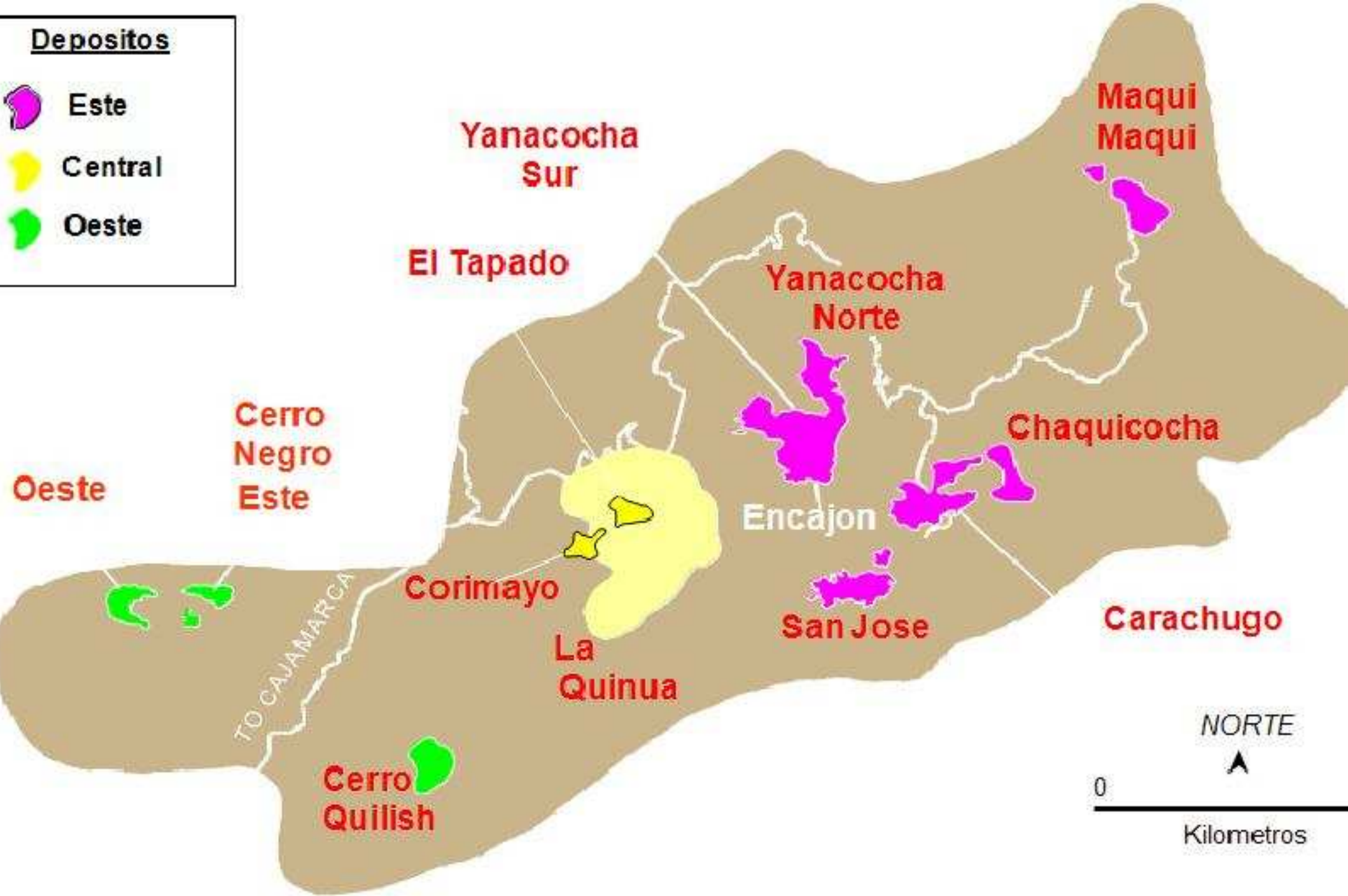
Dataciones de isótopos de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en alunitas hipógenas asociados con la mineralización del distrito de Yanacocha son consistentemente de 13.55 a 8.45 Ma (Longo, 2002; Turner, 1997). Las edades de los principales depósitos en el área están mostradas en la siguiente tabla.

Yacimiento	Tipo	Metodo	Mineral	Edad (Ma)
Cerro Corona	Pórfido Cu-Au	K-Ar	Biotita	13.35 \pm 0.27
Chailhuagon	Pórfido Cu-Au	K-Ar	Biotita/hornblenda	23.2 \pm 2.1
Mishacocha	Pórfido Cu-Au	K-Ar	Biotita/hornblenda	20.8 \pm 1.9
Michiquillay	Pórfido Cu	K-Ar	Biotita	20.6 \pm 0.6
Hualgayoc	Polimetálico-mantos	K-Ar	Muscovita	13.48 \pm 0.19
Hualgayoc	Alteración sericítica en Cerro Jesús	K-Ar	Muscovita	10.29 \pm 0.20
Tantahuatay	Alta sulfuración	K-Ar	Alunita	12.4 \pm 0.4
Yanacocha	Alta sulfuración	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	Alunita	13.55 \pm 0.15
		$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	Alunita	8.45 \pm 0.09
		K-Ar	Alunita	10.9

Tabla.01. Edad radiométrica de los principales yacimientos y prospectos en el área (Longo, 2002).

Depositos

-  Este
-  Central
-  Oeste



NORTE

0

Kilometros

Capítulo 3: Litología

3.1 Introducción

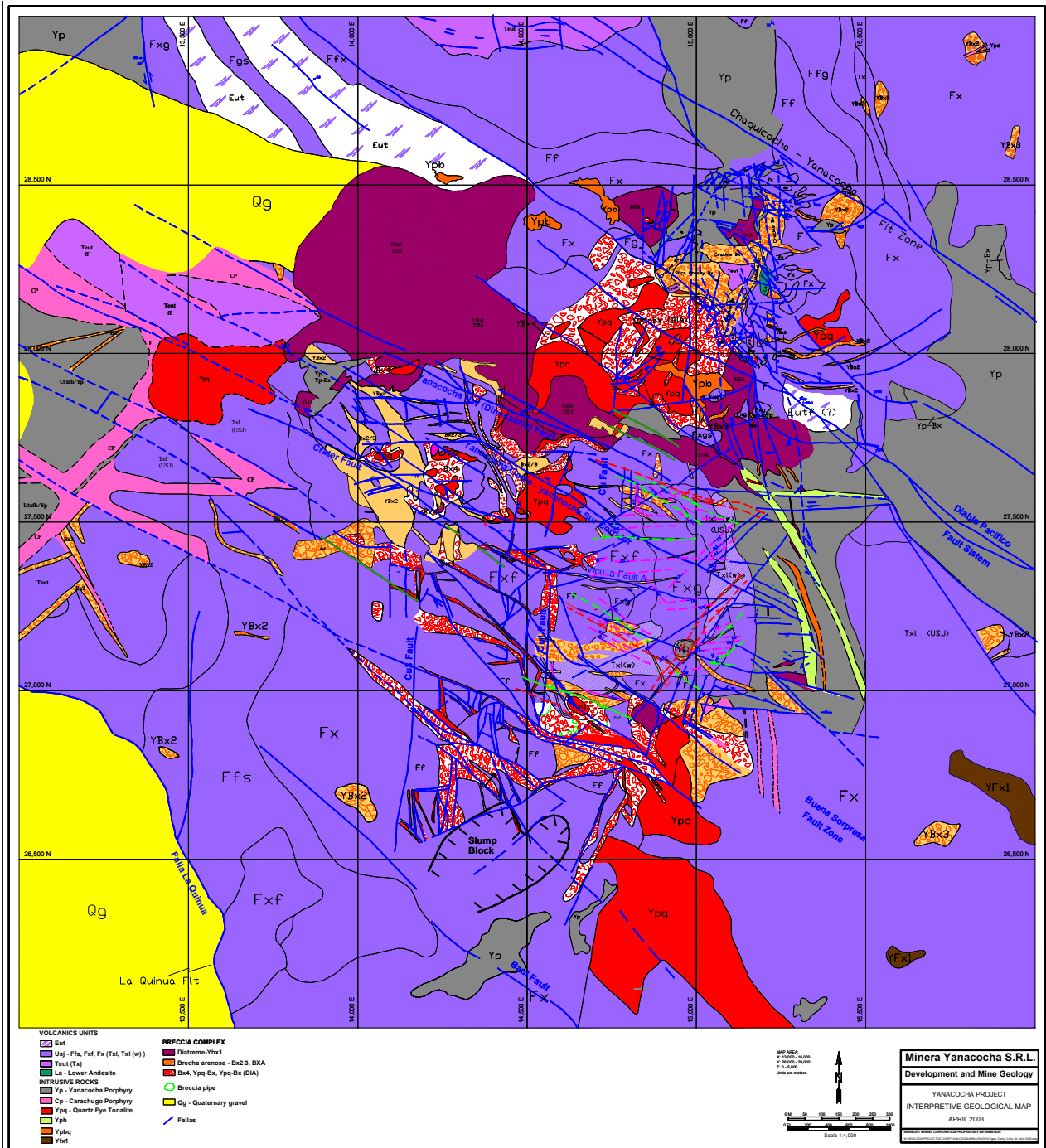
La secuencia volcánica en esta área consiste de rocas piroclásticas y derrames lávicos de composición andesítica a dacítica. Esta secuencia volcánica se encuentra intruida por diferentes tipos de brechas e intrusivos de composición similar a la pila volcánica (Fig.07). La nomenclatura litológica de este informe es usada por los geólogos de Yanacocha y se muestran en el apéndice I.

3.2 Rocas Volcánicas

El Cerro Yanacocha está dominado por secuencias piroclásticas, la cual consiste de la unidad Eutaxítica Transicional (Teut) y la unidad San Jose (Usj). Estas unidades se muestran en la columna estratigráfica generalizada (Fig.04).

La unidad Eutaxítica Transicional es rica en cristales de plagioclasas corroídos o rotos, biotita, hornblenda y localmente contiene líticos, cuarzo principalmente (Foto.02). El mayor espesor de esta unidad alcanza los 250m de profundidad.

La unidad San Jose es una secuencia de tobas andesíticas, localmente con abundantes clastos previamente alterados. La unidad San Jose está compuesta de cuarzo microgranular fino a grueso, de hasta 500um y agregados de sílice masiva (Foto.04). El cuarzo fino a grueso constituye la masa fundamental de la roca. Los granos grandes de cuarzo y los moldes de minerales opacos en algunos casos muestran formas tabulares (moldes de fenocristales) y hexagonales. La sílice masiva es escasa, se encuentran formando agregados de 60 a 500um de formas toscamente tabulares, trapezoidales y triangulares, que constituyen los moldes de los fenocristales y de los fragmentos líticos. Los fragmentos líticos de diámetros centimétricos son heterolíticos y están alterados a sílice masiva y sílice vuggy. Esta unidad sobreyace a la unidad Eutaxítica Transicional y aflora en todo el depósito, alcanzando espesores de hasta 300m de profundidad, que se muestran en la sección 26800 (Fig.08).



Actualizado por el área de Geología Mina, 2003

Fig.07. Mapa geológico del Cerro Yanacocha y alrededores (en tamaño A3 al final de la tesis)

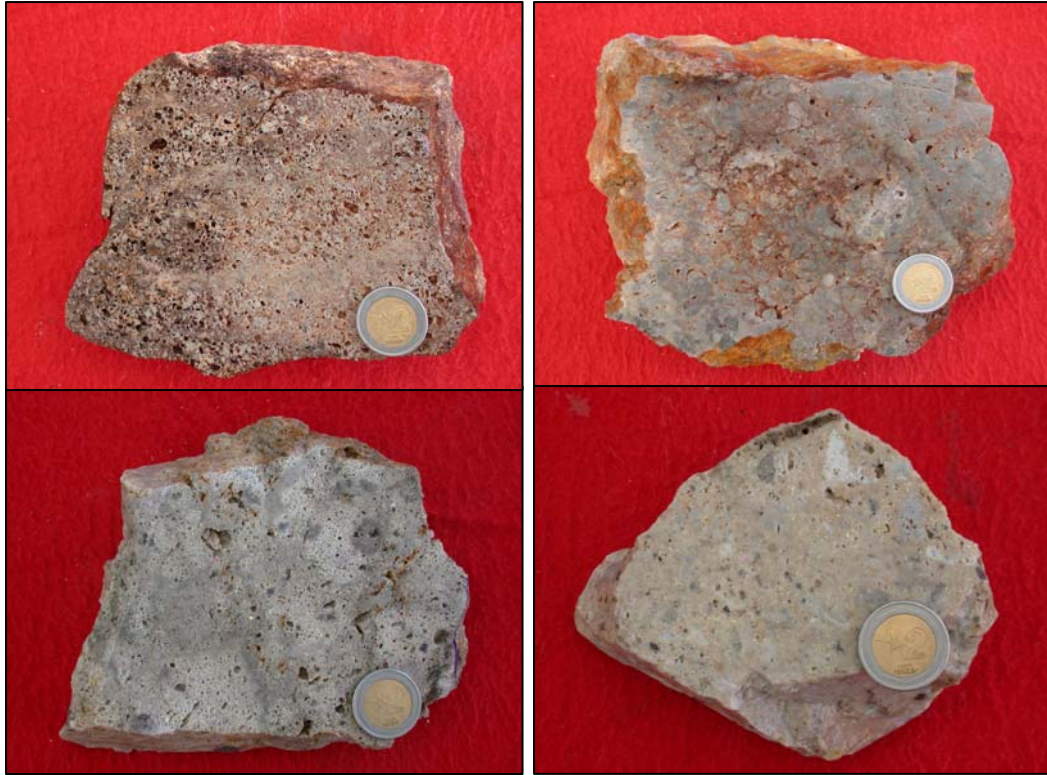


Foto.02. Tufo de cristales, alterado a sílice vuggy (superior izquierda) y alterado a sílice masiva micro fracturada (superior derecha). Tufos líticos, fragmentos silicificados (fotos inferiores).



Foto.03. Baritina en cristales gruesos formando parte de la matriz de la brecha freática (Izquierda). Baritina en finos cristales con hematita relleno de fracturas (derecha).

3.3 Rocas porfíricas

De acuerdo a la tabla de clasificación de texturas de origen magmático mostradas en el apéndice, las rocas en el Cerro Yanacocha son de carácter porfíricas, entre ellas tenemos al Yp, Cp y Ypq.

A continuación se describen las rocas que están aflorando en todo el Cerro Yanacocha, y de importancia por estar relacionados con la mineralización aurífera.

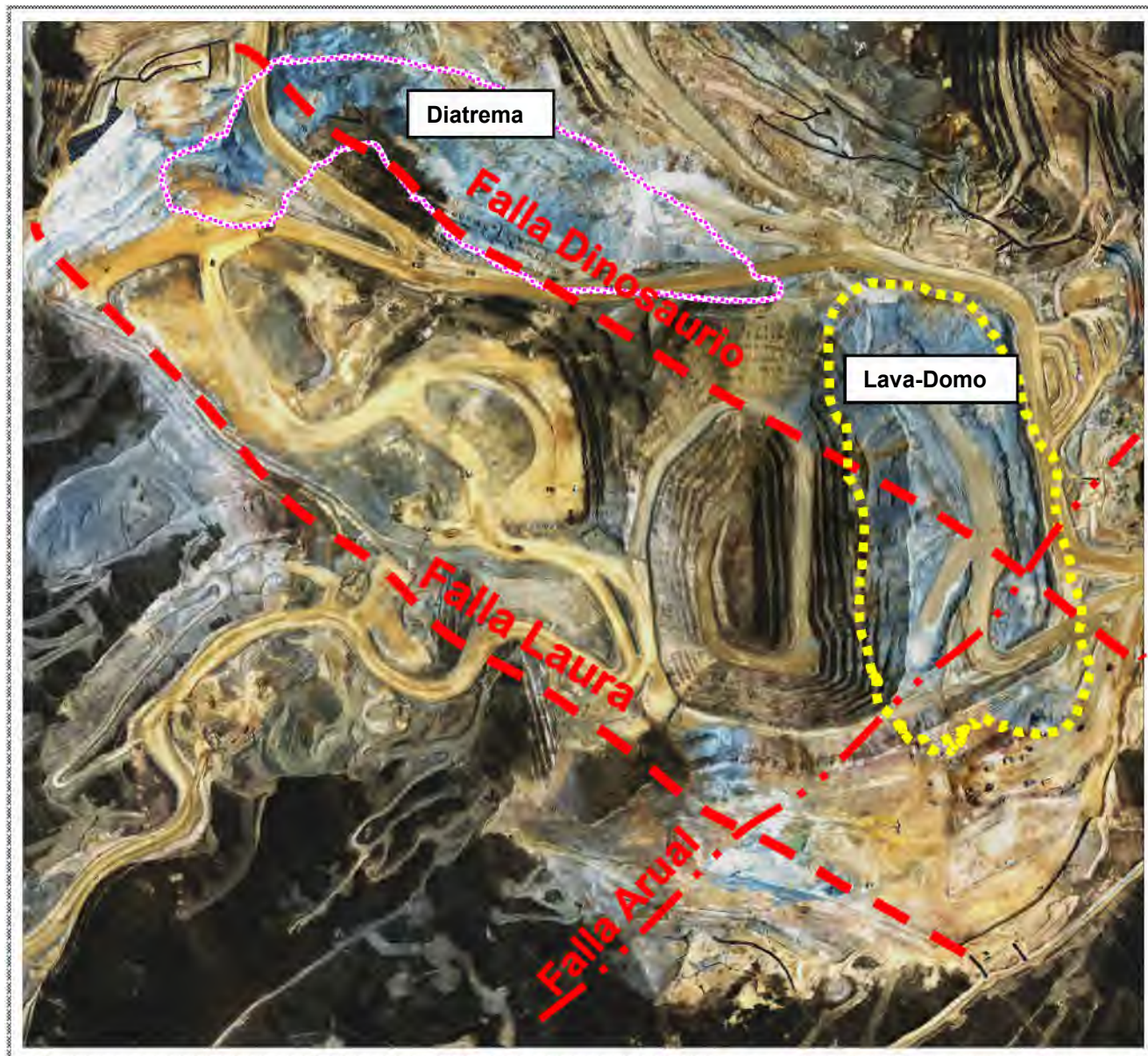
3.3.1 Pórfidos andesíticos

El porfírico de Yanacocha (Yp) es de composición andesítica de grano grueso, generalmente porfírica con un 25% de fenocristales de plagioclasas y hornblendas (Loayza, 2002) (Foto.07). La matriz es afanítica compuesta de feldespatos, cuarzo, arcillas (halloysita, esmectita) y ocasionalmente mica blanca y biotita. El cuarzo constituye menos del 1% de la roca. Entre los minerales accesorios se han identificado apatito, rutilo, leucóxeno y zircon. La fase metálica consiste principalmente de magnetita y en menor proporción pirita.

Este pórfido andesítico ocurre como un flujo de lava-domo con un interior porfírico y con evidencias de foliación de flujo en las margenes (Loayza, 2002). Este domo tendría sus raíces en Yanacocha Norte, extendiéndose en dirección NNW de norte a sur hacia el Cerro Encajon (Foto.06). Además se tiene stocks y diques de grano más finos conocidos como el porfírico Carachugo (Cp), que afloran principalmente en el Cerro Encajon. Estos diques se observan en las secciones 26800 y N20E (Fig.08-09).

3.3.2 Pórfidos dacíticos

Es una roca porfírica de composición dacítica denominada Ypq, contiene fenocristales que consisten de abundantes plagioclasas subhedrales a euhedrales, cuarzo y en menor proporción biotitas y anfíboles. Los fenocristales de cuarzo son muy distintivos (1-20%) y el rango de tamaños es de 0.5 a 0.3mm; estos típicamente tienen los bordes corroídos (Foto.08). La matriz consiste de cuarzo microgranular, plagioclasas y en menor proporción feldespatos alcalinos y minerales máficos. La matriz fina de plagioclasas algunas veces está alterada completamente a sericita+illita. Los fenocristales de biotita, algunos de ellos son reemplazados por cloritas. Entre los minerales accesorios se han identificado apatito, rutilo y zircón. La pirita es el sulfuro



0m 300m
Escala Gráfica

Foto.06 . Foto aérea del Cerro Yanacocha (2004)

predominante y ocurre generalmente como granos diseminados anhedrales a subhedrales.

Los otros sulfuros son la covelita y la enargita que ocurren como granos anhedrales muy raros en la matriz y además como grupos irregulares. La covelita esta asociado con la pirita fina, ocasionalmente hospedado en la fase de máficos alterados (Loayza, 2002).

El Ypq ocurre en forma de diques subverticales, registrándose varios centros de intrusión en el Cerro Yanacocha (Foto.08).



Foto.07. Rocas andesíticas porfíricas. Yp de grano grueso propilítico (superior e inferior izquierda) y argílico (superior derecho). Cp de grano fino con pirita finamente diseminada alterado a argílico.



Foto.08. Rocas dacíticas, característico por los ojos de cuarzo. Roca alterada a sílice-alunita (izquierda) y sílice-alunita gradando a sílice vuggy (derecha).

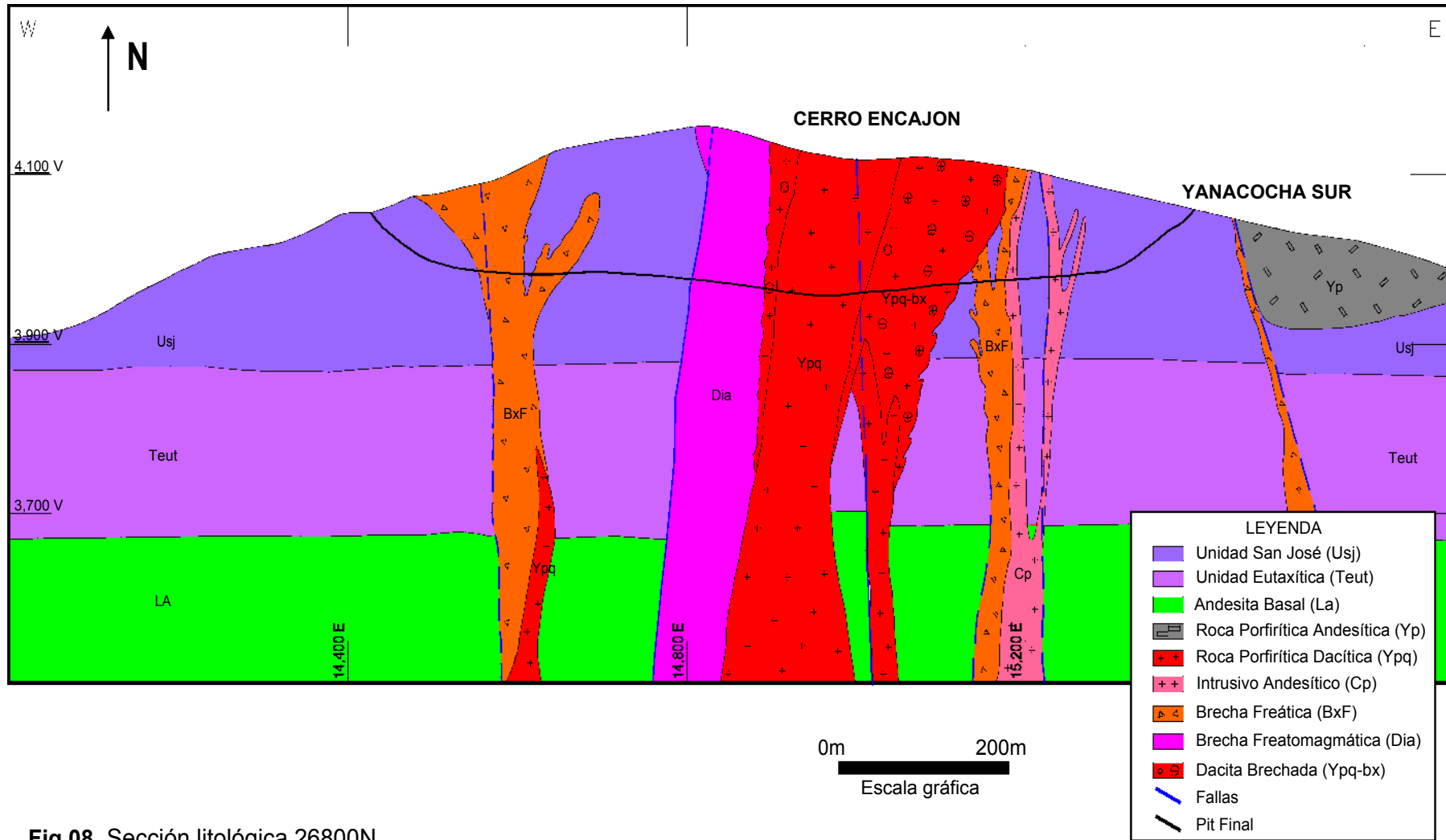


Fig.08. Sección litológica 26800N

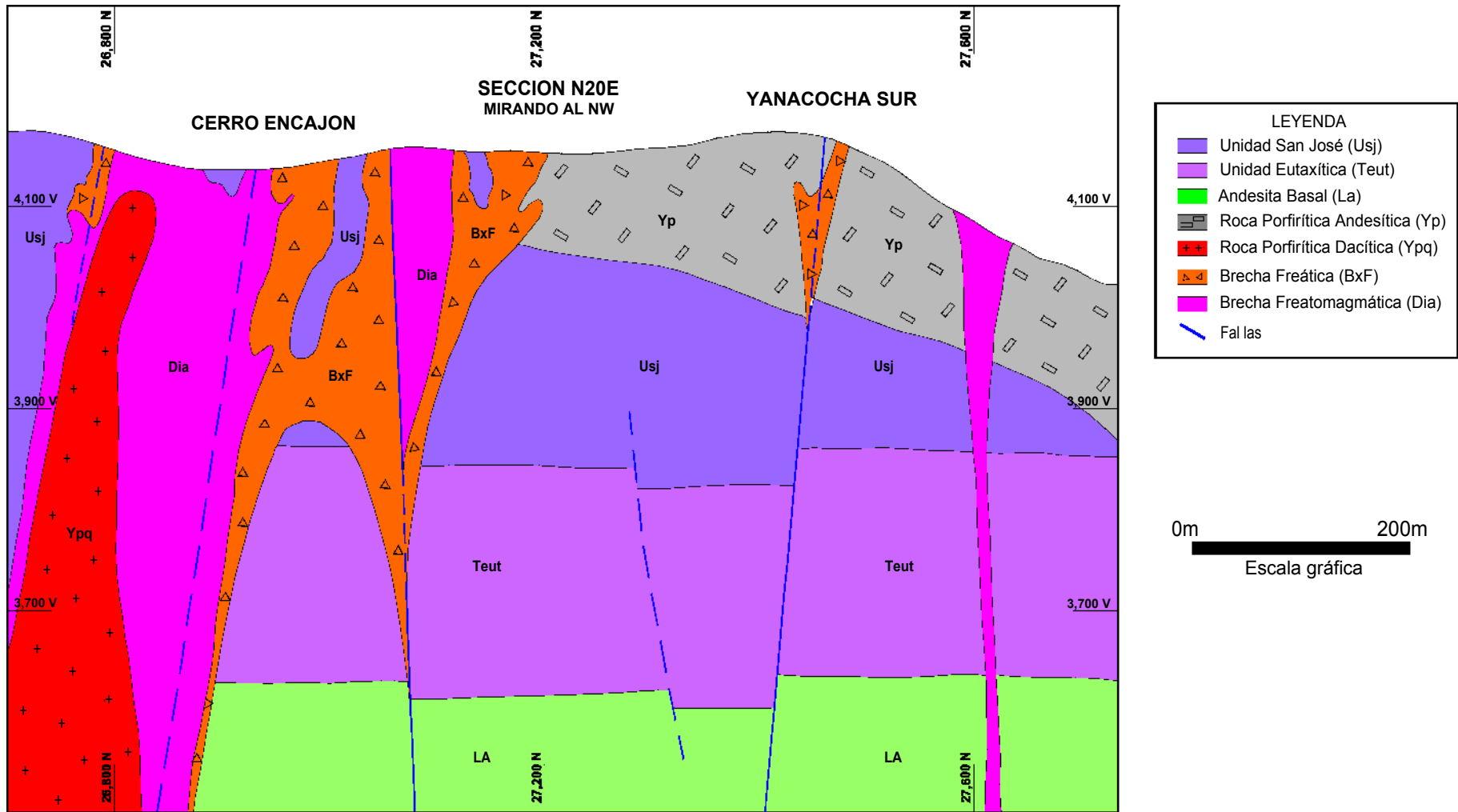


Fig.09. Sección litológica N20E

3.4 Brechas

3.4.1 Brechas primarias

Este tipo de brecha se encontró en Yanacocha Sur y Cerro Encajon, pero como no es materia de estudio, solo mencionaré sus características.

Estas brechas se forman en el contacto de los intrusivos con las rocas encajonantes (autobrecha tipo intrusivo), también en los bordes del lava-domo. El tamaño de los fragmentos es variado, así tenemos que los más grandes llegan a medir hasta 2m de diámetro y los más pequeños menores a 2cm.

3.4.2 Brechas freáticas

Brecha 2-3.- Esta compuesta por fragmentos angulosos a subangulosos con diferentes grados de silicificación, desde sílice masiva a sílice vuggy.

La matriz está constituida por sílice microgranular de grano fino a grueso y líticas muy finas (Foto.09). La matriz y las cavidades son rellenadas principalmente por limonitas, y en menor proporción alunita, baritina y escorodita (Foto.03).

Estas brechas en su mayoría son monolíticas y en menor proporción heterolíticas, y ocurren frecuentemente como canales, diques y cuerpos irregulares.

3.4.3 Brechas freatomagmáticas

Brecha 1 (Dia).- La brecha 1 esta compuesta por fragmentos heterolíticos (volcánicos, intrusivos y brechas) con diferentes grados de alteración desde sílice masiva, sílice vuggy, sílice alunita a sílice arcillas. El tamaño de los fragmentos es variado (2mm hasta 1m de diametro) y son redondeados a subredondeados (Foto.11). Algunos fragmentos redondeados se encuentran alterados a sílice masiva pervasiva con pirita diseminada.

La matriz es heterolítica y esta compuesta por cuarzo microgranular, sílice amorfa, vidrio volcánico, pequeños líticas, arcillas y agregados de finísimos cristales prismáticos. Los fenocristales de plagioclasas y feldespatos alcalinos son reemplazados por sericita e illita. El rutilo y leucoxeno son reconocidos en la matriz siendo el tamaño menor a 2mm. La matriz representa el 50 a 90% del material muy fino por lo tal no permite la presencia de espacios abiertos.

La pirita es el sulfuro predominante, se presenta como cristales submilimétricos variables entre 3 a 12mm; se encuentra diseminado y en vetillas como granos cúbicos y romboedricos, anhedrales a subhedrales. Los otros sulfuros son la covelita y la enargita, y en menor proporción la calcocita, brocantita y galena.

En el Cerro Yanacocha se tiene un cuerpo principal de brecha diatrema, cuya extensión es aproximadamente 1000 m x 400 m (Foto.06).

Ypq-Bx.- Esta brecha está compuesta por fragmentos heterolíticos (intrusivos, volcánicos, brechas y cuarcitas inclusive). La matriz consiste de finos cristales de plagioclasas rotas y enteras y/o cuarzo microgranular intercrecido principalmente con alunita y en menor proporción con pirofilita y diáspora (Foto.05). Los fragmentos de Ypq son frecuentemente alterados a argilico avanzado (SA), y en algunos casos a sílice *vuggy* (Foto.12).

En Yanacocha Oeste y Cerro Encajon se encuentra distribuida espacialmente en los bordes o cercanos al intrusivo dacítico (Fig.10).

Pebble dikes.- Los diques clásticos están compuestos de fragmentos heterolíticos redondeados en una matriz sílice granular con finos fragmentos líticos. Se caracterizan por presentar fragmentos del Yp, Ypq y cuarcitas del basamento. El diámetro de los fragmentos redondeados es menor a 20cm. Algunos fragmentos contienen geodas de cuarzo con calcopirita (Loayza, 2002). Además pueden contener molibdenita. Los espesores de los diques son en promedio menores a 1m.

En Yanacocha Sur los *Pebble dikes* cortan la secuencia piroclástica de tufos líticos y tufos de cristales, y están orientados en la dirección E-W y ENE.

3.4.4 Brechas hidrotermales

Las brechas hidrotermales se componen de fragmentos heterolíticos (mm a cm), con diferentes intensidades de alteración desde sílice masiva, sílice vuggy, sílice alunita a sílice granular (Foto.10).

La matriz es variada, y esta constituida principalmente por sílice microgranular con abundantes limonitas con capas de jarosita, alunita, sílice y sulfuros. La sílice y los sulfuros se encuentran como cemento en la matriz, presentando texturas de fluidización.

Los óxidos presentes son la goetita de hábito botroidal y pulverulenta. La jarosita se presenta pulverulenta y a los bordes de la goetita (Foto.13).

La pirita es el sulfuro predominante, y se encuentra masiva y disseminada. La sílice esta presente desde hialina, calcedónica, blanquesina, grisácea a cremosa.

La sílice crema está relacionada en algunos casos con la mineralización de oro.

Las cavidades o espacios vacíos son rellenados en algunos casos por cristales de baritina o drusas de cuarzo.

Estas brechas ocurren en todo el Cerro Yanacocha como canales, diques y cuerpos regulares.

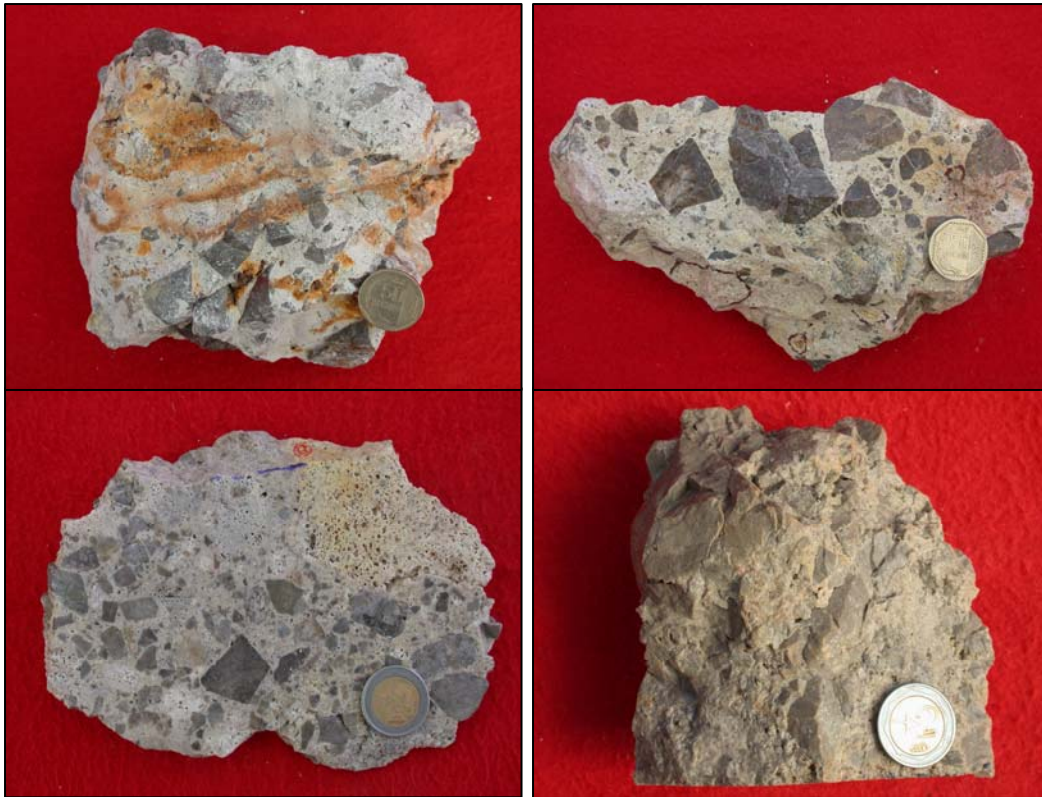


Foto.09. Brechas freáticas características del Cerro Yanacocha. Fragmentos angulosos y matriz de sílice granular.

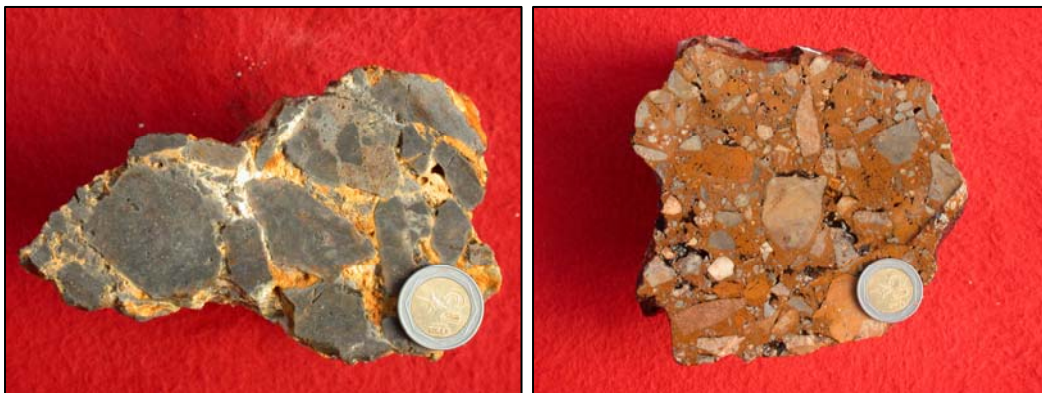


Foto.10. Brechas hidrotermales características del Cerro Yanacocha. Fragmentos subangulosos a subredondeados. Matriz sílice-alunita (izquierda) y sílice-óxidos (derecha).



Foto.11. Brechas freatomagmáticas, características del Cerro Yanacocha. Matriz de cristales y fragmentos redondeados y heterolíticos (porfíricos y volcánicos)



Foto.12. Ypq-Bx, característicos del Cerro Encajon. Matriz de cristales y fragmentos porfíricos (Ypq principalmente) alterados a sílice-alunita.

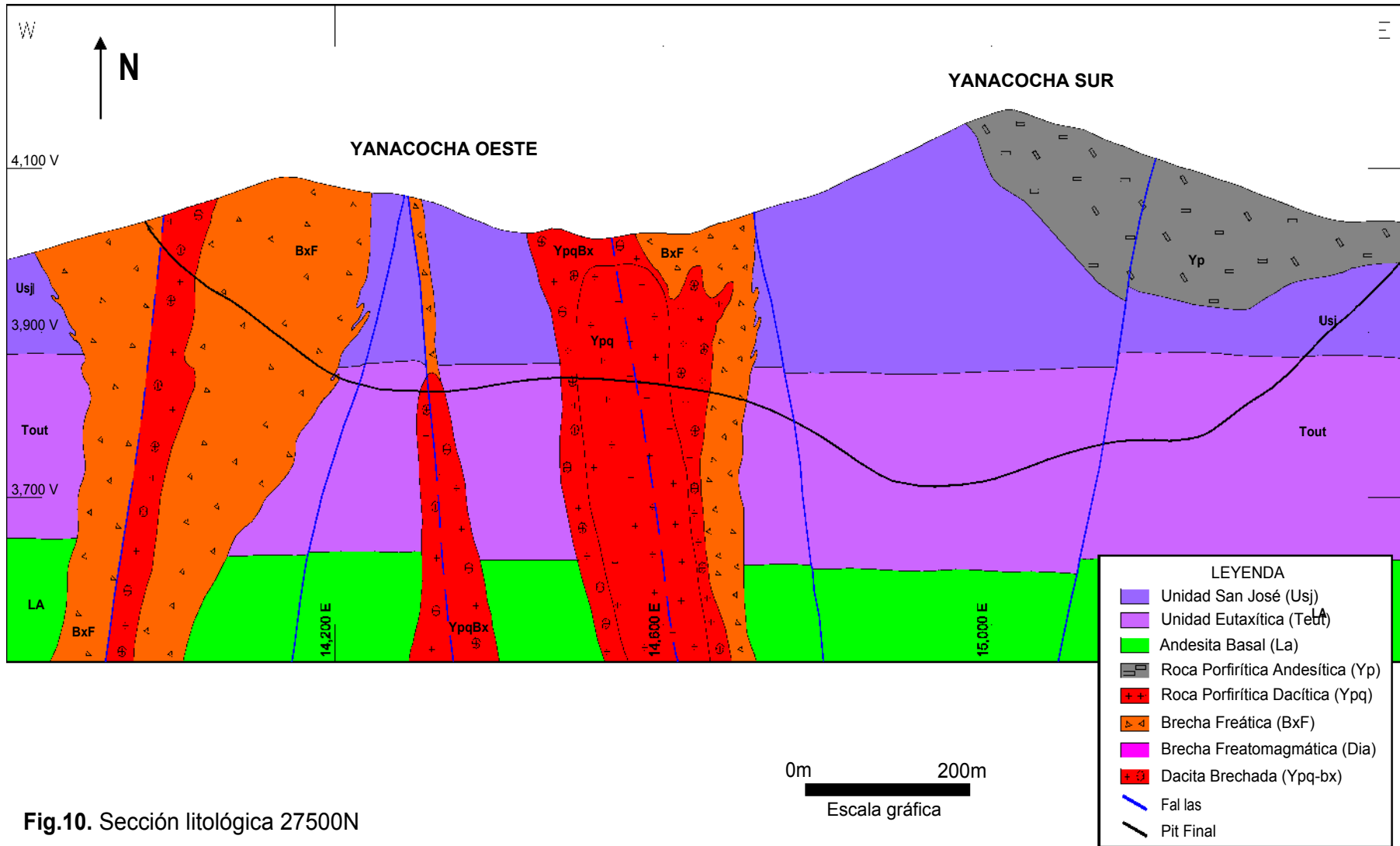


Fig.10. Sección litológica 27500N

Capítulo 4: Alteración

4.1 Introducción

Los ensambles de alteración son típicos de un depósito de alta sulfuración con un núcleo silíceo que gradúa hacia los bordes a un ensamble argílico avanzado, argílico y propilítico en la parte más externa.

Para la definición microscópica del tipo de silicificación se han tenido en cuenta los siguientes límites granulométricos:

Cuarzo micro granular grueso.-	Tamaño de grano mayor a 150 μm
Cuarzo micro granular medio.-	Tamaño de grano variable entre 80 y 150 μm
Cuarzo micro granular fino.-	Tamaño de grano variable entre 30 y 80 μm
Sílice masiva-	Tamaño de grano variable entre 10 y 30 μm
Sílice amorfa.-	Material mayormente isótropa de tamaño de grano menor a 10 μm

4.2 Silicificación

La silicificación es el más importante tipo de alteración en el área y hospeda la principal mineralización de oro y plata. La silicificación está constituida esencialmente por sílice masiva y en menor proporción por sílice *vuggy* y sílice granular (Fig.11).

Sílice masiva, consiste de un cuarzo microcristalino muy denso, entre 10-30 μm de tamaño. Está extensivamente desarrollado en Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste, formando grandes masas subhorizontales de hasta 400m de espesor, por tal constituye la principal parte del depósito. La sílice masiva está relacionada con la mineralización aurífera temprana.

Sílice vuggy, consiste de cuarzo de grano fino con cavidades o moldes de fenocristales que varían desde 1mm a 1cm. Ocurre principalmente en los niveles intermedios en Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste.

Esta alteración provee de importante permeabilidad secundaria para la mineralización tardía.

Sílice granular, consiste de cuarzo remanente friable, poco compactada y de textura sacaroide, producido por fluidos ácidos. Ocurre en los niveles superiores en Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste, y está restringida a los tufos líticos blancos y brechas freáticas tardías. Turner (1997), determinó a través de XRD que la sílice granular consiste de cuarzo - α y cristobalita.

4.3 Ensamble argílico avanzado

El ensamble argílico avanzado es caracterizado por la presencia de alunita caolinita, dickita y pirofilita.

En el área de estudio se presentan dos ensambles: Un ensamble cuarzo-alunita-(pirofilita-caolinita) y un ensamble cuarzo-arcillas (pirofilita, dickita, caolinita) con subordinada cantidad de alunita.

El ensamble de cuarzo-alunita-(pirofilita-caolinita) ocurre extensivamente en el Cerro Encajón. La alunita ocurre remplazando fenocristales, en moldes de cristales y rellenando fracturas que es acompañada por caolinita y pirofilita. La alunita además ocurre como parches en una textura localmente conocida como sílice-alunita *patchy* y puede rellenar fracturas en sílice masiva y en sílice masiva-alunita (Foto.14). Las venillas de alunita-pirofilita-sulfuros ocurren en niveles profundos, cortando los eventos de mineralización temprana (Loayza, 2002).

El ensamble de cuarzo-arcillas está bien desarrollado en la diatrema que se extiende en la parte norte de Yanacocha Oeste y Yanacocha Sur. Este ensamble es caracterizado por la presencia de cuarzo, caolinita, dickita y pirofilita. Los minerales arcillosos típicamente reemplazan fenocristales y la matriz de la diatrema, llegando a ser reconocidos bajo el microscopio, con la ayuda del PIMA y análisis de XRD.

Según Loayza, a niveles profundos la pirofilita ocurre en venillas acompañada de diáspora, menor alunita, zunyita y sulfuros (enargita, piritita y covelita). La diáspora, la cual ocurre en venillas, además rellena espacios abiertos, usualmente es superior a 0.4mm de tamaño y exhibe cristales subhedrales a euhedrales bajo el microscopio. La zunyita ocurre como cristales euhedrales y rellena espacios abiertos.

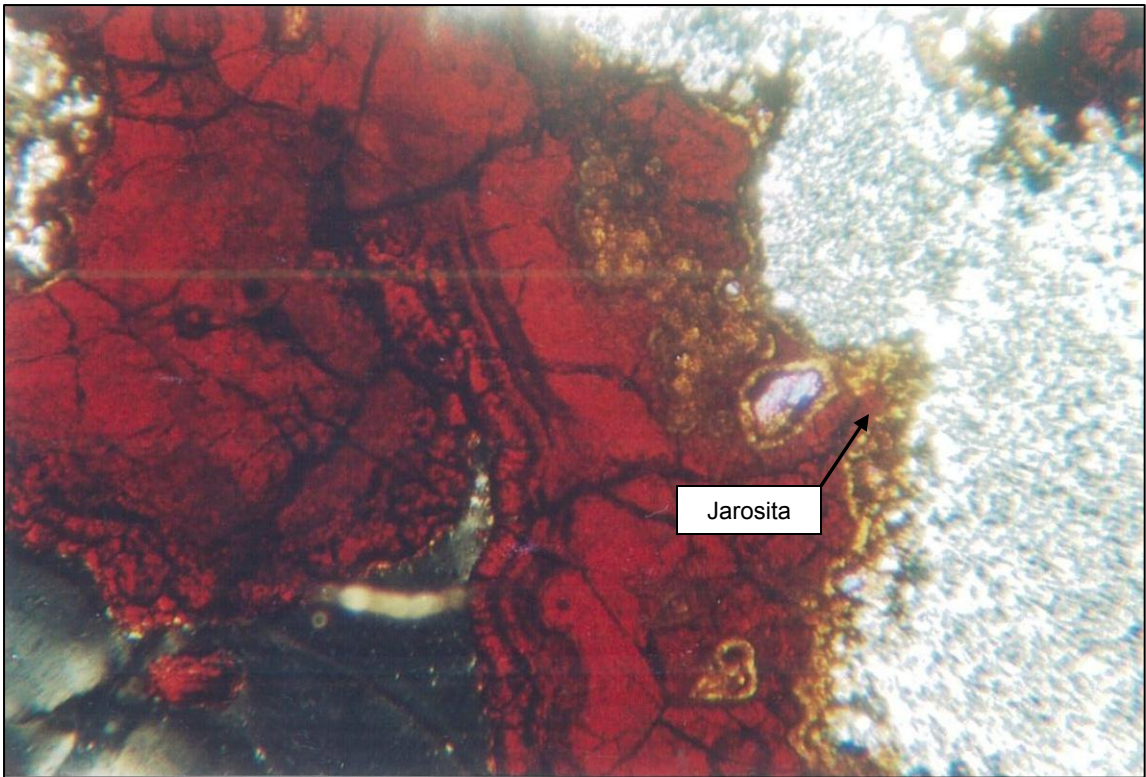


Foto.13. Limonita de hábito botroidal relleno los espacios vacíos entre clastos de sílice amorfa (lado derecho). Sobre la sílice amorfa se observa una delgada capa de jarosita (amarillo).

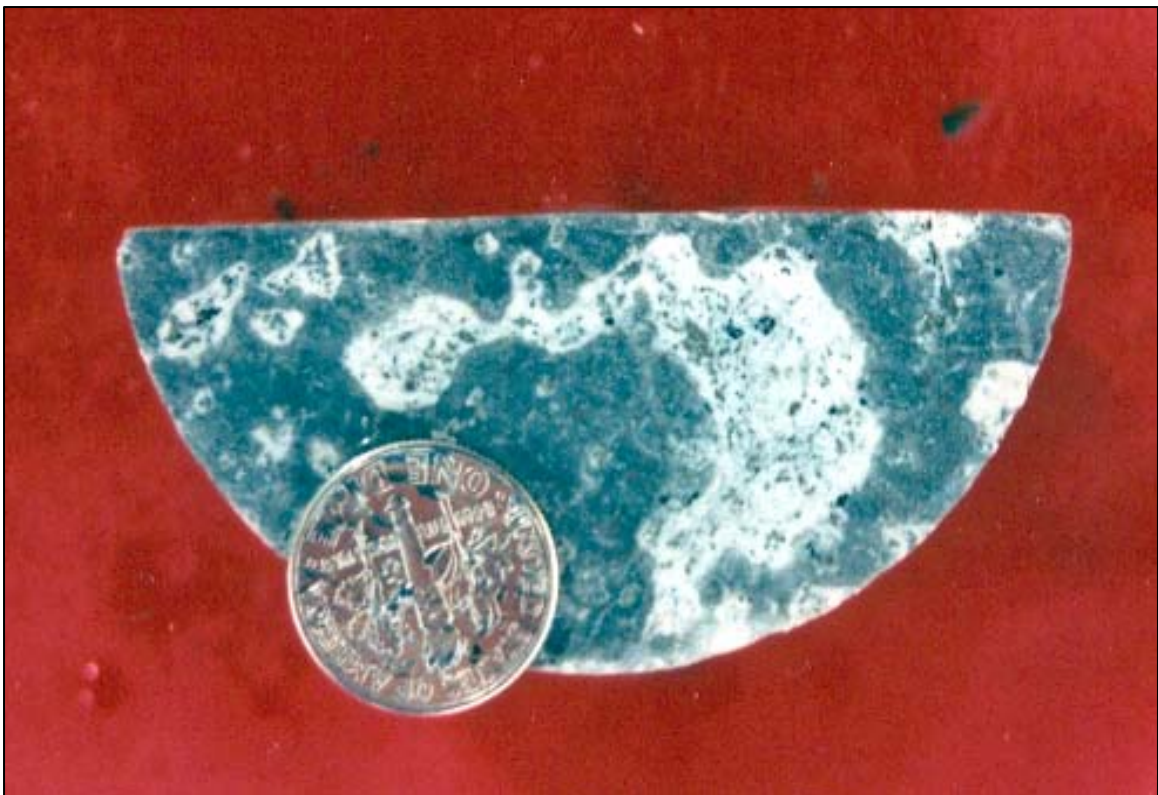


Foto.14. Textura *sílice-alunita-Patchy*

4.4 Ensamble argílico

El ensamble argílico consiste principalmente de montmorillonita e illita con cantidades subordinadas de caolinita. Típicamente el ensamble argílico contiene pirita diseminada y en venillas. Turner (1997), reconoció la presencia de illita-smectita en el ensamble argílico.

Este ensamble es periférico a la mineralización de oro en el sistema de alta sulfuración y es usualmente asociado a las rocas porfíricas de composición andesítica, y en menor proporción a las brechas freatomagmáticas de tipo 1.

4.5 Ensamble propilítico

La alteración propilítica esta compuesta por la clorita, actinolita y epidota. Granos finos de clorita reemplazan a los minerales máficos tales como la biotita, los anfíboles y piroxenos.

Los carbonatos usualmente reemplazan fenocristales y ocurren como venillas. Este ensamble ocurre principalmente en el pórfido andesítico Yp, y es casi ausente en el Cerro Yanacocha.

4.6 Oxidación supergena

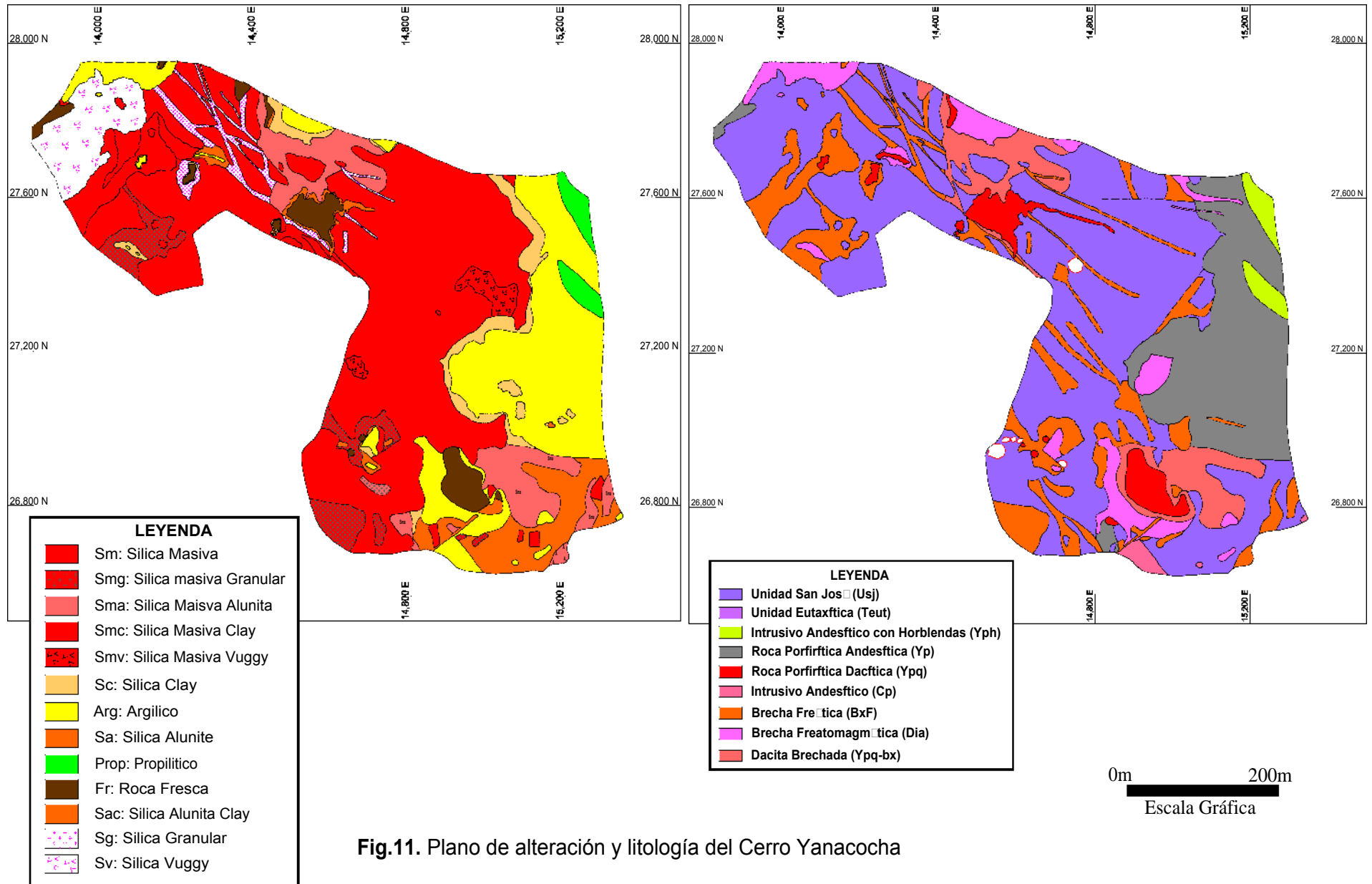
Los principales óxidos e hidróxidos de fierro presentes en la zona de oxidación son la goetita, limonita y hematita. Su abundancia es probablemente debido a la distribución de sulfuros pre-existentes en la zona. Comúnmente la goetita botroidal esta relleno de fracturas y espacios vacios en la matriz de las brechas hidrotermales.

La limonita y goetita son las más abundantes en la zona de sílice-óxidos pero decrece en la zona de argilico avanzado.

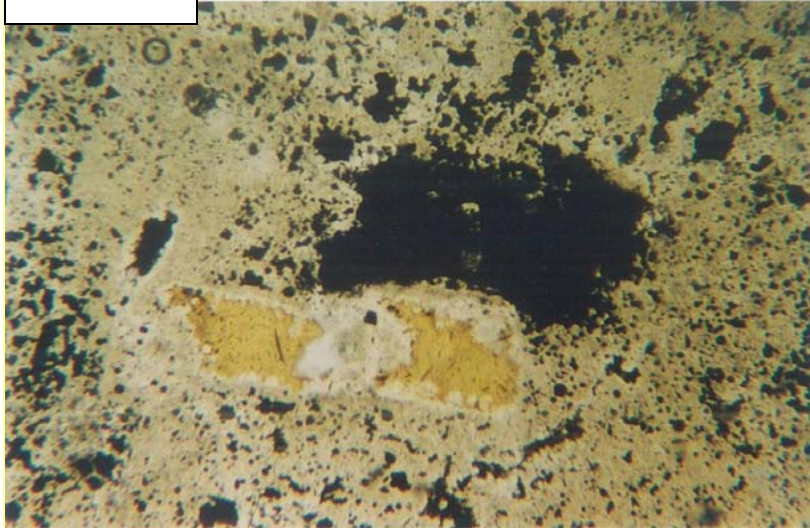
Los sulfatos son comunes en la zona de óxidos, entre ellas tenemos jarosita y baritina. Bajo el microscopio, la jarosita de color amarillento se encuentra muy asociada a la limonita y goetita de hábito botroidal y se presenta en forma de capas (Foto.13).

En el Cerro Yanacocha, la baritina se encuentra distribuida en finísimos cristales tabulares en la matriz de las brechas freáticas, brechas hidrotermales y en las fracturas, y en menor proporción como venillas asociados a hematita (Foto.03).

Otros minerales como la escorodita ocurren en la zona de óxidos.



Nicoles: //



Nicoles: X

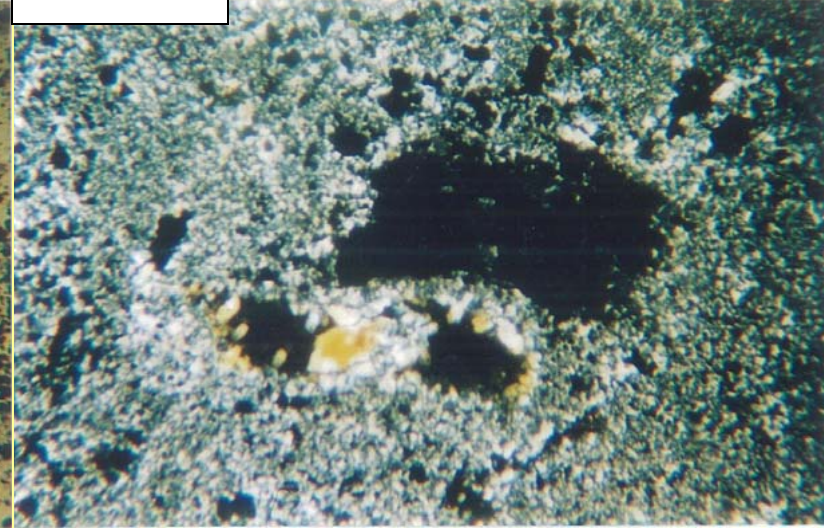


Foto.04. Roca fuertemente silicificada. En la masa fundamental se observan agregados de sílice masiva y agregados de sílice micro granular ricos en diseminaciones de pirita. En la parte central se observa un grano de pirita y en la parte inferior central una oquedad con cristales de cuarzo prismático en sus paredes.

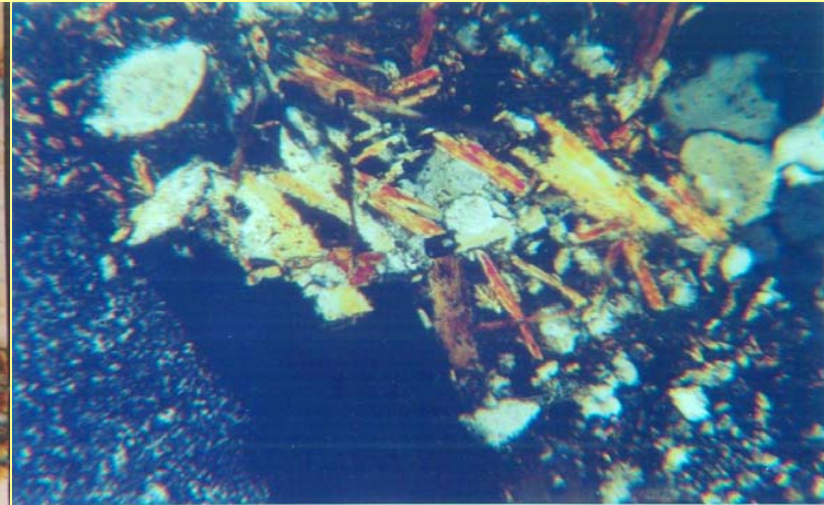
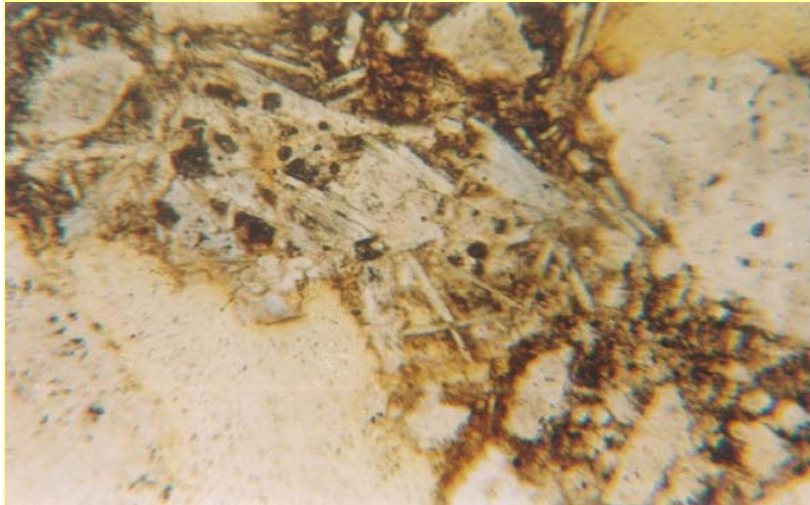


Foto.05. Fragmento subanguloso de sílice masiva (izquierda abajo) y matriz de cuarzo-alunita-arcillas.

Capítulo 5: Mineralización

5.1 Introducción

Diferentes estadios de mineralización han sido reconocidos en el Cerro Yanacocha. Entre los más importantes se incluyen: **Estadio 1**, evento de oro de baja ley, **Estadio 2**, el principal estadio de oro - (cobre), **Estadio 3**, evento tardío de oro de alta ley (oro grueso), **Estadio 4**, evento tardío de cobre - (oro) y **Estadio 5**, evento tardío de carbonatos - sulfuros.

5.2 Eventos de mineralización

Estadio 1, este evento es caracterizado por una silicificación pervasiva, contemporáneamente con la deposición de pirita fina diseminada y oro de baja ley menores a 0.2 ppm (Harvey, 1999).

A niveles profundos este estadio incluye el desarrollo de textura "patchy" (Fig. 12 a y b), gradando a "Wormy" vetillas de tipo A y algunas bandeadas sugieren una transición a un sistema pórfido de cobre - oro (Pinto, 2002). Datos de inclusiones fluidas obtenidas de las vetillas bandeadas y "wormy" muestran rangos de temperatura de 200 a 500 °C y salinidad alta sobre el 43% (Reynolds, 1999; Thompson, 2002; Loayza 2002).

Los sulfuros asociados con estas vetillas son calcopirita, pirita, enargita; y la alteración es usualmente argílica gradando a argílica avanzada (Loayza, 2002). Biotita secundaria de la alteración potásica en el prospecto de pórfido de cobre Kupfertal, usando Ar^{39}/Ar^{40} dio una edad de 10.72 ± 0.09 Ma (Longo).

Estadio 2, es el principal evento de oro, posterior a la silicificación pervasiva. La mineralización es caracterizada por la deposición de pirita fina, y en menor proporción enargita y covelita. Los sulfuros ocurren como diseminaciones, y rellenando fracturas y espacios vacíos (Fig.13 a). La deposición de los sulfuros es posterior al intenso proceso de silicificación y craquelamiento.

En la zona de óxidos este evento está caracterizado por la presencia de brechas hidrotermales con matriz sílice-óxidos (Fig. 12 c y d). El oro en esta zona ocurre como partículas sub-microscópicas asociadas a óxidos de hierro (Bersch, 1999; Turner, 1997).

Estadio 3, un evento de oro de alta ley (mayor a 1 ppm), es reconocido por la ocurrencia de oro grueso asociado con la baritina o con la sílice crema. En el Cerro Yanacocha el oro grueso no ha sido reconocido.

La sílice crema corta las rocas piroclásticas silicificadas, las brechas freáticas y ocurre como matriz en algunas brechas hidrotermales. La mineralización de este estadio ocurre especialmente en Chaquicocha Alta, El Tapado y Corimayo.

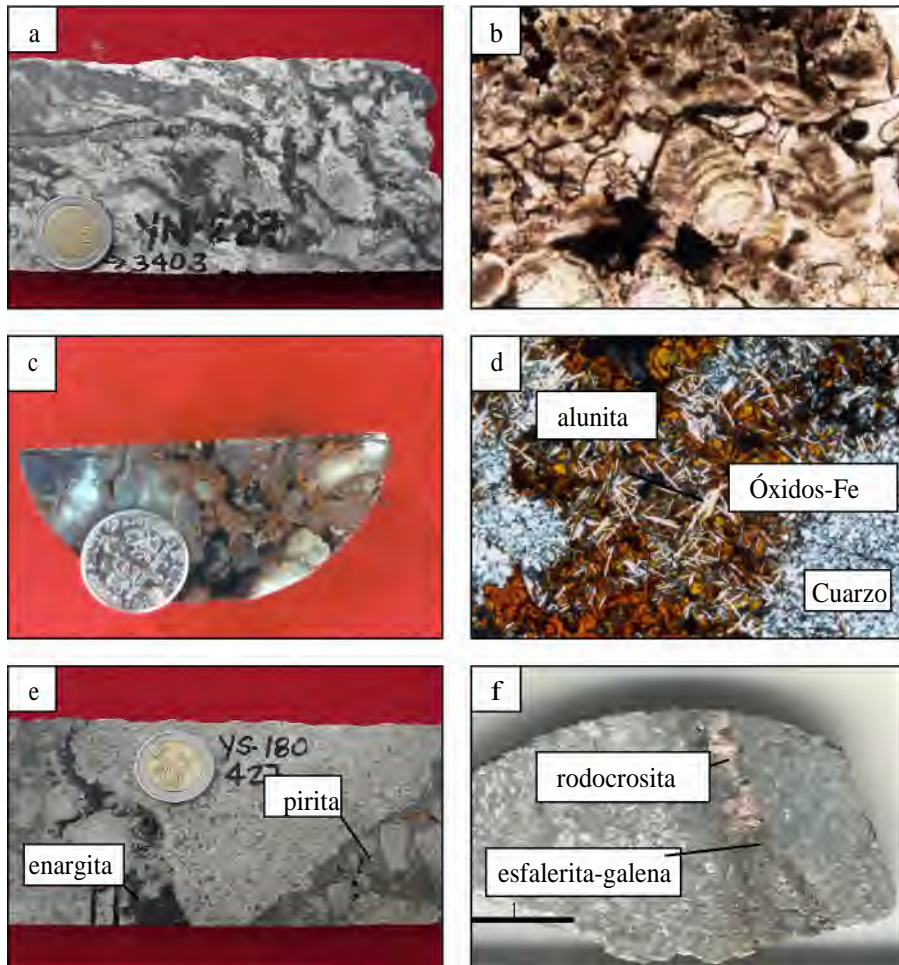
Estadio 4, este evento está asociado al intrusivo dacítico y las brechas freatomagmáticas, y ocurre principalmente en Cerro Encajon y Yanacocha Oeste. Es caracterizado por la presencia de enargita, covelita, calcosita y piritita (Fig.13 e).

Los sulfuros ocurren como diseminaciones, vetillas y como matriz en algunas brechas hidrotermales (Fig. 12 e, 13 c). El ensamble de alteración asociado con este evento es típicamente sílice-alunita en superficie usualmente asociado con mayores valores de oro, y pirofillita-diáspora-(zuniyita) a profundidad (Loayza, 2002).

La alunita relacionado a este estadio dió una edad radiométrica de 9.12 +/- 0.32 Ma (Longo).

Estadio 5, este evento fue reconocido por Carlos Loayza (2002), aparentemente es el más tardío, ocurre en Yanacocha Sur. La mineralogía de este evento está caracterizado por la presencia de rodocrosita y dolomita asociados con esfalerita, galena, jordanita y enargita (Fig. 12 f). La esfalerita ocurre usualmente como agregados masivos asociado con galena. Jordanita reemplaza a la galena en los bordes y puede ocurrir como vetillas. Este estadio esta marcando un proceso con fluidos de pH más neutral.

Los estadios de mineralización están representados en una sección idealizada del Cerro Yanacocha en la figura 14.



Fotos tomadas por: C.Loayza

Fig.12. - a) Vetilla "wormy" (Evento temprano de mineralización). b) Textura botroidal en vetilla bandeada (Evento temprano de mineralización). c) Brecha sílice-óxidos (Evento principal de oro). d) Fotomicrografía de brecha sílice-óxido, ancho de la foto 2.6mm. e) Brecha con matriz de enargita-pirita (Evento de Cu-Au). f) Vetilla carbonatos-sulfuros de la última etapa de mineralización.

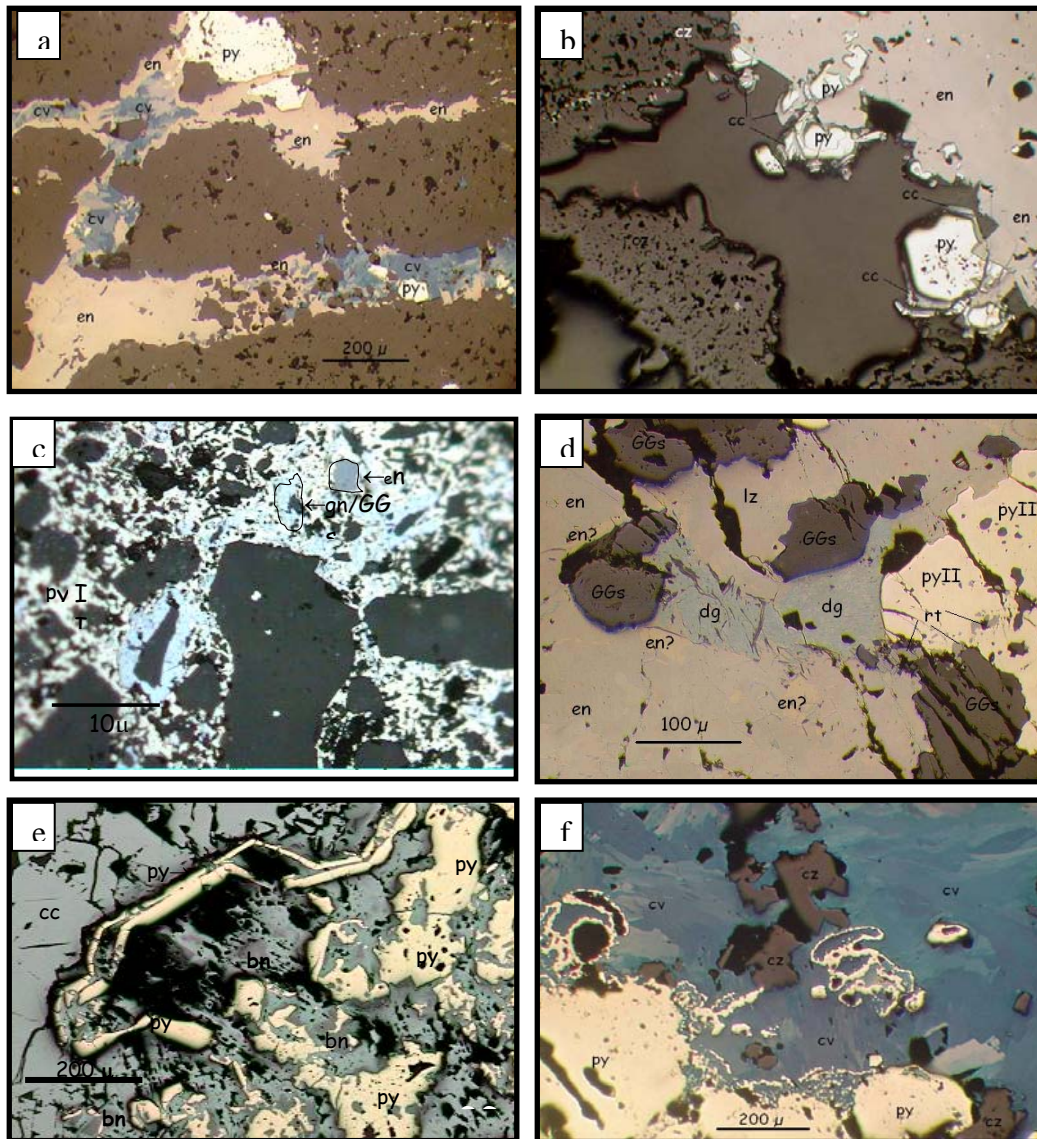
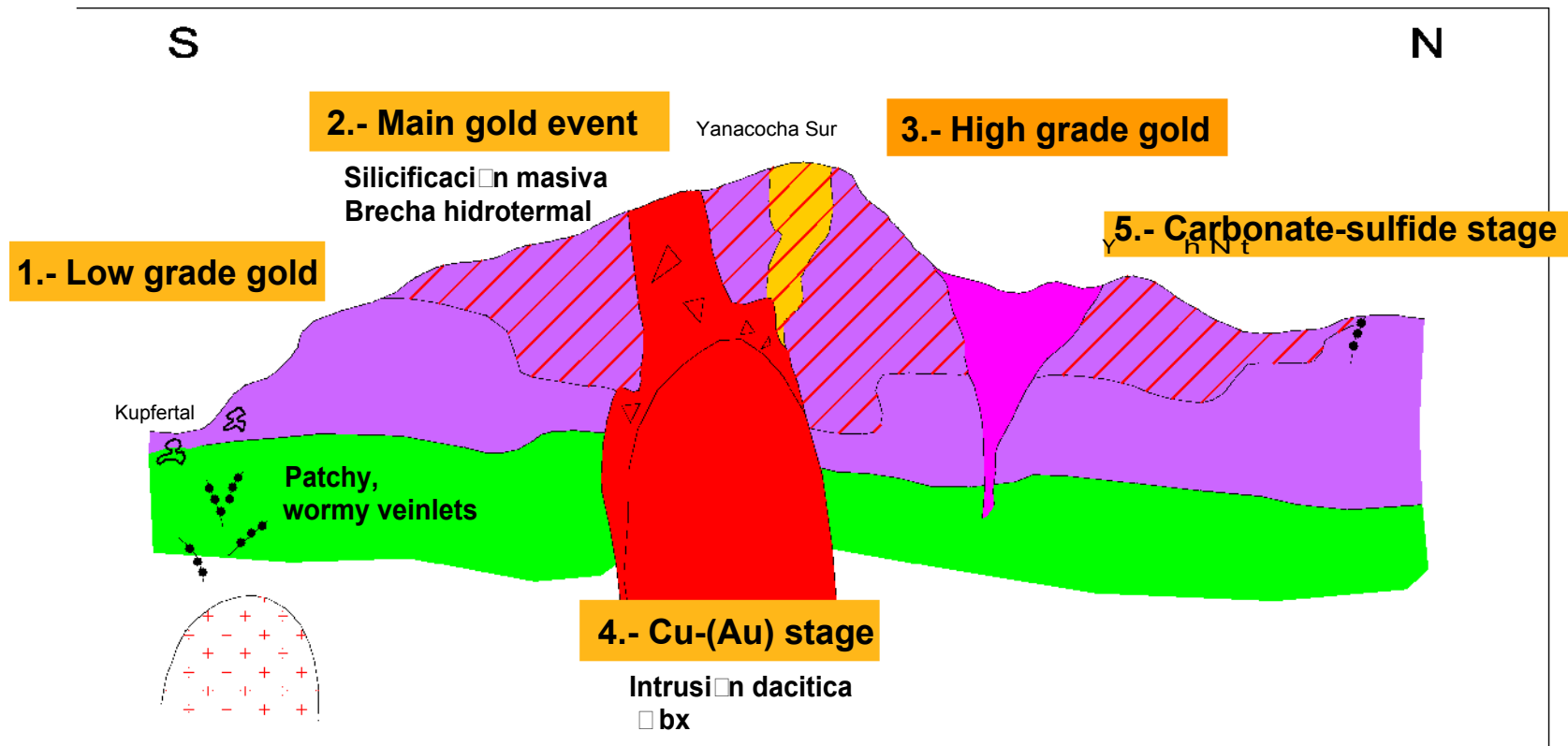


Fig.13. a) Pirita cortada por venillas de enargita. Covelita tardía reemplaza a la enargita. b) Gangas sucesivamente corroídas por pirita y enargita. c) Fragmentos de cuarzo, galena, pirita, galena/cuarzo, galena/acicular, ganga y enargita forman parte de la brecha. d) Gangas y rutilo corroído por la pirita, y esta a su vez corroída por el ensamble enargita-luzonita, que es reemplazada por digenita. e) Pirita con estructura bandeada esta siendo zonalmente reemplazada por bornita y después por calcocita. f) Cuarzo relicto corroído por pirita el cual es además corroído por covelita.



Interpretado por: C.Loayza

Corregido por: D.Merino

Fig.14. Estadios de mineralización en el Cerro Yanacocha

5.2 Secuencia paragenética

Mineral	Estadio 1 Oro baja ley	Estadio 2 Principal evento de oro	Estadio 3 Oro de alta ley (oro grueso)	Estadio 4 Cobre - oro	Estadio 5 Carbonatos - sulfuros	Oxidación supergena
Pirita	-----	████-----	-----	-----████		
Enargita	-----	-----		-----████		
Covelita	-----	-----	-----████	-----████		
Esfalerita		-----		-----	-----	
Galena		-----		-----	-----	
Calcosita	-----	-----	-----	-----		-----
Bornita				-----		
Luzonita				-----		
Oro	-----	-----	-----	-----		
Hematita	-----		-----			
Baritina		-----	-----	-----		
Alunita		-----	-----	-----		
Pirofilita				-----		
Diaspora				-----		
Dickita						
Rhodocrosita				-----		
Quarzo	-----	-----	-----	-----		
Zunyita			-----			
Fe-óxidos						-----
Jarosita						-----

Capítulo 6: Geoquímica

6.1 Introducción

El análisis geoquímico tuvo como objetivo identificar las anomalías geoquímicas y posibles controles de mineralización asociados al oro, plata y cobre.

Los muestreos geoquímicos de superficie fueron efectuados desde la fase inicial de exploración hasta los tomados por mi persona durante la fase de muestreo y mapeo. Estos trabajos consistieron en muestreos sistemáticos de canales, taludes, trincheras y líneas; además de un muestreo selectivo de fracturas, fallas, juntas, venillas y brechas.

6.2 Geoquímica de superficie

6.2.1 Análisis de Planos geoquímicos

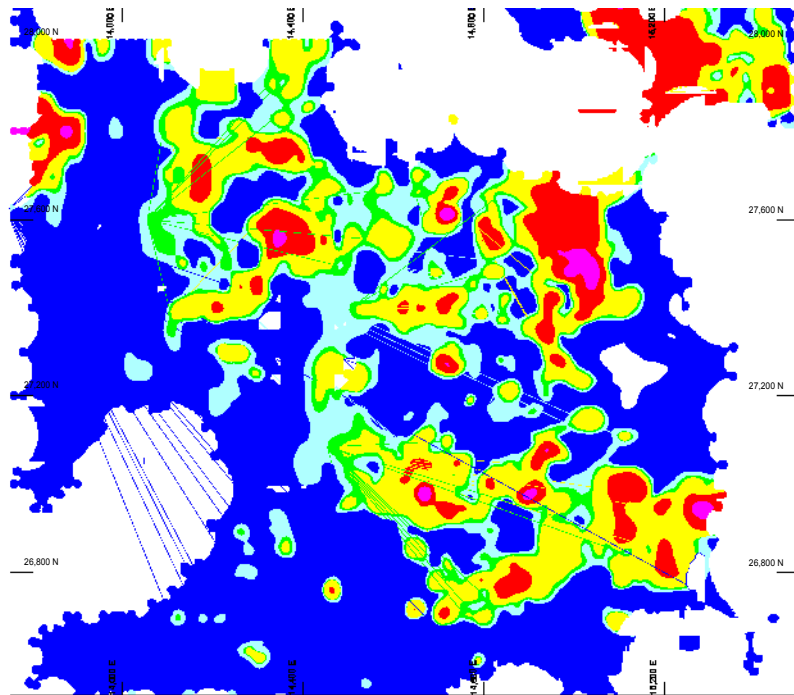
La elaboración de planos geoquímicos de isovalores fueron realizados con el software Map Info. Los datos geoquímicos usados en estos planos provienen de los trabajos realizados por los geólogos de Minera Yanacocha hasta el 2005. A continuación se describen las anomalías:

ORO (Au): Los valores por encima de 0.28 ppm. muestran una tendencia principal de dirección NW. También muestran dos zonas anómalas de tendencia EW y NE. Estas anomalías son definidas principalmente sobre la zona de alteración sílice masiva y bordes del domo y la diatrema (Fig.15).

PLATA (Ag): Existe una buena correlación con el oro en dirección NW y EW. Los valores son fuertemente anómalos en Yanacocha Oeste y Cerro Encajon, y están asociadas a los bordes de la diatrema y el intrusivo dacítico (Fig.16).

COBRE (Cu): La anomalía de cobre bordea a las zonas anómalas en oro en Yanacocha Oeste y Yanacocha Sur. En Cerro Encajon las anomalías se superponen con las zonas anómalas de plata y oro. La tendencia principal es de dirección NE con ligera tendencia al NW (Fig.17).

Geoquímica Sistemática de Au



Geoquímica Selectiva de Au

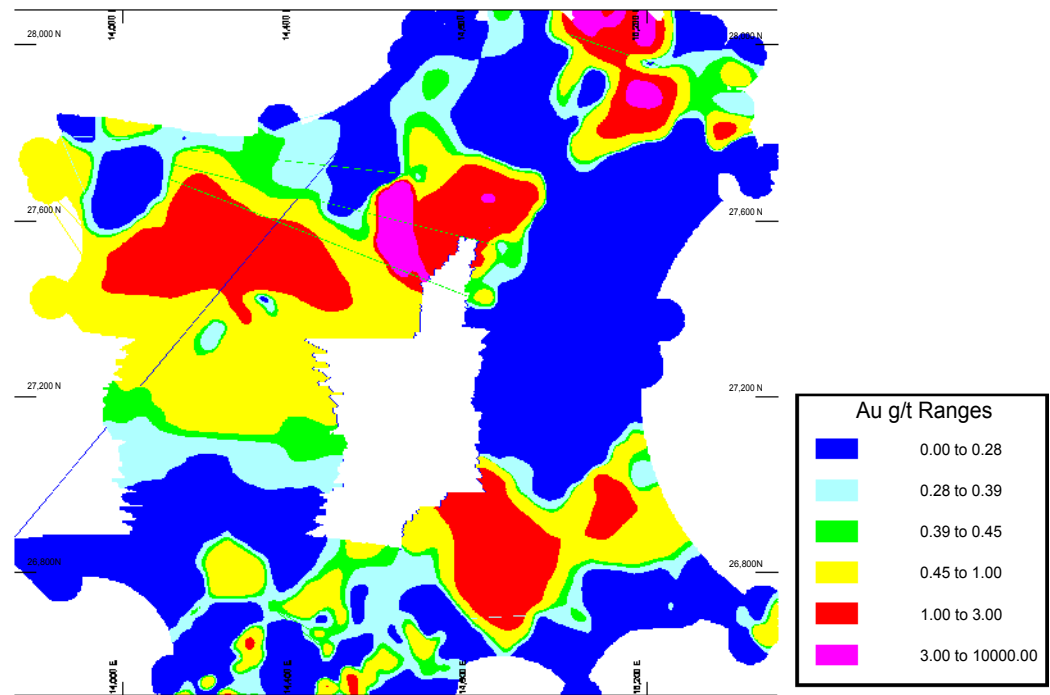
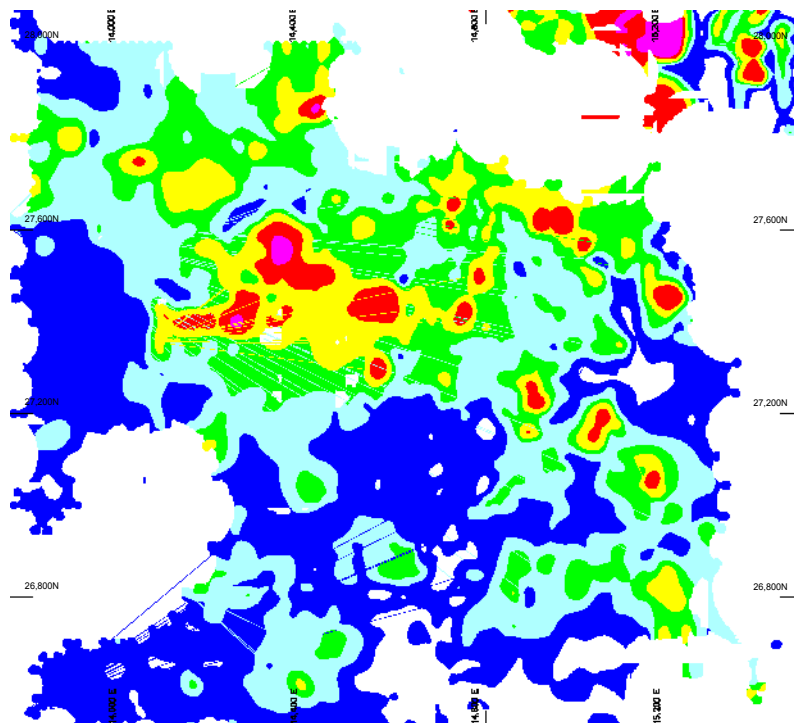


Fig.15. Planos geoquímicos de oro

Geoquímica Sistemática de Ag



Geoquímica Selectiva de Ag

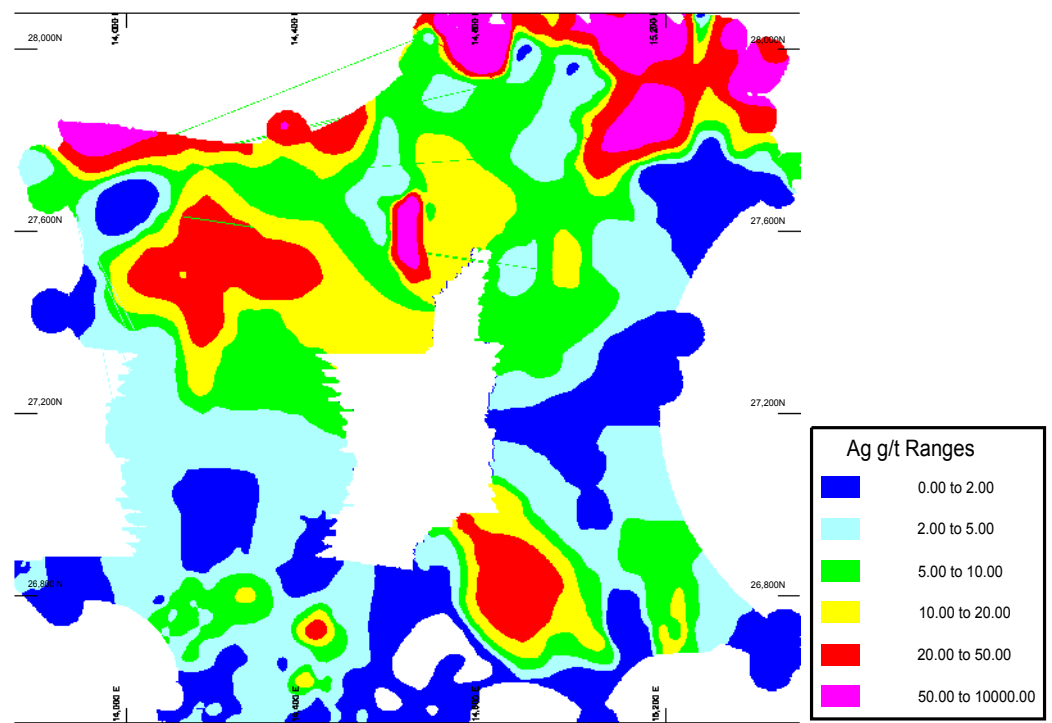
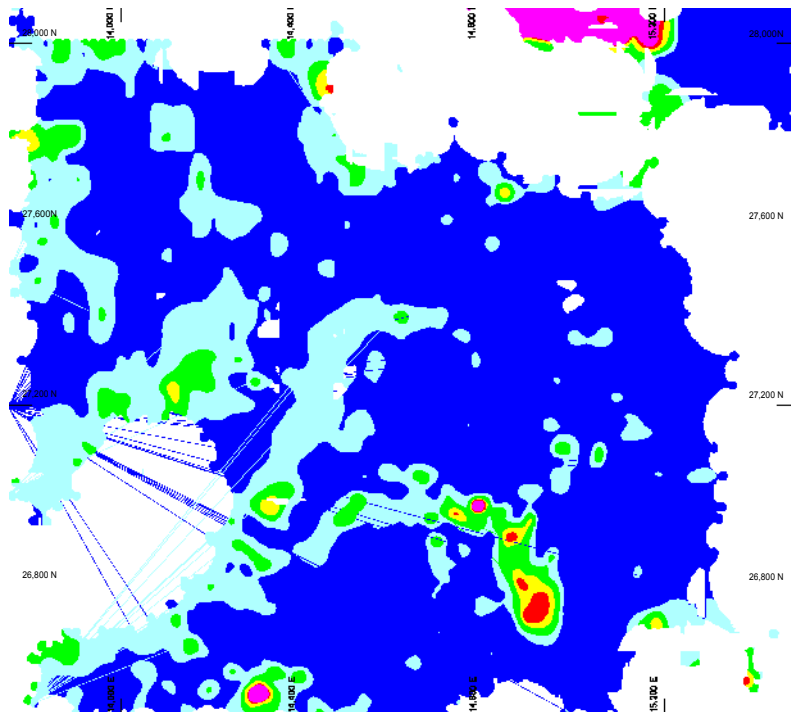


Fig.16. Planos geoquímicos de plata

Geoquímica Sistemática de Cu



Geoquímica Selectiva de Cu

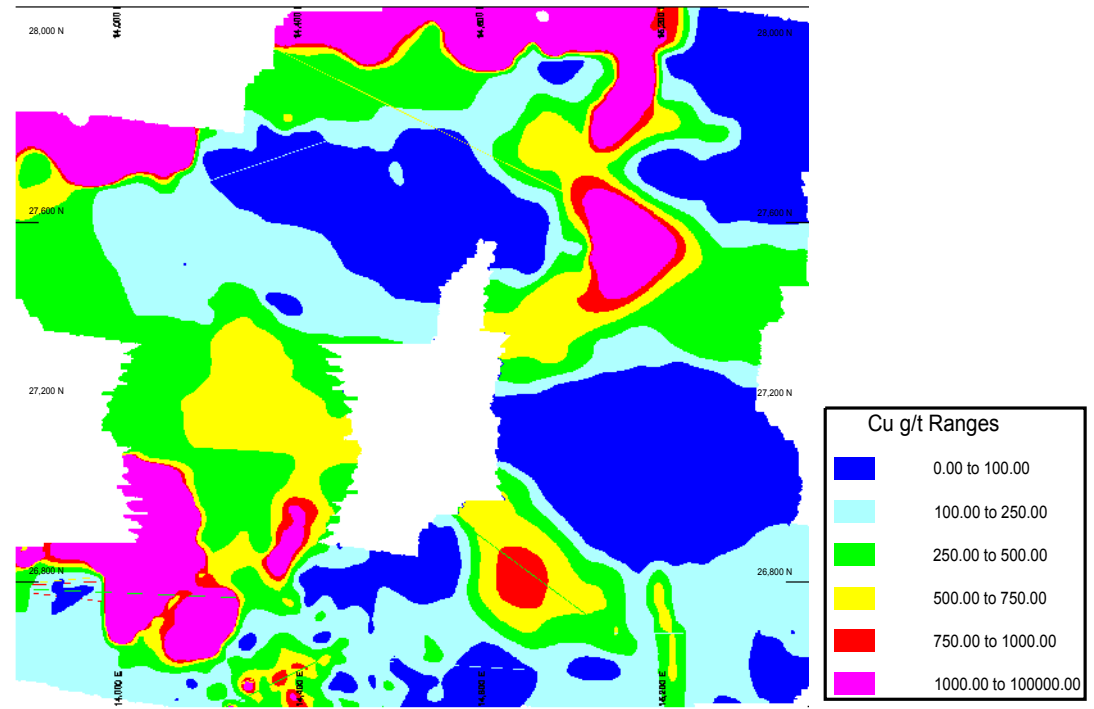


Fig.17. Planos geoquímicos de cobre

6.2.2 Análisis de muestras

En el Cerro Yanacocha durante la fase de mapeo, se realizó el muestreo sistemático de 132 muestras de estructuras tales como fracturas mineralizadas, fallas, diques de brechas freáticas, hidrotermales y freatomagmáticas, contactos y venillas; además se recolectó muestras de algunos pórfidos e intrusivos alterados y en el tufo lítico fracturado y oxidado.

Los análisis químicos de las muestras se observan en la siguiente tabla:

N°	BANCO	AU ppm	AG ppm	CU ppm	LITHOLOGY
1	4008	0.542	0.18	32.5	BXF
2	4008	0.240	0.73	31.8	BXF
3	4008	1.529	0.57	83.9	BXH
4	4008	1.648	1.93	31.0	USJ
5	4008	1.089	1.84	13.2	USJ
6	4008	1.684	2.34	36.5	USJ
7	4008	1.125	1.47	33.4	USJ
8	4008	0.992	0.97	70.5	USJ
9	4008	0.716	0.74	51.2	USJ
10	4008	0.861	0.79	16.4	BXH
11	4008	0.350	2.66	18.9	BXH
12	4008	1.021	0.52	26.7	BXH
13	4008	6.435	2.77	35.8	BXH
14	4008	1.657	2.82	34.0	BXH
15	4008	0.346	0.89	12.0	USJ
16	4008	0.350	0.41	55.2	USJ
17	4008	1.769	0.01	97.7	CTO
18	4008	3.363	0.01	86.9	CTO
19	4008	0.760	0.18	60.4	P
20	4008	0.343	0.02	57.7	P
21	4008	0.078	0.01	62.9	P
22	4008	0.325	0.01	51.3	BXF
23	4008	0.341	0.70	27.5	BXF
24	4008	0.565	0.02	37.4	BXF
25	4008	0.501	0.02	35.0	BXF
26	4008	0.695	2.40	25.5	BXF
27	4008	0.812	1.21	51.3	BXH
28	4024	0.482	1.98	53.3	USJ
29	4024	1.349	0.79	260	BXH
30	4024	1.160	2.35	177	BXF
31	4022	0.368	10.18	18.68	BXF
32	4022	0.624	25.44	48.43	BXF
33	4022	4.862	51.55	245.70	BXH
34	4022	0.446	1.87	30.86	BXF
35	4022	2.983	9.89	14.74	BXH
36	4022	0.196	3.12	16.91	BXFT
37	4022	0.188	3.51	106.00	BXFT
38	4022	3.257	5.36	43.04	BXH
39	4022	0.410	7.89	48.23	BXF
40	4022	0.467	6.37	50.73	BXF

N°	BANCO	AU ppm	AG ppm	CU ppm	LITHOLOGY
41	3952	0.517	5.81	363.10	BXFT
42	3952	0.403	27.64	462.70	BXF
43	3952	0.122	26.56	320.50	BXF
44	3992	0.274	-	-	CTO
45	3992	0.072	-	-	CTO
46	3992	0.255	-	-	BXFT
47	3992	0.298	-	-	CTO
48	4002	0.142	-	-	BXF
49	3982	0.115	2.07	57.8	P
50	3982	0.861	8.01	123	BXFT
51	3982	1.865	20.85	335	USJ
52	3982	1.605	8.42	95.6	BXH
53	4062	0.101	-	-	USJ
54	4062	0.289	-	-	BXH
55	4062	0.243	-	-	P
56	4062	0.446	-	-	BXH
57	4062	0.451	-	-	BXH
58	4062	1.431	-	-	BXH
59	3982	0.539	-	-	BXH
60	3982	0.512	-	-	BXFT
61	4062	19.050	17.3	576.0	BXH
62	4062	0.243	3.5	1600.0	P
63	3992	68.500	103.0	650.0	BXH
64	3992	5.890	165.8	425.0	BXH
65	3992	3.094	120.6	428.0	BXH
66	4012	0.550	-	-	CTO
67	4012	0.553	-	-	BXF
68	4012	0.387	-	-	BXH
69	4012	0.293	-	-	BXH
70	4012	0.534	-	-	BXH
71	4104	0.354	-	-	BXH
72	4104	0.209	-	-	BXF
73	4062	0.857	-	-	BXH
74	4062	0.596	-	-	BXFT
75	3982	0.467	-	-	BXF
76	3982	0.907	-	-	BXH
77	3982	9.320	-	-	BXH
78	3982	3.045	-	-	BXH
79	3982	0.543	-	-	BXF
80	3982	0.360	-	-	BXFT
81	4128	0.335	0.70	486.0	FALLA
82	4128	0.766	1.93	18.2	BXF
83	4128	0.181	0.80	9.7	BXFT
84	4128	0.550	0.70	9.6	V
85	4120	0.589	1.79	650.0	BXFT
86	4120	0.736	16.16	128.0	V
87	4120	0.726	18.03	113.0	V
88	4120	0.625	22.02	129.0	V
89	4052	0.581	-	-	BXF
90	4052	1.673	-	-	BXF
91	4052	0.413	-	-	USJ
92	4052	0.355	-	-	BXF
93	4052	0.222	-	-	BXF
94	4052	0.120	-	-	USJ

N°	BANCO	AU ppm	AG ppm	CU ppm	LITHOLOGY
95	4062	1.561	-	-	USJ
96	4062	0.110	-	-	P
97	4062	0.381	-	-	USJ
98	4062	0.325	-	-	USJ
99	4062	1.196	-	-	BXH
100	4062	0.263	-	-	P
101	4062	0.618	-	-	P
102	4062	3.172	-	-	BXH
103	4062	0.132	-	-	P
104	4052	0.107	-	-	USJ
105	4052	0.139	-	-	FALLA
106	4052	9.798	-	-	BXF
107	4052	0.760	-	-	BXF
108	4052	0.125	-	-	P
109	4052	1.777	-	-	BXFT
110	4052	0.384	-	-	BXF
111	4052	0.150	-	-	USJ
112	3982	3.284	-	-	FALLA
113	3982	4.026	-	-	FALLA
114	3982	2.321	-	-	FALLA
115	3982	0.246	-	-	USJ
116	3982	0.982	-	-	USJ
117	3982	1.201	-	-	USJ
118	3982	0.752	-	-	USJ
119	3982	1.644	-	-	USJ
120	3982	0.124	-	-	USJ
121	4062	1.087	-	-	BXFT
122	4062	0.657	-	-	BXFT
123	4062	0.348	-	-	P
124	4062	0.477	-	-	BXF
125	4062	0.290	-	-	BXF
126	3888	0.160	-	-	BXFT
127	3888	0.721	-	-	BXF
128	3888	0.229	-	-	USJ
129	3888	1.075	-	-	BXF
130	3888	0.468	-	-	USJ
131	3888	0.668	-	-	BXF
132	3888	2.579	-	-	USJ

6.2.2.1 Tratamiento estadístico de los resultados

Se han elaborado 3 cuadros estadísticos de oro, plata y cobre, donde se muestran las concentraciones de estos elementos asociados a estructuras y diferentes litologías. Las unidades están expresadas en ppm.

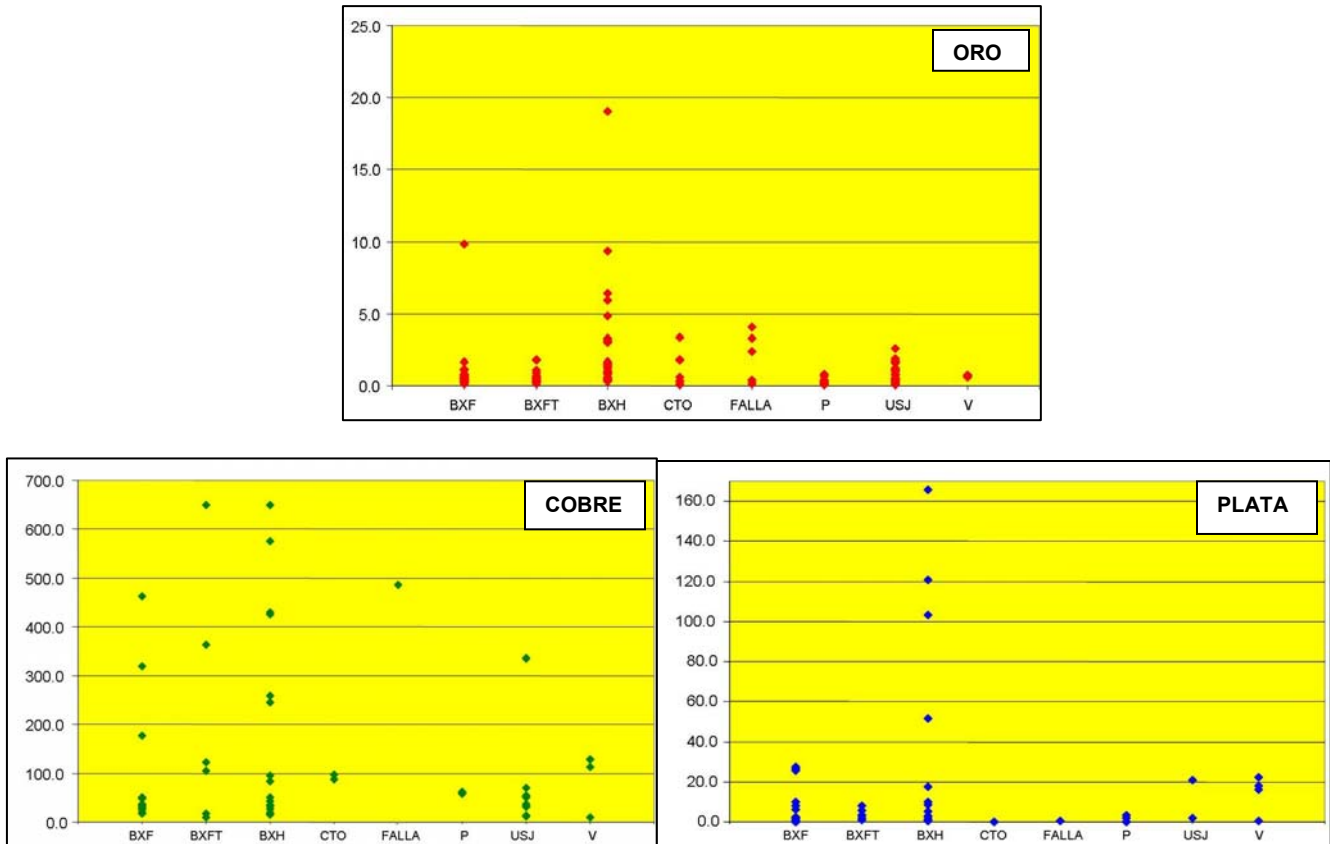


Fig.18. Cuadros estadísticos de muestras selectivas tomadas en los tajos del cerro Yanacocha

- La mayor concentración de oro, plata y cobre se presenta en las brechas hidrotermales sílice-óxidos.
- Las brechas freáticas oxidadas concentran valores moderados en oro y anómalos cobre. Au \square 0.5 \square 2.5 ppm > y Cu > 100 ppm.
- Las brechas freatomagmáticas con alteración argílico avanzado y trazas de óxidos concentran valores anómalos en cobre y moderados en oro. Cu > 100 ppm y Au \square 1 ppm.

- Los contactos de las brechas, intrusivos y domos con los tufos líticos concentran valores altos en oro. Au \square 0.5 \square 3 ppm. Estos contactos por lo general están oxidados.
- Las brechas de falla con panizo o *gouge* concentran valores altos en oro. Au \square 1 \square 5 ppm >.
- Las rocas porfíricas son ligeramente anómalos en oro, debido a que las muestras fueron tomadas en los bordes de estas rocas cuya alteración fué argílico avanzado. Se espera que en las rocas porfíricas los valores sean estériles.
- Los tufos líticos fracturados y rellenos de óxidos concentran valores altos en oro. Au \square 4 ppm.
- Las venillas de baritina con óxidos y trazas de escorodita concentran valores anómalos en cobre. Cu \square 100-150 ppm >.

Capítulo 7: Estudio estructural

7.1 Introducción

Las estructuras del basamento cretáceo en el distrito de Yanacocha son el resultado de la convergencia de placas, con esfuerzos orientados en dirección NE. Este es el resultado de la geometría del plegamiento andino de dirección NW. Evidencias de esta deformación están representadas además en los pliegues de las rocas sedimentarias en los alrededores al distrito de Yanacocha (F.Breit 2001) (Fig.02).

La margen continental del Perú ha sido una placa ortogonal convergente, evidenciado en los largos pliegues paralelos desarrollados en el basamento cretáceo en los andes centrales. Corbet y Leach (1988) sugieren que la mineralización se desarrolló en algunos arcos magmáticos ortogonales durante los cambios a una convergencia oblicua. Este proceso que en aproximadamente 12Ma el esfuerzo cambió de orientación inicial NE a EW, y fue esta rotación la que desarrolló la pila volcánica en Yanacocha y la subsecuente mineralización.

La figura 19 muestra una falla de movimiento sinistral de dirección NE que afectó al basamento cretáceo en el distrito de Yanacocha. Esta falla fue reactivada en aproximadamente 12 Ma, como una falla de movimiento dextral (Fig.20). El sentido es inferido de la geometría de otras fallas en el distrito. La pila volcánica que hospeda los depósitos de Yanacocha paralelo a la dirección de esta falla son alineados a cada lado de la falla dentro de bloques estructurales definidos por fallas sinestrales conjugadas con fallas normales internas de dirección EW (Fig.20).

Las fallas de dirección NE son las que conforman actualmente el corredor estructural Chicama - Yanacocha.

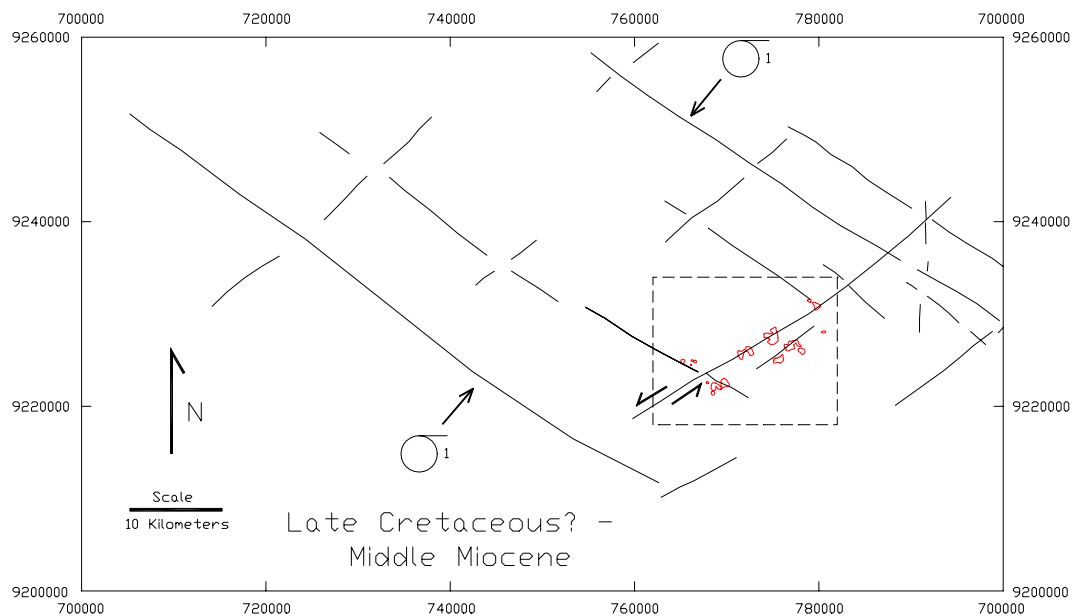


Fig.19. Esfuerzo compresivo en dirección NE que afectó el basamento cretáceo (Grafico realizado por Carl Schnell)

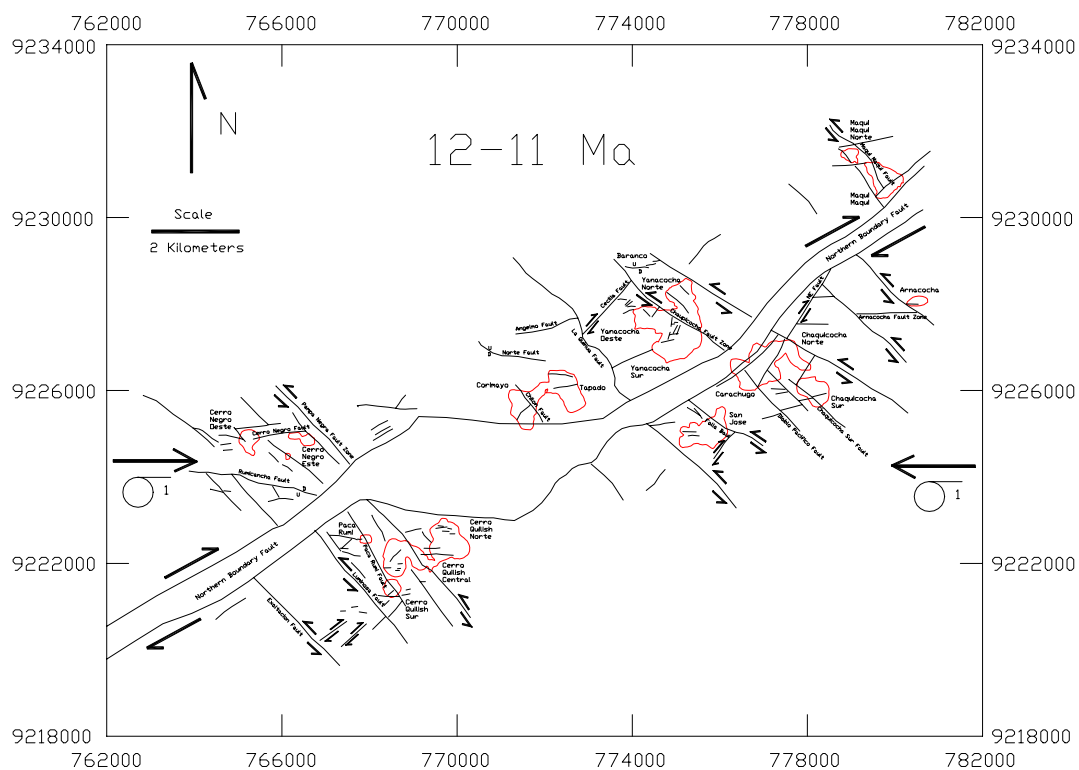


Fig.20. Esfuerzo compresivo en dirección EW, formación de fallas transcurrentes de dirección NE y NW. Esta interpretación es basada en el mapeo y fallas inferidas realizada por T.Longo y L.Teal en agosto, 2000.

7.2 Análisis estructural a escala local

Durante las mediciones de elementos estructurales en el área de estudio, se tomaron los siguientes límites:

Rumbos: NS (N10E a N10W), **NNW** (N10-30W), **NW** (N30-60W), **WNW** (N60-80W), **EW** (N80E a N80W), **NNE** (N10-30E), **NE** (N30-60E) y **ENE** (N60-80E).

Buzamientos: verticales (80°-90°) y subverticales (60°-80°).

7.2.1 Cerro Encajon

7.2.1.1 Análisis de diagrama estructural

Estructura total

Una población total de 113 mediciones estructurales se tomó en el Cerro Encajon. El diagrama de densidad de polos muestra una dirección dominante de primer orden N70E. Esta dirección proviene de un entorno más amplio ENE. Seguida por direcciones de segundo orden EW y NS. Por último, un débil dominio estructural de dirección NNW (Fig.21). Nótese la dirección NNW de forma ortogonal al principal dominio estructural ENE. Las estructuras de dirección NS - EW son de buzamientos verticales y las estructuras ENE - NNW subverticales.

Fallas

El diagrama de densidad de polos muestra una dirección dominante de primer orden N70E. Esta dirección proviene de un entorno más amplio que cubre el rango de dirección N50-70E. Seguida por direcciones de segundo orden EW y NS. Por último, un débil dominio estructural de dirección N30-50W (Fig.22). Nótese la dirección NW de forma ortogonal al principal dominio estructural NE.

Junturas

El diagrama de densidad de polos muestra una dirección dominante de primer orden N70E. Esta dirección proviene de un entorno más amplio que cubre el rango de dirección ENE (N60-80E). Seguida por direcciones de segundo orden NNW (N20-30W) y EW (+-10). Por último, un débil dominio estructural de direcciones, NS (N10E) y N40E (Fig.23). Nótese la dirección NNW de forma ortogonal al principal dominio estructural ENE.

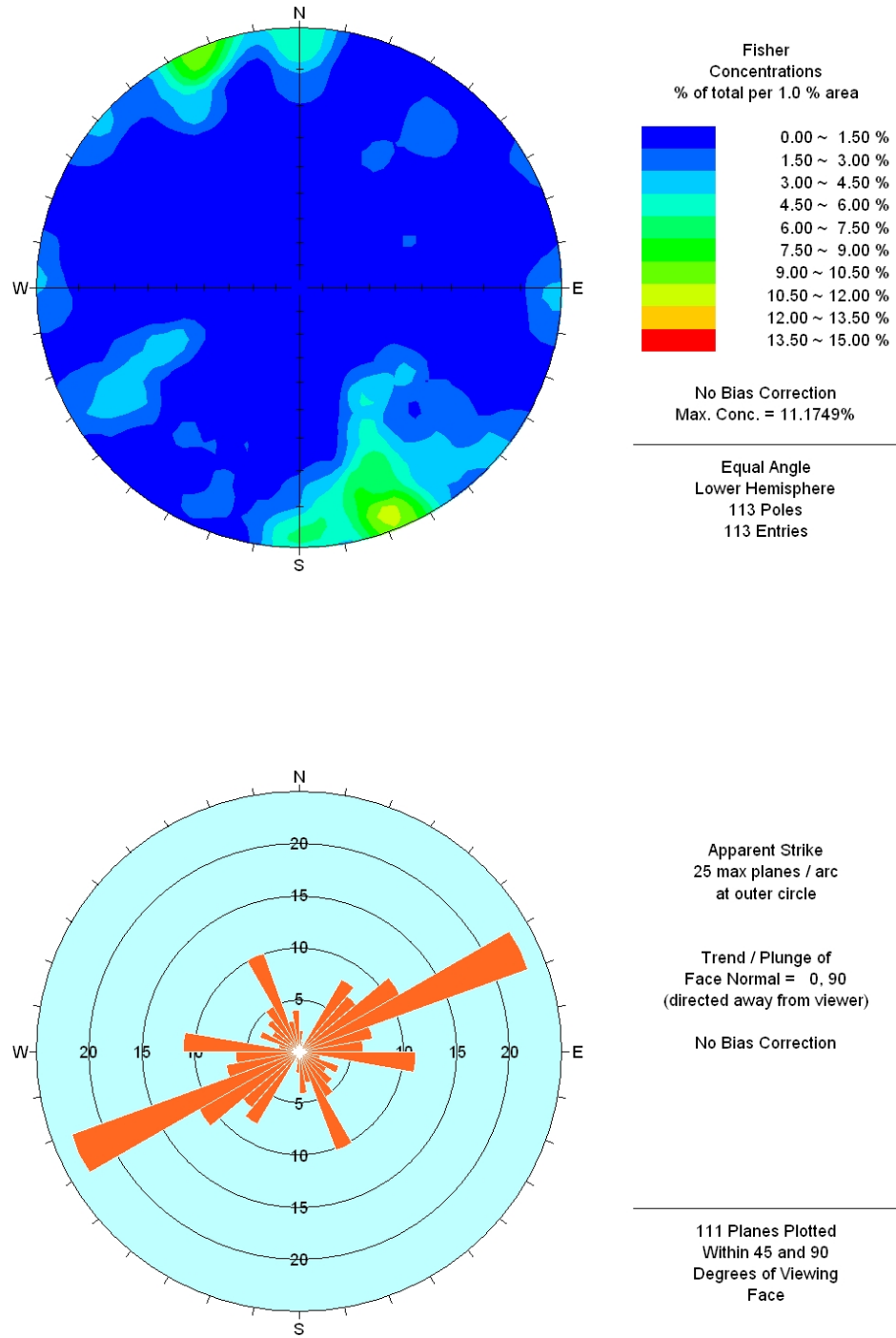


Fig.21.- Densidad de polos y diagrama de rosas de **Estructuras Totales** del Cerro Encajon

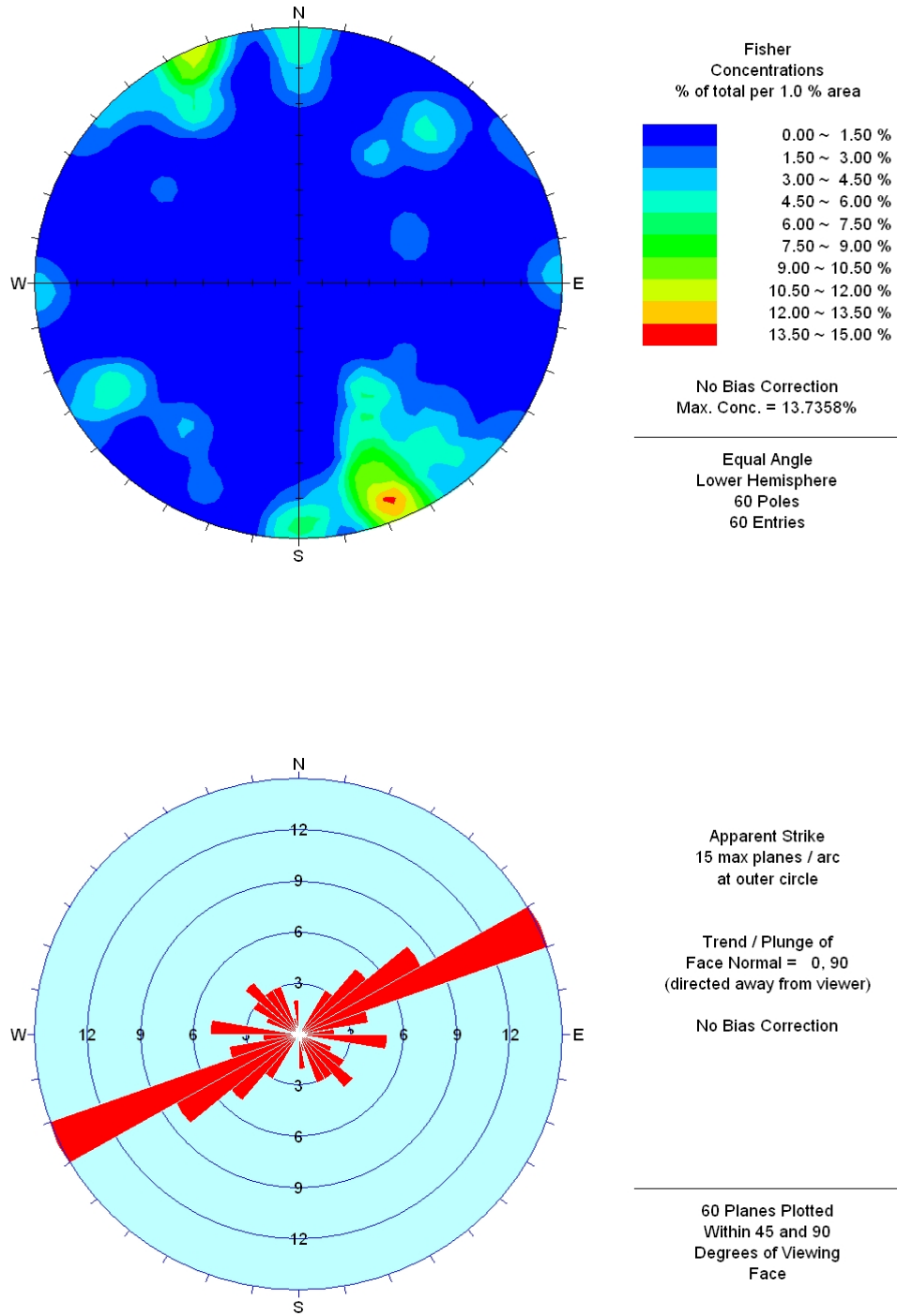


Fig.22.- Densidad de polos y diagrama de rosas de Fallas del Cerro Encajon

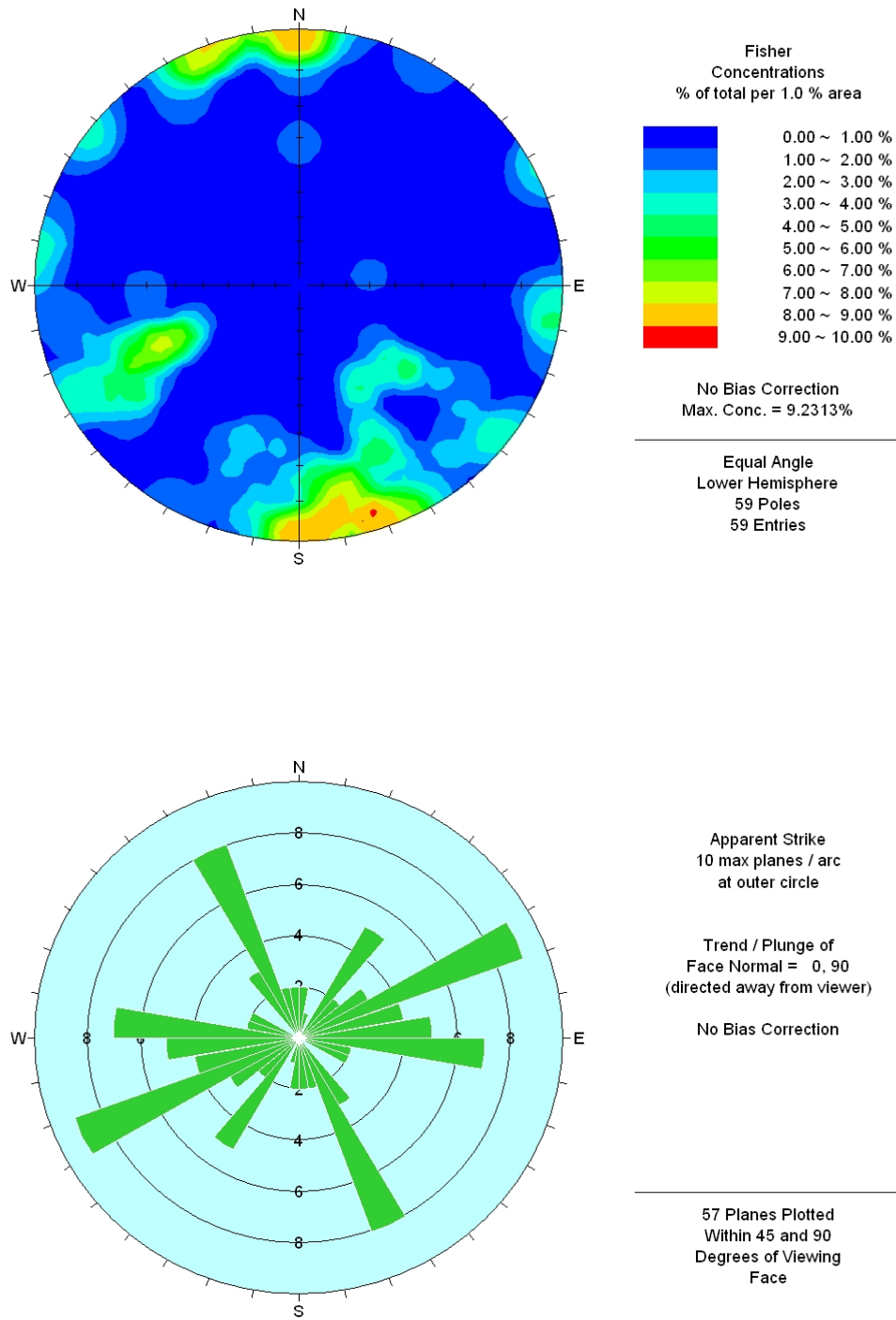


Fig.25.- Densidad de polos y diagrama de rosas de Junturas del Cerro Encajon

7.2.1.2 Características estructurales

Para estudiar las características estructurales del Cerro Encajon se eligieron dos áreas representativas: área este y oeste (Fig.24).

Área oeste: La población de fallas muestra un dominio estructural NE, que alberga fallas de tipo 1-2, con buzamientos entre 60° - 90° hacia el sur. Estas fallas cruzan a profundidad varios bancos ($>100\text{m}$) evidenciando grandes espejos de falla que están cubiertas por capas de goetita. En algunas fallas se emplazan brechas freáticas y freatomagmáticas de espesores menores a 3m.

Las fallas de dirección NW se caracterizan por contener brechas muy oxidadas y silicificadas. Entre ellas tenemos una falla de tipo 3 que se denominó "Falla Laura". A lo largo de esta falla los buzamientos son entre 72° a 90° hacia el sur. La falla Laura controla el emplazamiento del intrusivo dacítico (Ypq) y andesítico (Cp) (Fig.25).

Las fallas de dirección EW son verticales y se caracterizan por presentar espejos de falla con estrias subhorizontales (Fig.26 c).

Las juntas de tipo 1 mineralizadas (J1M) con direcciones dominantes NE y NW están rellenas de limonitas. Los fracturamientos secundarios (J2) y los diques de brechas freáticas son escasos.

Área este: La población de fallas muestra un dominio estructural NE. Entre ellas tenemos una falla de tipo 3 que se denominó "Falla Arual", la cual presenta algunas estrias subverticales y brecha de falla oxidada, encontrándose en algunos tramos material triturado con panizo "gouge". Los buzamientos son variables entre 70° - 90° hacia el norte y sur. La falla Arual controla el emplazamiento del intrusivo andesítico (Cp) (Fig.25).

Las fallas de tipo 1 de dirección NE también forman espejos de falla. Las fallas de tendencia EW y NS tienen buzamientos verticales y son de importancia cuando se intersectan con las fallas NE, llegando a formar zonas muy fracturadas. Las fallas EW se prolongan desde el área oeste, formando espejos de falla y estrias subhorizontales

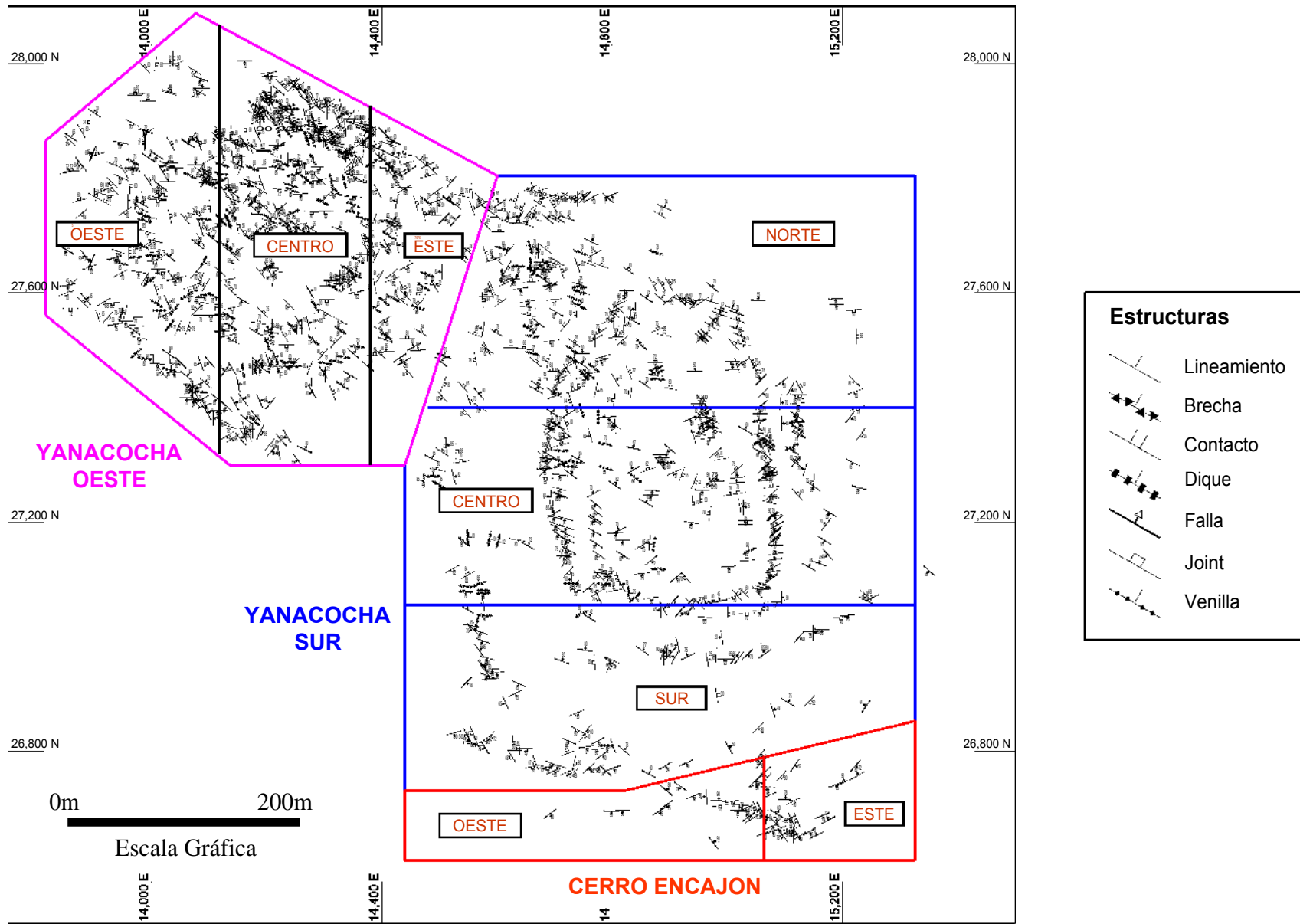


Fig.24. Subdivisión de áreas estructurales en el Cerro Yanacocha

en la pared del tufo lítico de alteración sílice-alunita (Fig.26 c). Las paredes de las fallas de dirección NS se encuentran cubiertas por goetita de hábito botroidal.

Las juntas mineralizadas con direcciones dominantes NNW y NS se encuentran rellenas de limonita y baritina en cristales muy finos en algunos casos. Las juntas mineralizadas de tipo 2 (J2M) con direcciones NW y NS se encuentran rellenas de limonita.

Los diques de brecha freática se encuentran alineados principalmente en dirección NE y NW.

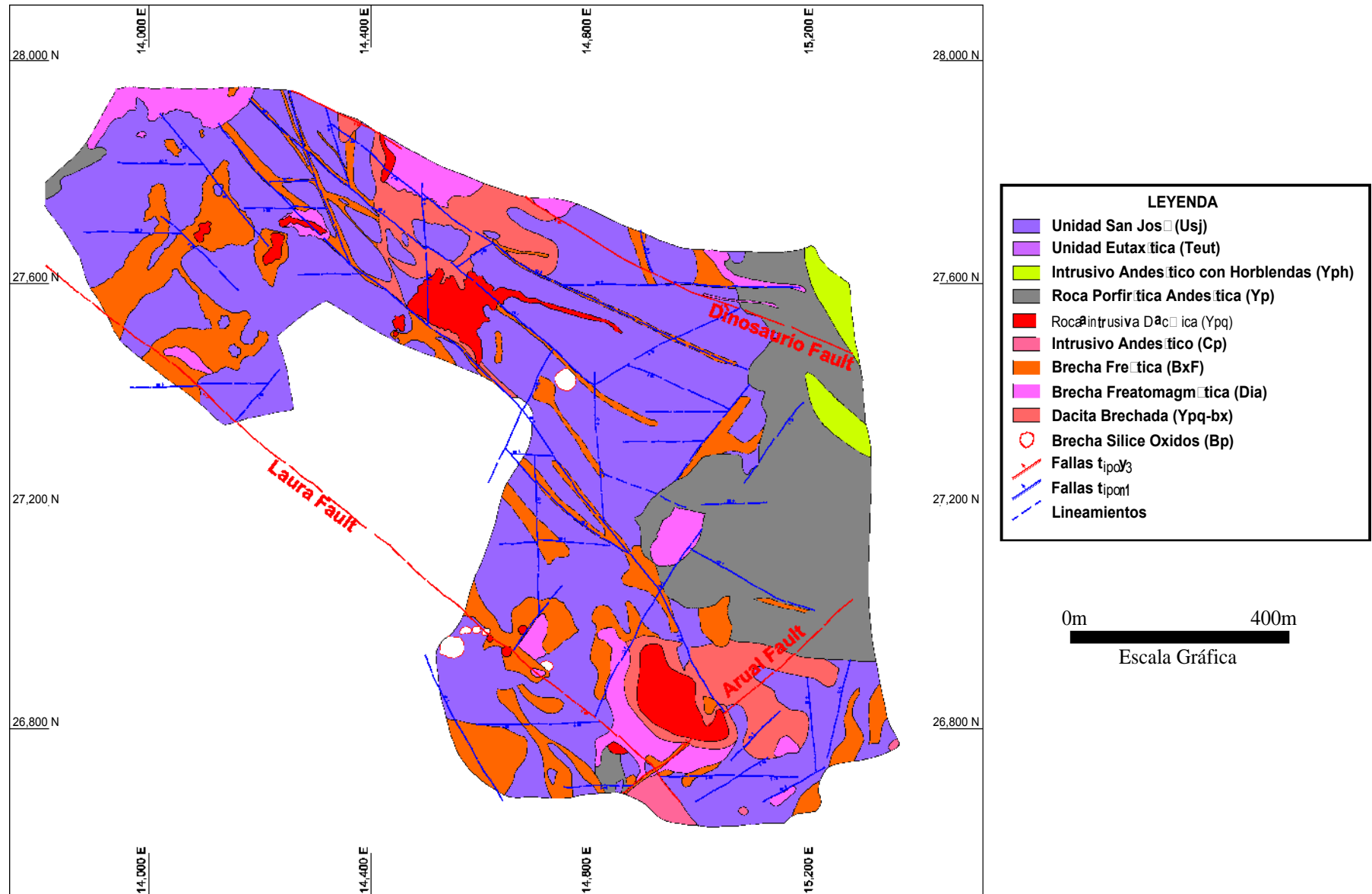


Fig.25. Plano litológico y estructural del Cerro Yanacochoa

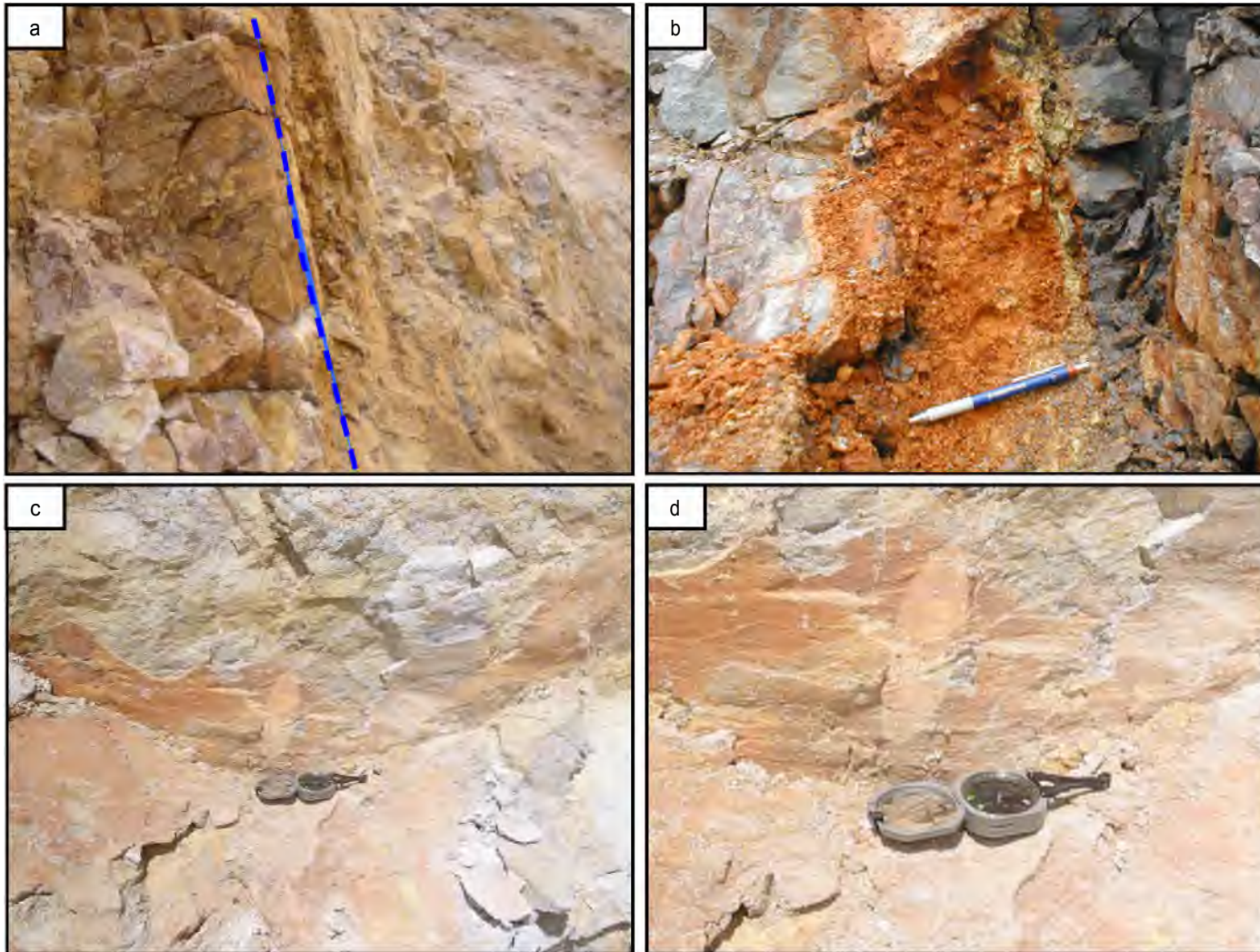


Fig.26. a) Falla de dirección NE, con espejo de falla y buzamiento subvertical en Yanacocha Oeste b) Falla con material triturado y oxidado en Yanacocha Oeste. c-d) Estrías de fallas subhorizontales en Cerro Encajon.

7.2.2 Yanacocha Sur

7.2.2.1 Análisis de diagrama estructural

Estructura total

Una población total de 454 mediciones estructurales se tomó en el tajo Yanacocha Sur. El diagrama de densidad de polos muestra una dirección dominante de primer orden EW (+-10°). Seguida por direcciones de segundo orden N60W y N60E. Ambas direcciones provienen de un entorno más amplio N50-70W y N50-70E respectivamente. Por último, un débil dominio estructural de dirección N10E de forma ortogonal al principal dominio estructural EW (Fig.27).

Las estructuras de dirección N10E y N80E son de buzamientos verticales y las estructuras NE, ENE, NW y WNW subverticales.

Fallas

El diagrama de densidad de polos muestra una dirección dominante de primer orden EW (N80E) paralelo al principal dominio estructural total. Seguida por direcciones de segundo orden NW (N60W) y NE (N50-60E). Por último, un débil dominio estructural de dirección N10E (Fig.28).

Junturas

El diagrama de densidad de polos muestra una dirección dominante de primer orden N20-30W. Seguida por direcciones de segundo orden N60-70E y EW. Nótese la dirección ENE de forma ortogonal al principal dominio estructural NNW. Por último, un débil dominio estructural de dirección NS y WNW (Fig.29).

Brechas

El diagrama de densidad de polos muestra una dirección dominante de primer orden EW paralelo al principal dominio estructural de las fallas. Seguida por direcciones de segundo orden N50-60E. Por último, un débil dominio estructural de dirección NNE (Fig.30).

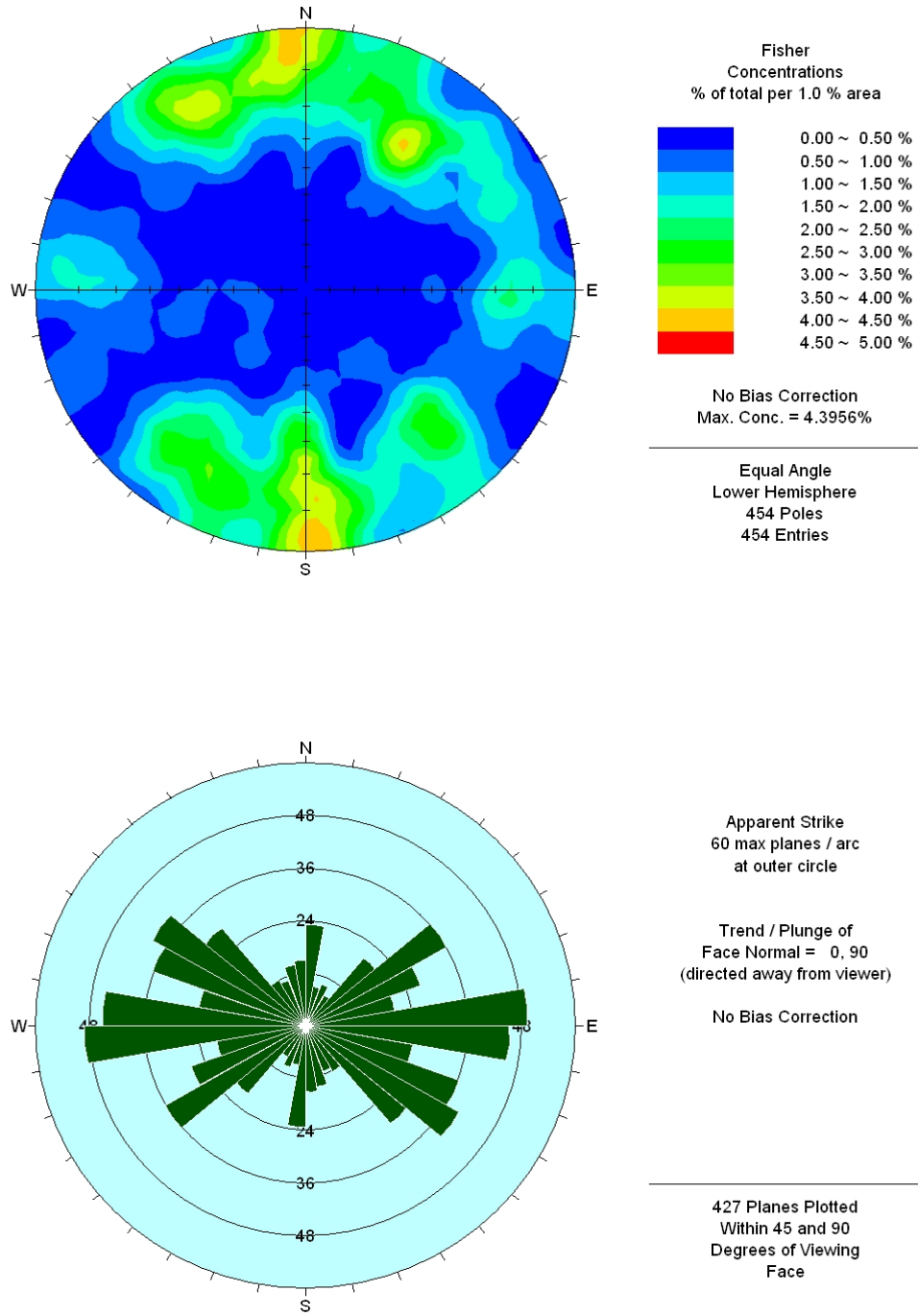


Fig.27.- Densidad de polos y diagrama de rosas de "Estructuras Totales" del tajo Yanacocha Sur

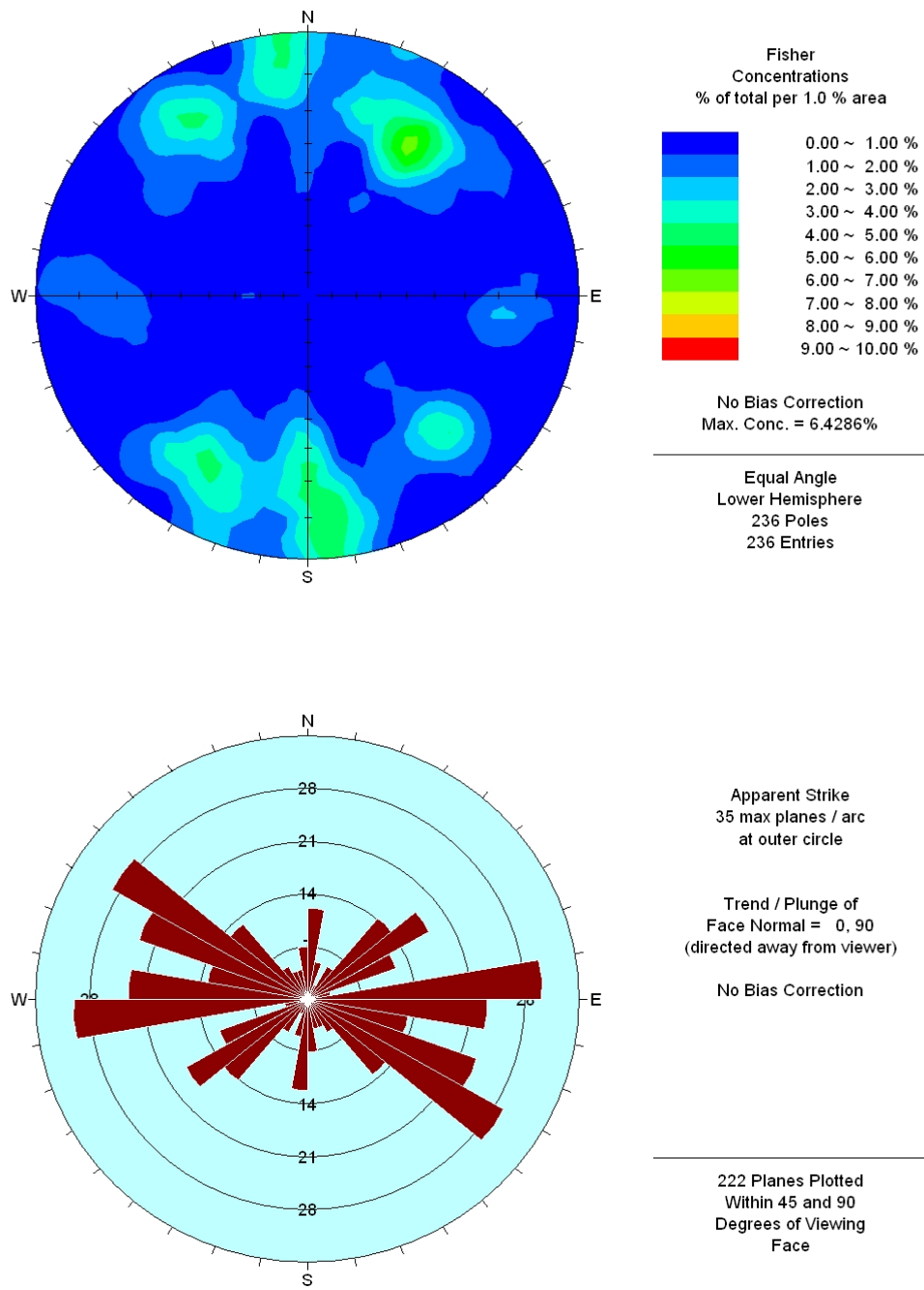


Fig.28.- Densidad de polos y diagrama de rosas de [Fallas]del tajo Yanacocha Sur

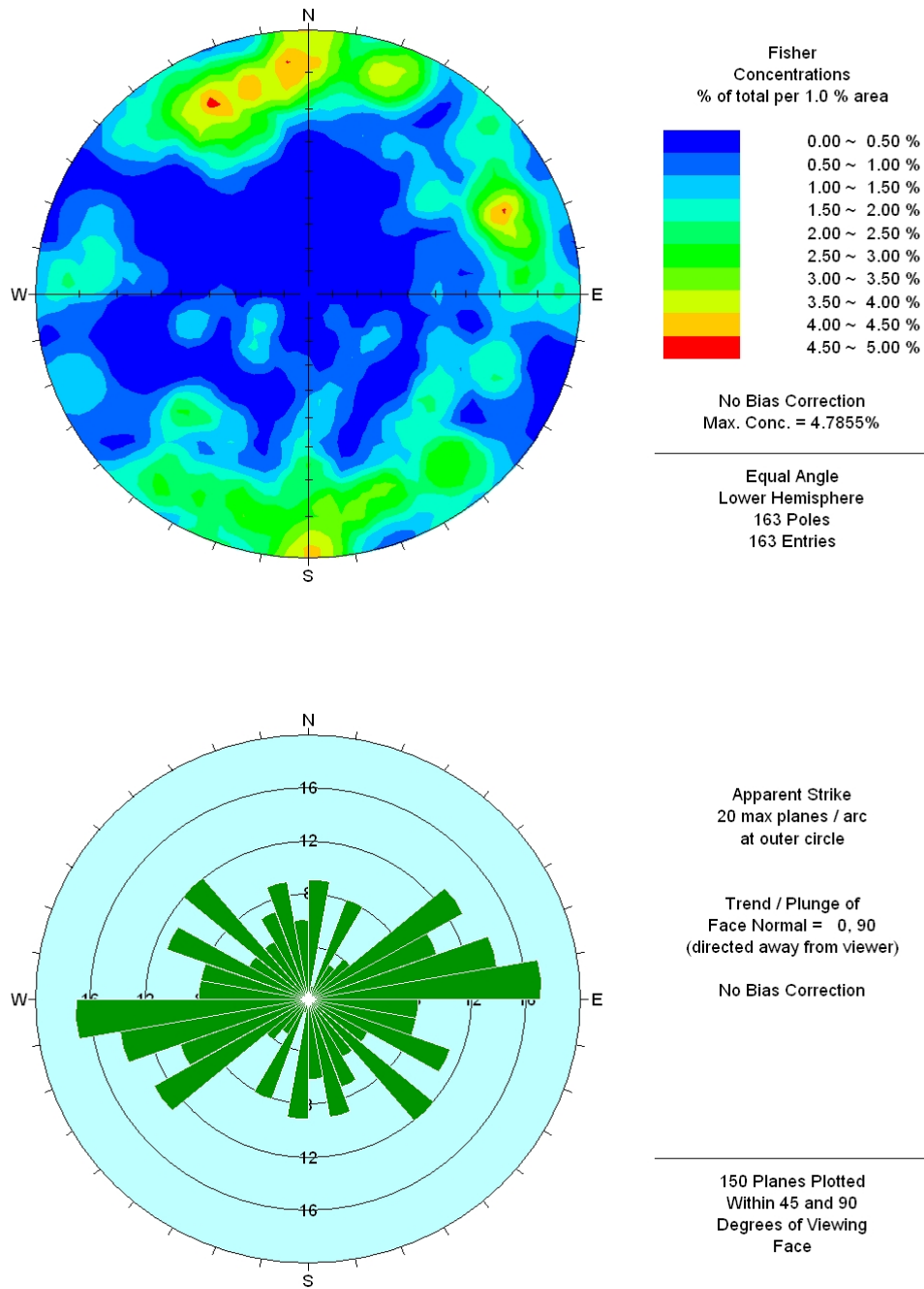


Fig.29.- Densidad de polos y diagrama de rosas de Junturas del tajo Yanacocha Sur

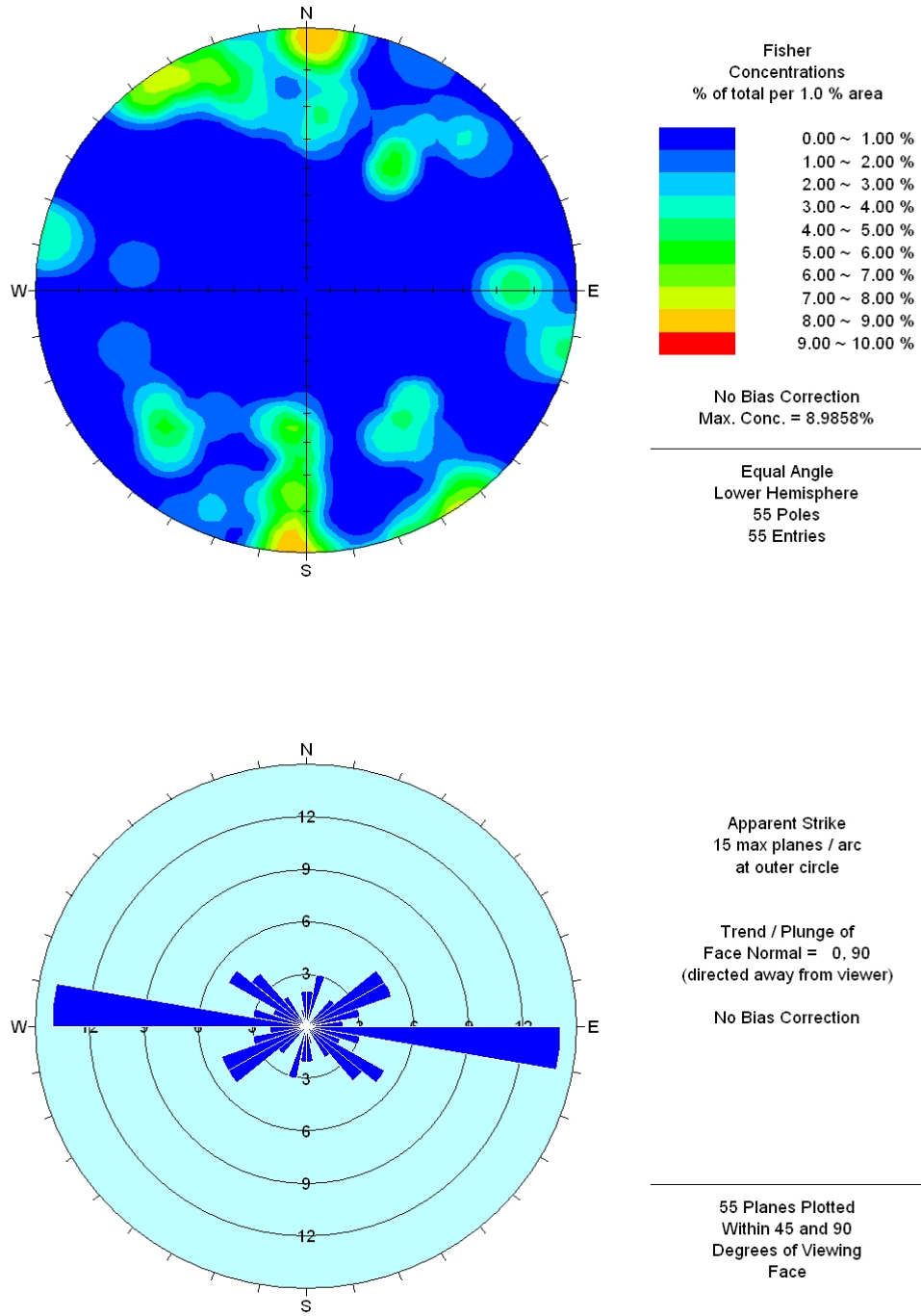


Fig.30.- Densidad de polos y diagrama de rosas de Brechas del tajo Yanacocha Sur

7.3.2.2 Características estructurales

Para el estudio de características estructurales el en tajo Yanacocha Sur se eligieron tres áreas representativas: área norte, centro y sur (Fig.24).

Área norte: La población de fallas muestra un dominio estructural N50-70W, que incluye fallas de tipo 1 y 3. Este fallamiento se extiende desde el tajo Yanacocha Oeste. Los buzamientos son subverticales entre 70-80° hacia el sur. En la pared norte se evidencia una falla mayor de dirección NW y buzamiento subvertical, que se denominó "Falla Dinosaurio". Esta falla corta varios bancos (>120m), contiene material brechado y presencia de "gouge" con intensa oxidación en algunos tramos. Las fallas de orientación NS forman espejos de falla y buzamiento entre 70-90° hacia el oeste. Las paredes de estas fallas generalmente están cubiertas por goetita de variedad botroidal.

Los diques de brecha freática y freatomagmática de matriz arenosa y espesores menores a 2m se encuentran alineados en dirección N40-50W y buzamiento hacia el sur. Estos diques se alinean con los pequeños cuerpos de brecha que se extienden desde el tajo Yanacocha Oeste (Fig.31 d). Los diques de brecha de tendencia NS son de espesores centimétricos con buzamientos verticales hacia el oeste.

Las juntas características de esta zona son de tipo 1 (J1) con tendencias preferenciales al NNW y NS.

Área centro: El dominio estructural EW es muy marcado. Aquí se tienen fallas de dirección EW de tipo 1 con buzamientos subverticales. Los diques de brecha freática y freatomagmática de espesores menores a 2m se emplazan a lo largo de estas fallas (Fig.31 b).

Las fallas de dirección NE son de tipo 1 y 2, con buzamientos subverticales entre 60° y 75° hacia el norte y sur. Estas fallas forman grandes espejos de falla que se extienden hacia el Cerro Encajón. Los espejos de falla se encuentran cubiertos de goetita de variedad botroidal.

Área sur: se muestran fallamientos con dirección N50-60W y buzamientos subverticales. En la pared sur se evidencia la falla "Laura" de dirección NW y buzamiento subvertical hacia el sur. La falla Laura se extiende hacia el Cerro Encajon y Yanacocha Oeste controlando el emplazamiento de la brecha freatomagmática y el intrusivo dacítico (Fig.25).

Las fallas de dirección NE y NS son de tipo 1-2, estas fallas cruzan a profundidad varios bancos evidenciando los grandes espejos de falla con intensa oxidación. Las fallas de dirección NE tienen buzamientos subverticales entre 68°-75° hacia el norte y se extienden hacia el Cerro Encajon. Las fallas de dirección NS son de buzamientos verticales.

Los diques de brecha freática y freatomagmática de espesores centimétricos, se emplazan principalmente en fallas y fracturas de orientaciones EW, NW y N10-20E. Los diques de brecha que se emplazan en fallas de dirección EW en su mayoría son continuos y profundos.

En la pared sur, la intersección de fallas de dirección es NW, NS y EW forman zonas muy fracturadas con intensa oxidación y abundante baritina en finísimos cristales.

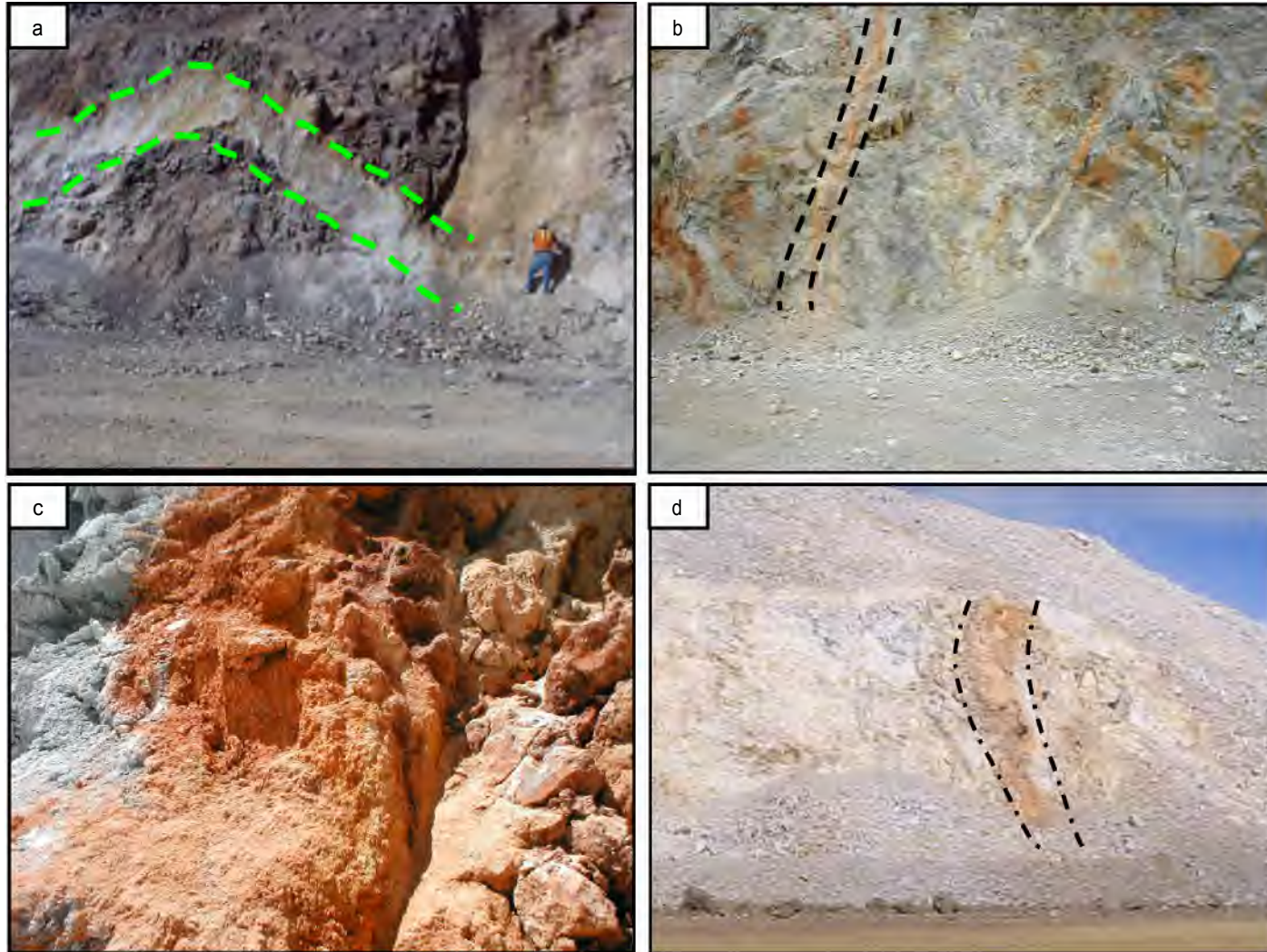


Fig.31. a) Dique de brecha freática de dirección NW sin óxidos, alterado a sílice granula con alunita en Yanacocha Oeste. b) Diques de falla \approx 20cm con dirección EW en Yanacocha Sur c) Contacto-Falla entre el USJ y el YP en Yanacocha Sur d) Dique de brecha freática oxidada en dirección EW en Yanacocha Oeste.

7.2.3 Yanacocha Oeste

7.2.3.1 Análisis de diagrama estructural

Estructura total

Una población total de 1048 mediciones estructurales se tomó en el tajo Yanacocha Oeste. El diagrama de densidad de polos muestra una dirección dominante de primer orden N60-70W. Seguida por direcciones de segundo orden EW y NS ortogonales entre sí. Por último, un débil dominio estructural de dirección N20-30W (Fig.32).

Las estructuras de dirección NS y EW son de buzamientos verticales y las estructuras NW - NNW subverticales.

Fallas

El diagrama de densidad de polos muestra una dirección dominante de primer orden N60W. Esta dirección proviene de un entorno más amplio N30-70W. Seguida por direcciones de segundo orden N40-50E. Por último, un débil dominio estructural de dirección NS (Fig.33).

Junturas

El diagrama de densidad de polos muestra direcciones dominantes de primer orden EW y NS ortogonales entre sí. Seguida por direcciones de segundo orden N20-30W. Por último, un débil dominio estructural de dirección N50-60W (Fig.34).

Brechas

El diagrama de densidad de polos muestra una dirección dominante de primer orden N60W. Esta dirección proviene de un entorno más amplio N30-80W. Seguida por direcciones de segundo orden N80W. Por último, un débil dominio estructural de direcciones N60-70E (Fig.35).

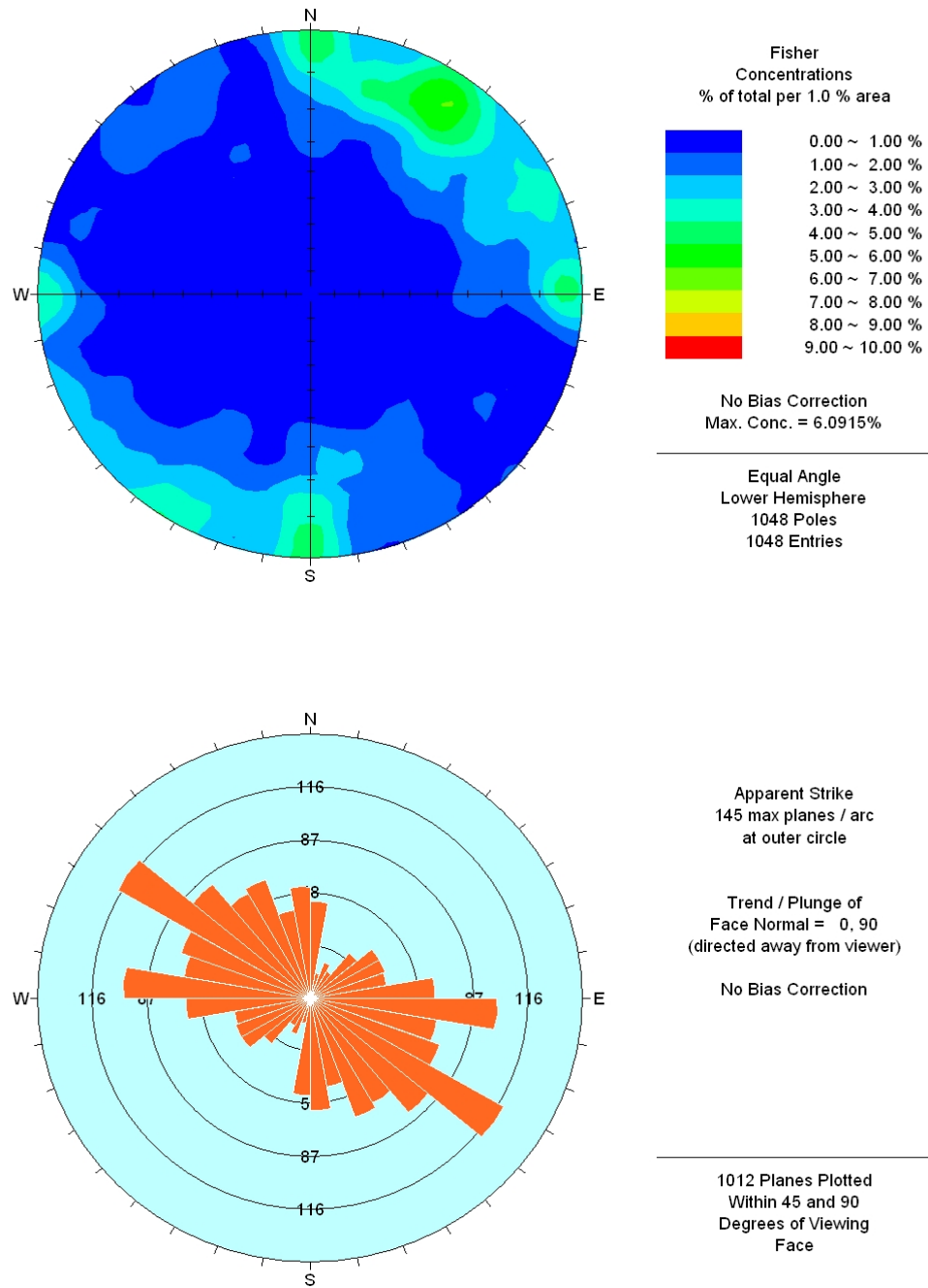


Fig.32.- Densidad de polos y diagrama de rosas de **“Estructuras Totales”** del tajo Yanacocha Oeste

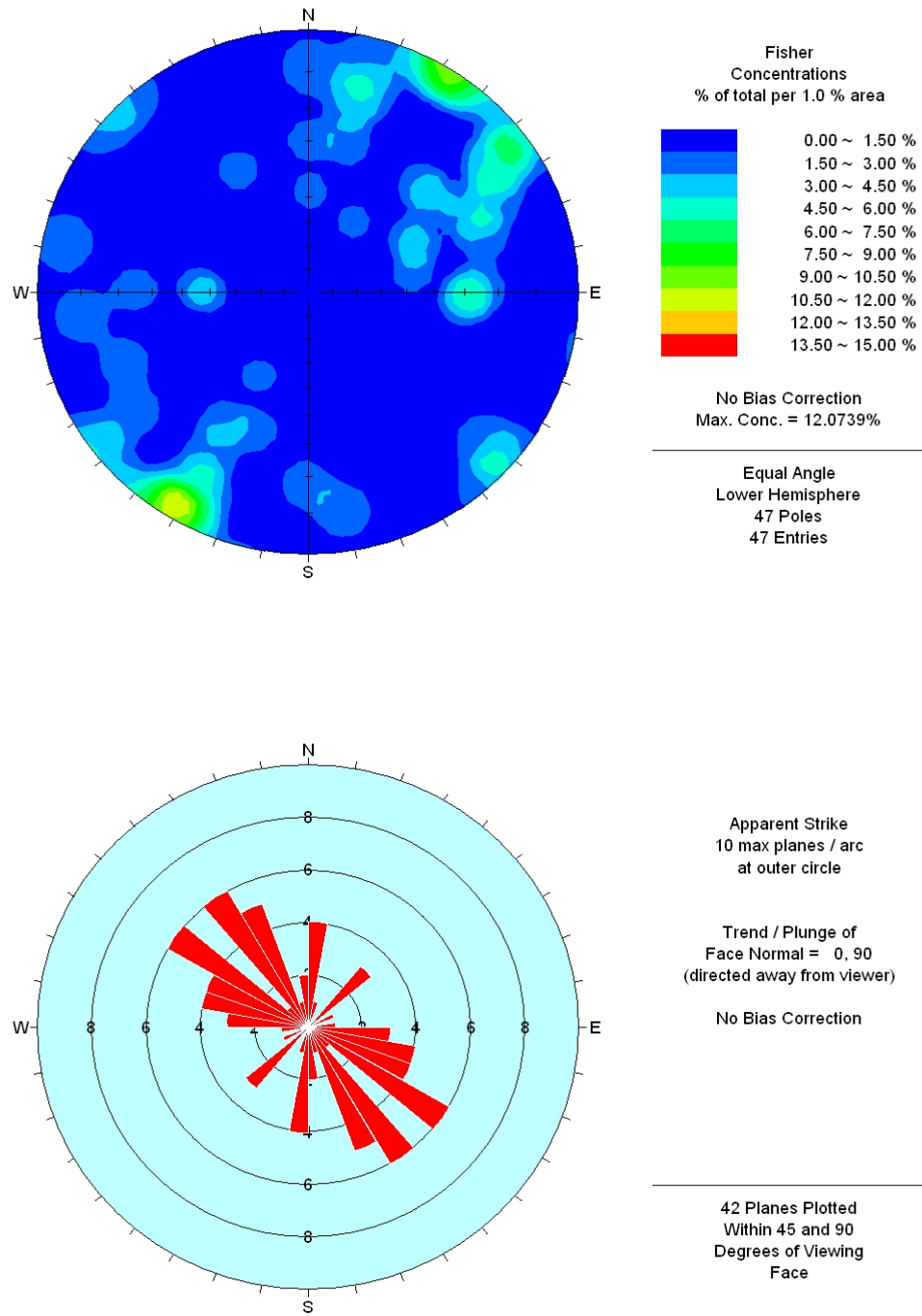


Fig.33.- Densidad de polos y diagrama de rosas de Fallas del tajo Yanacocha Oeste

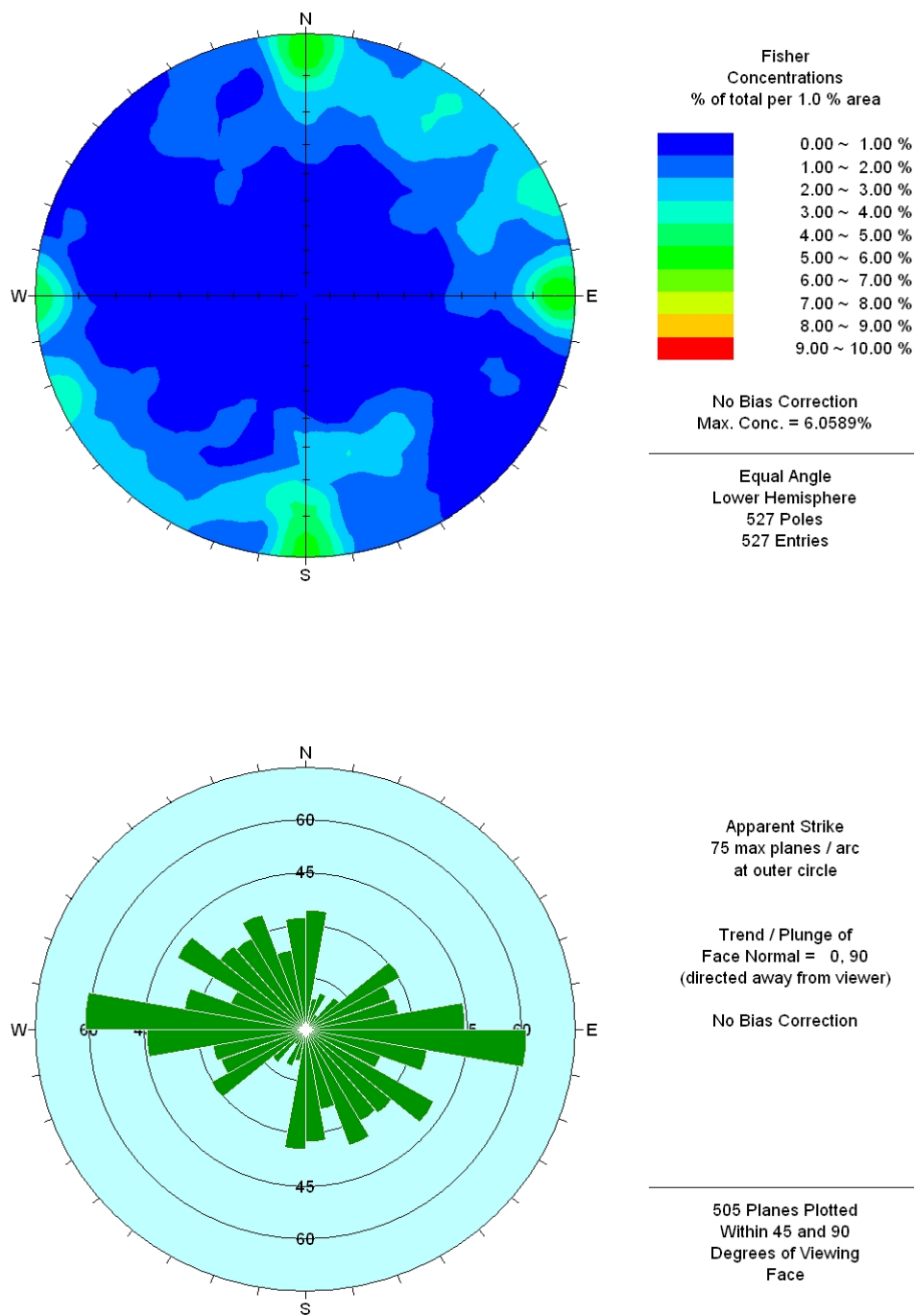


Fig.34.- Densidad de polos y diagrama de rosas de Junturas del tajo Yanacocha Oeste

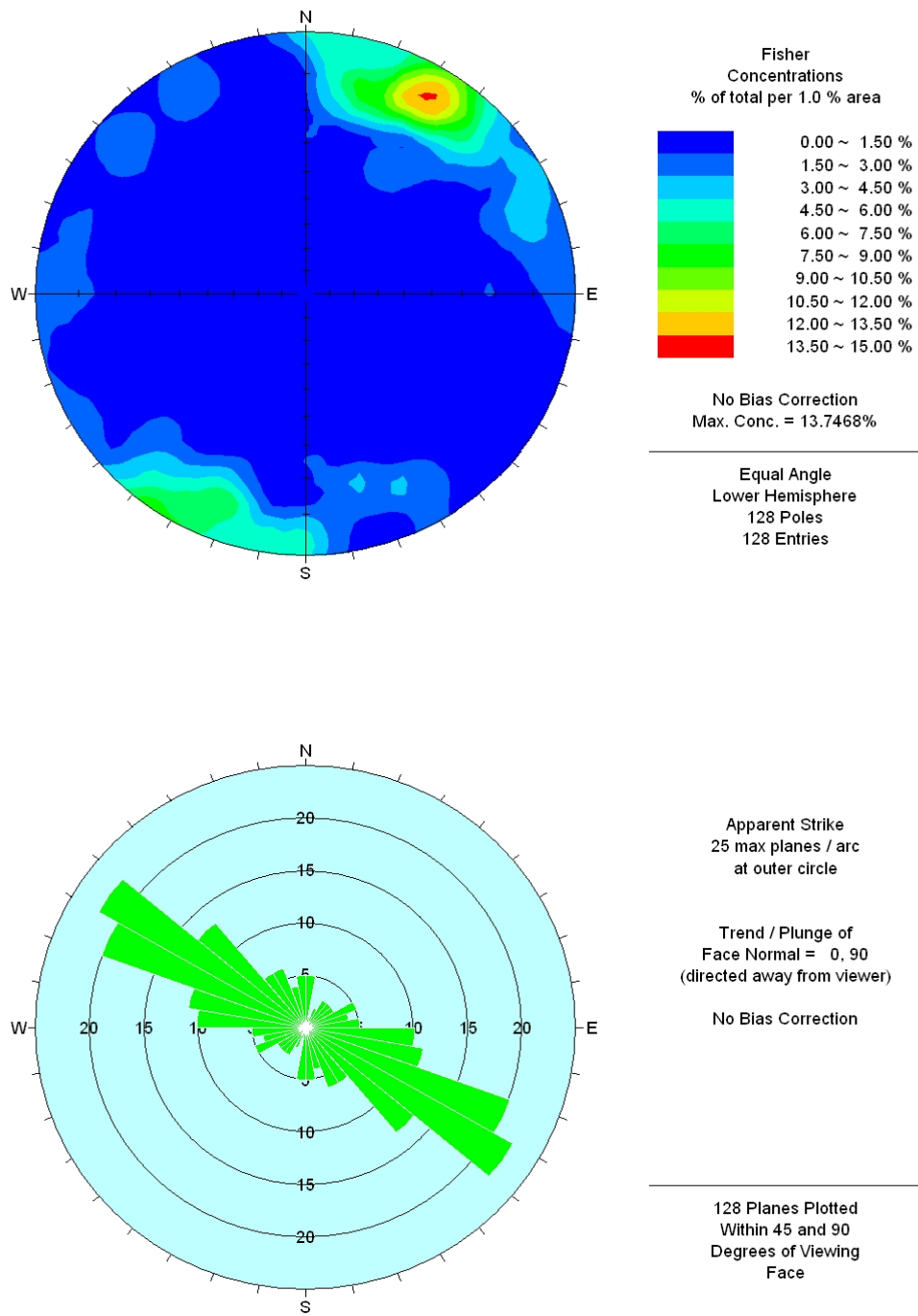


Fig.35.- Densidad de polos y diagrama de rosas de Brechas del tajo Yanacocha Oeste

7.3.3.2 Características estructurales

Para estudiar las características estructurales en el tajo Yanacocha Oeste se eligieron tres áreas representativas: área oeste, centro y este (Fig.24).

Área oeste: Las fallas de dirección EW son de tipo 1-2 y buzamientos verticales. Estas fallas controlan el emplazamiento de brechas freáticas y freatomagmáticas de espesores menores a 5m. Las fallas de dirección N30-40W buzán entre 70°-85° hacia el sur. Estas fallas presentan espejos y brechas de falla con fuerte oxidación. Hacia la pared sur, la falla Laura está controlando el emplazamiento de diques de brecha freatomagmática. La intersección de esta falla con las fallas de tendencia EW y NS forman zonas muy fracturadas con intensa oxidación. Las fallas N20-30E con buzamientos subverticales entre 65°-76° hacia el sur, son muy escasas.

Los diques de brecha freática de espesores menores a 2m, están orientados en dirección EW y N50-70W. Estas brechas no se encuentran oxidadas (Fig.31 a).

Las juntas de tipo 1 (J1) con direcciones dominantes EW, NW y NE se encuentran rellenas de limonita (Fig.36 a).

Área centro: El dominio estructural NW es muy marcado. Las fallas están orientadas en dirección N40-50W y N20-30W con buzamientos subverticales entre 75°-80° hacia el sur. Estas fallas presentan material triturado y brechas rellenas de limonita y jarosita (Fig.26 b). La Falla Dinosaurio que se extiende desde Yanacocha Sur, está controlando el emplazamiento de la brecha diatrema y los intrusivos dacíticos.

Las fallas de dirección NS (N10W), tienen buzamientos verticales. Estas fallas se caracterizan por presentar espejos de fallas cubiertas por goetita de variedad botroidal y jarosita en algunos tramos. Los diques de brecha freatomagmática están orientados principalmente en direcciones preferenciales NW y EW. Estos diques se caracterizan por presentar matriz de sílice granular con alunita y fragmentos subredondeados y heterolíticos (volcanoclásticos, Ypq, cuarcita, arenisca y Yp). Los espesores promedios varían desde 10cm hasta 3m. Los buzamientos en su mayoría son verticales.

Los diques de brecha de dirección N10E son muy escasos. Las brechas hidrotermales de dirección NS y NW, son de buzamientos verticales y espesores centimétricos (□□10cm). Estas brechas están compuestas por fragmentos monolíticos y matriz sílice □ óxidos. Los fragmentos monolíticos son recubiertos y sostenidos entre sí por la goetita de variedad botroidal, siendo zonas muy favorables para la concentración de oro.

Las juntas de tipo 1 (J1) de dirección EW, NW y NE están rellenas de limonita y jarosita pulverulenta.

Área este: Las fallas de dirección NW son la extensión de la zona centro y se extienden hacia el tajo Yanacocha Sur, como se mencionó anteriormente. Las fallas de direcciones NS y NE son escasas. Estas fallas presentan espejos de falla y son de buzamientos subverticales (Fig.26 a).

Las brechas hidrotermales están compuestas por matriz de alunita y fragmentos subangulosos de sílice masiva. La alunita se encuentra en finos cristales. En algunos tramos la matriz se encuentra en forma pulverulenta asociado a los óxidos y jarosita.



Fig.36. a) Junturas de tipo 1 mineralizadas o rellena de limonita b) Fractura rellena de material triturado con limonita.

Capítulo 8: Controles de mineralización

8.1 Introducción

Los controles de mineralización de oro más importantes en este depósito son: el control estructural y el control litológico.

En el Cerro Yanacocha los eventos volcánicos, intrusiones y etapas de alteración hidrotermal relacionados con la mineralización de oro, fueron controlados principalmente por fallas regionales de dirección NW - NE.

8.2 Control estructural

Yanacocha Oeste, el emplazamiento de intrusivos, brechas freáticas y freatomagmáticas están dominados por fallas de dirección NW y EW (Fig.25). Los intrusivos dacíticos están asociados con la mineralización de Au-Cu. La mineralización de oro-cobre cercanos a este intrusivo son en promedio de baja ley (Au \square 0.5 ppm, Cu \square 250 ppm), pero en el contacto se forma material triturado y oxidado, donde se incrementan las leyes en oro de hasta 2 ppm en promedio (Foto.15). Hacia el sur, la intersección de la Falla Laura con las fallas de dirección EW y NS, forman zonas fracturadas y trituradas, que son rellenadas por óxidos (limonita y hematita) y en algunos casos baritina en finos cristales. Estas zonas concentran mineralización de oro de mediana ley (Au \square 1ppm en promedio) (Foto.16).

Hacia el norte, el tufo lítico está alterado a sílice masiva, tomando una coloración gris - negrusca. Esta contiene pirita finamente diseminada y en algunos casos covelita diseminada o rellenando espacios vacíos. Hacia el norte, esta roca de color gris \square negrusca está limitada por la diatrema y hacia el sur por la falla de dirección NW mostrada en la foto 16. Esta zona contiene rocas muy fracturadas con abundantes óxidos en las fracturas y microfracturas, y es donde se concentra la mineralización de cobre \square oro de mediana ley.

MIRANDO AL ESTE

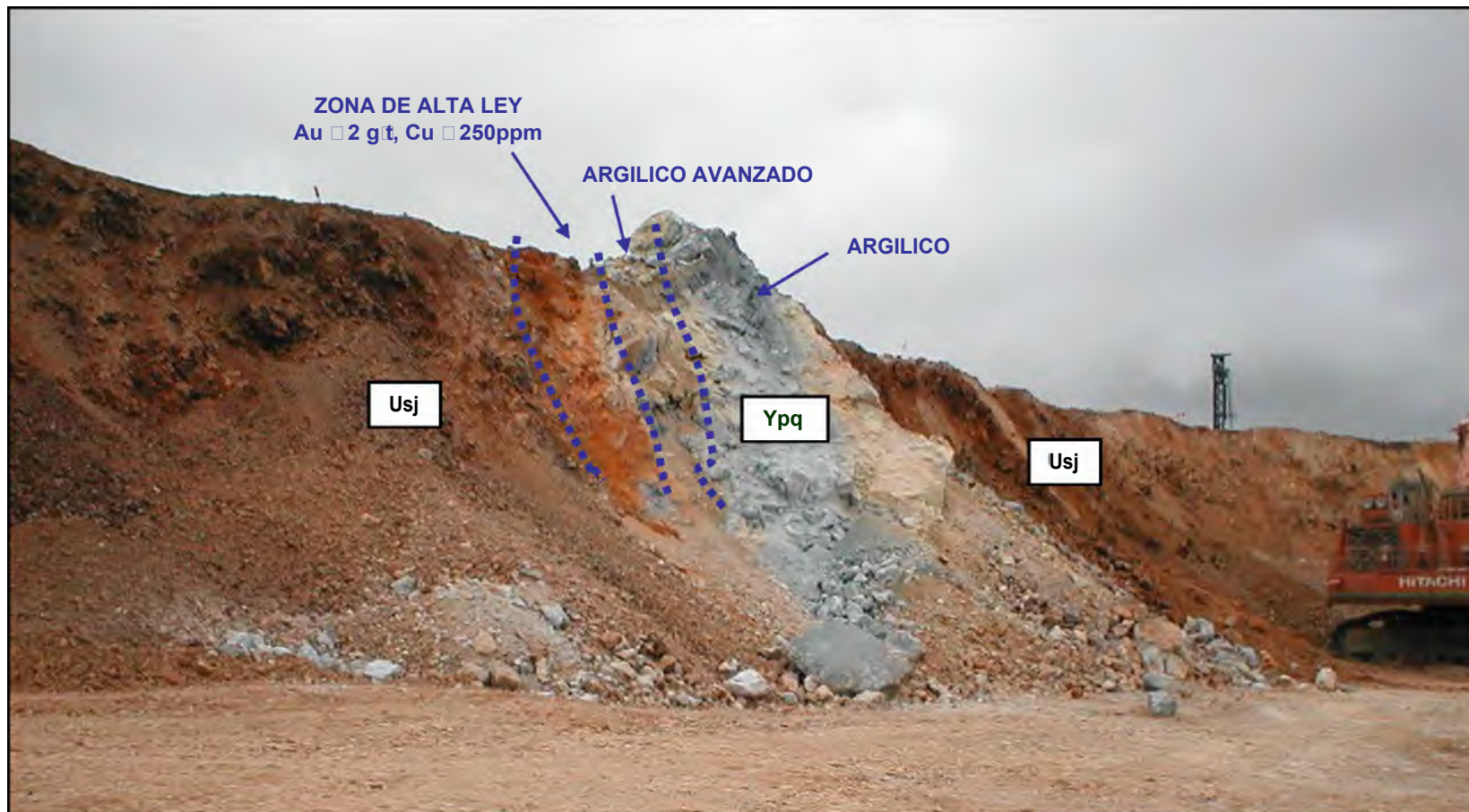
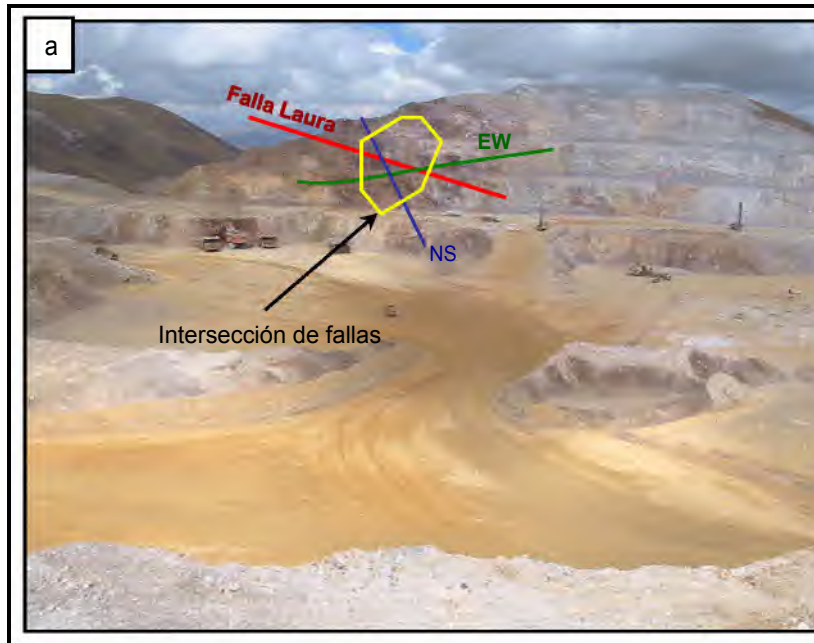


Foto.15. Yanacocha Oeste, la mineralización de cobre-oro alrededor del intrusivo dacítico

MIRANDO AL SUR



MIRANDO AL NORTE

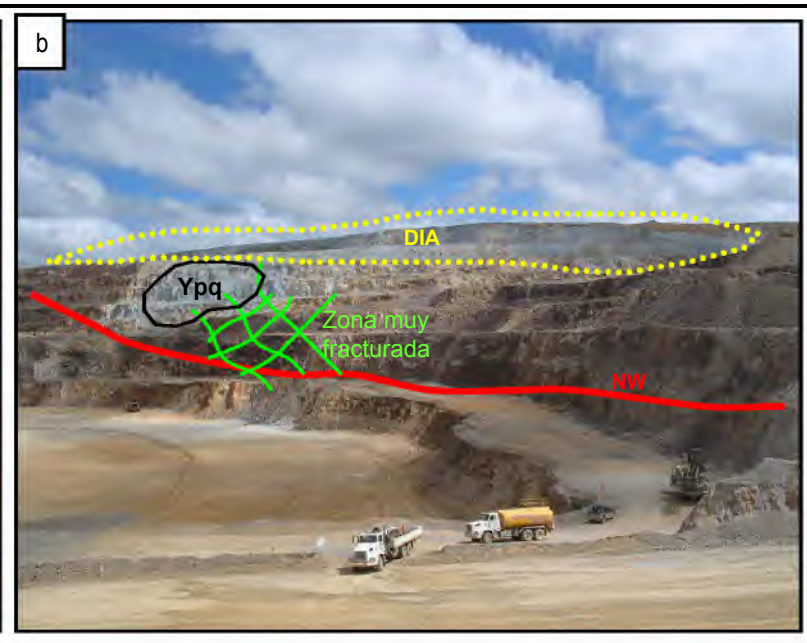


Foto.16. a) Yanacocha Oeste, intersección de fallas de dirección NW, EW y NS, forman zonas fracturadas, oxidadas y controlan la mineralización de oro b) La falla de dirección NW controla el emplazamiento del Ypq y limita las zonas fracturadas rellenas de óxidos.

En algunos casos se tiene zonas muy fracturadas rellenas con abundantes óxidos. Estas zonas concentran mineralización de oro-cobre de media ley (Au \square 0.5-1 ppm y Cu \square 100-400 ppm en promedio).

Algunas fallas menores de dirección NW que contienen "gouge" y material brechado con fuerte oxidación concentran alta ley de oro (Au \square 2.5 ppm en promedio). Las brechas hidrotermales de matriz sílice-óxidos y matriz sílice crema, sílice-alunita y sílice-sulfuros (pirita) concentran alta mineralización de oro (Au \square 2-10 ppm en promedio).

Yanacocha Sur, está marcado por un dominio de fallas de dirección EW y NW. Las brechas freáticas y los *pebble dikes* menores a 1m de espesor, se emplazan en las fallas de dirección EW. Estos diques de brechas no concentran mineralización aurífera. Los *pebble dikes* concentran valores anómalos en cobre (Cu \square 100 ppm). Los diques de brecha freática de espesores mayores a 1m están emplazados en fallas de dirección NW (Fig.25).

Hacia el norte, la Falla Dinosaurio está limitando hacia el este la mineralización de oro de alta ley (Au > 1 ppm), que se concentra en los tufos de cristales y parte de los tufos líticos (Fig.38).

El borde del domo andesítico está limitando en algunas zonas la mineralización aurífera de alta ley (Au >1 ppm). Esta mineralización está restringida a las fracturas, microfracturas rellenas de óxidos y brechas hidrotermales sílice-óxidos con baritina (Fig.39). Los bordes del domo andesítico en contacto con los tufos líticos son mostrados en la foto 16.

Adicionalmente, en los niveles de óxidos la mineralización de oro (Au \square 1-7 ppm), se concentra en las fracturas y oquedades rellenas de óxidos (limonita principalmente), algunas veces asociada a la baritina, jarosita, hematita y escorodita. En la zona de sulfuros la mineralización de cobre-oro está relacionada a la diseminación y venillas de pirita asociada a enargita y covelita principalmente.

Los diques irregulares de brechas hidrotermales compuestas de matriz de sílice crema y sulfuros (Py+-En+-Cv), evidencian mineralización de cobre-oro de alta ley (Au \square 1-5 ppm, Cu > 250 ppm).

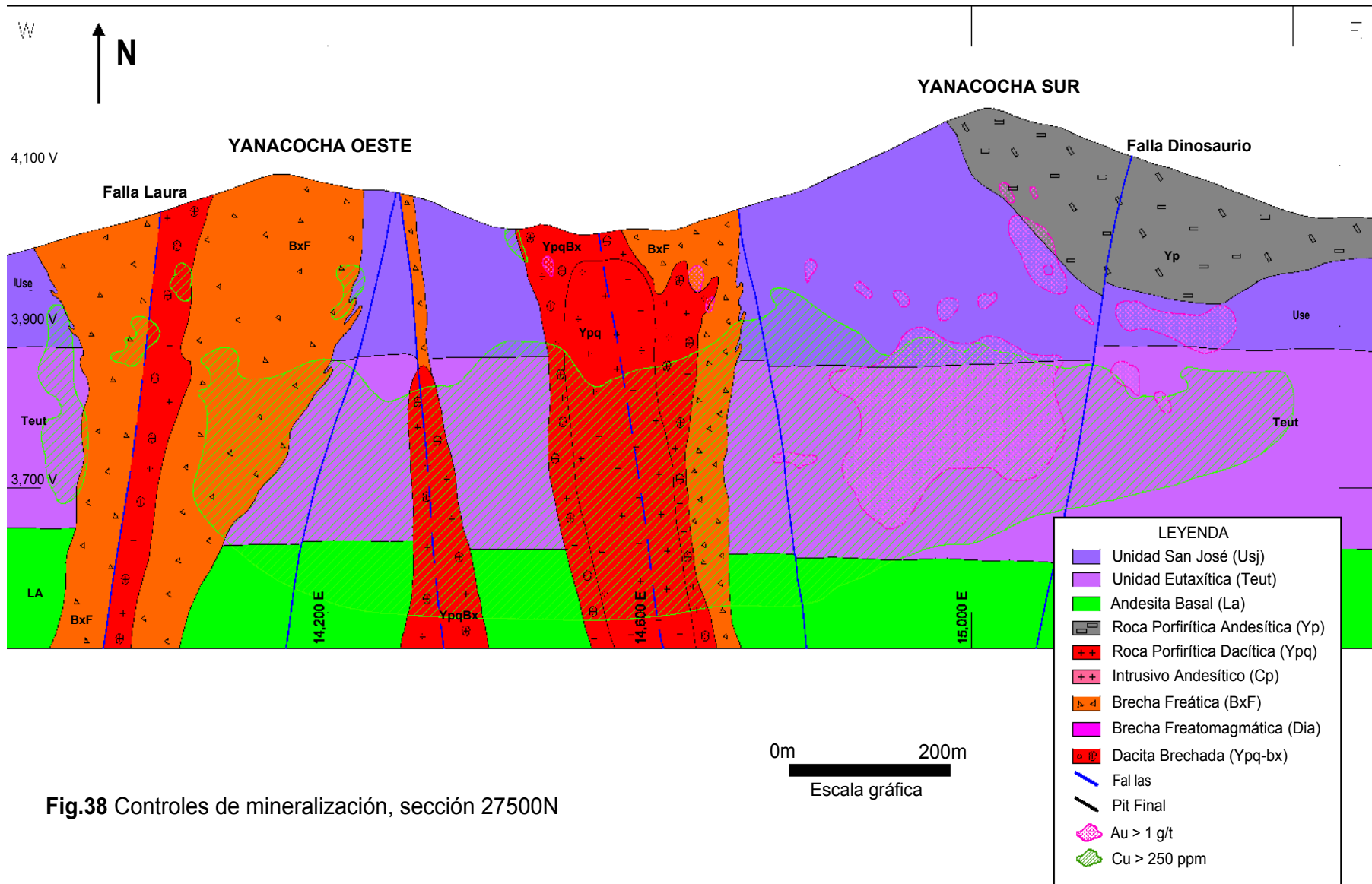


Fig.38 Controles de mineralización, sección 27500N

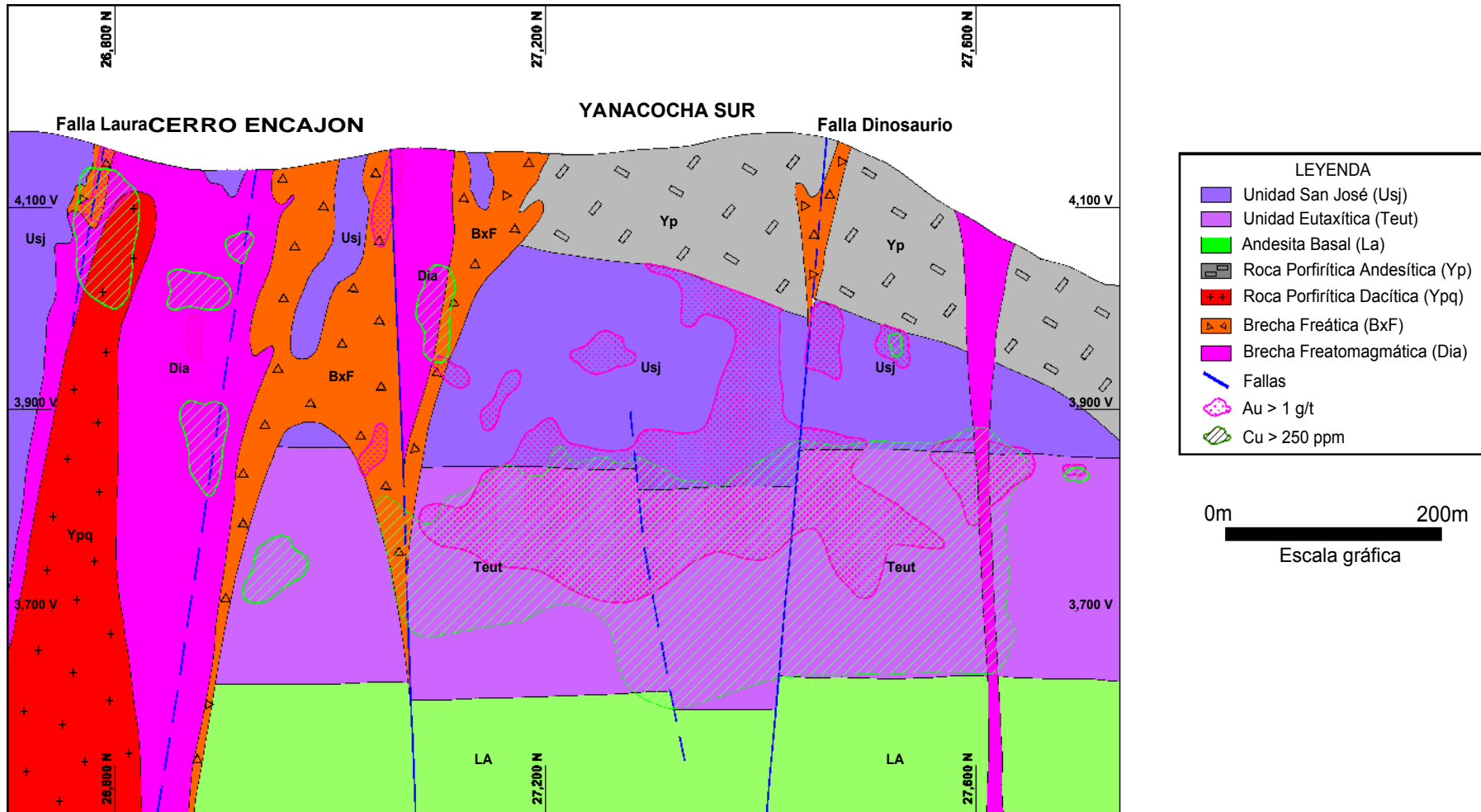


Fig.39 Controles de mineralización, sección N20E

Hacia la zona sur, la Falla Laura que se extienden hacia el Cerro Encajon está controlando el emplazamiento del intrusivo dacítico y la diatrema (Foto.18). El borde del intrusivo dacítico, la diatrema y el contacto entre la diatrema y la falla, concentran mineralización de cobre ($\text{Cu} > 100\text{ppm}$) asociada a pirita, enargita y covelita. Las brechas hidrotermales sílice-óxidos están controlados por la intersección de estructuras de dirección NW, NNW, NE y EW. Estas brechas concentran mineralización de oro de alta ley ($\text{Au} \square 1\text{-}7 \text{ ppm}$ en promedio), y asociada a la limonita, baritina y jarosita.

Cerro Encajón, la mineralización de cobre-oro se desarrolla en la alteración argilico avanzado (Foto.19). La falla Laura está controlando el emplazamiento de la diatrema y el intrusivo dacítico. La mineralización de cobre ($\text{Cu} > 250 \text{ ppm}$) se concentra principalmente en el contacto entre la diatrema y el intrusivo dacítico, asociado a enargita y covelita (Fig.40).

La mineralización de oro de alta ley ($\text{Au} > 2 \text{ ppm}$), está restringida a los diques de brecha freática ($\square 10\text{cm}$) y fracturas con intensa oxidación, esporádicamente a las venillas de sílice crema, baritina, baritina/hematita, pirita y pirita/enargita/covelita que se encuentran cercanos al intrusivo dacítico y la diatrema.

La mineralización de oro-cobre de baja ley ($\text{Au} \square 0.5 \text{ ppm}$, $\text{Cu} \square 100 \text{ ppm}$) está relacionada a la brecha Ypq-bx que se encuentra al borde y cercano al intrusivo dacítico.

La zona de tufos fracturados y brechas hidrotermales sílice-óxidos están controlados por la intersección de estructuras de dirección NW, NE y NS. Estas zonas con buena permeabilidad concentran mineralización de oro de mediana ley ($\text{Au} \square 0.8 - 1.2 \text{ ppm}$).

MIRANDO AL ESTE

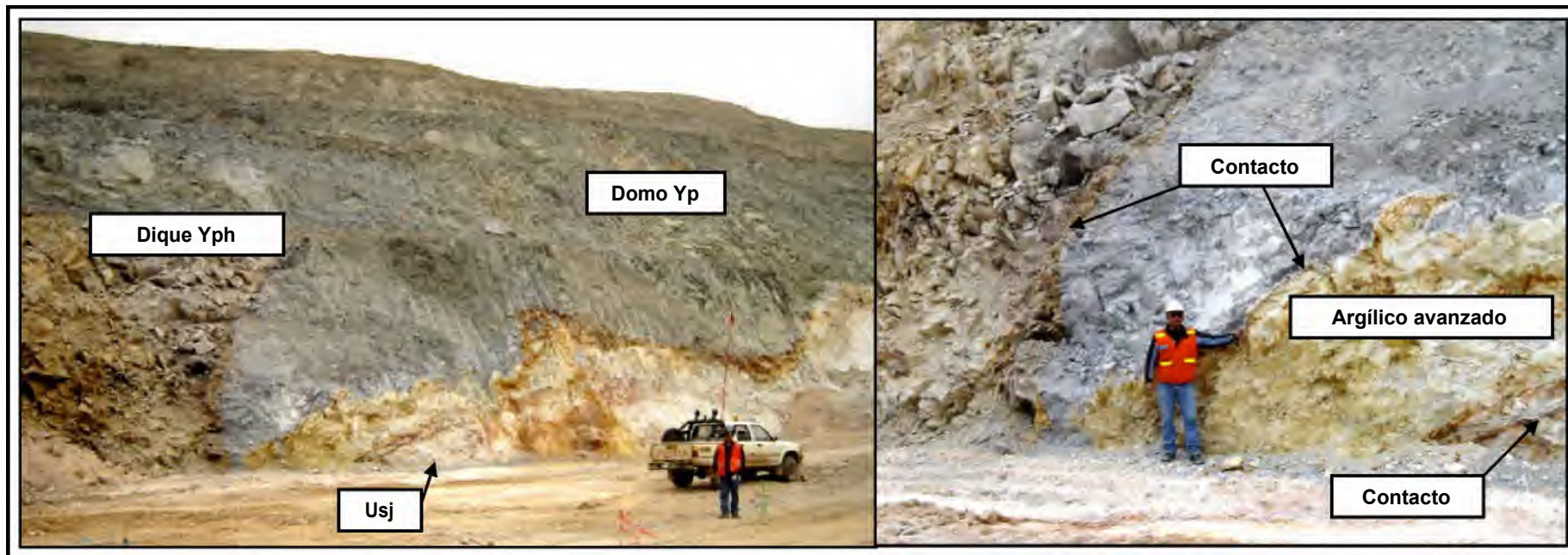


Foto.17 . Yanacocha Sur, contacto del lava-domo con el tufo lítico.

MIRANDO AL SUR - ESTE

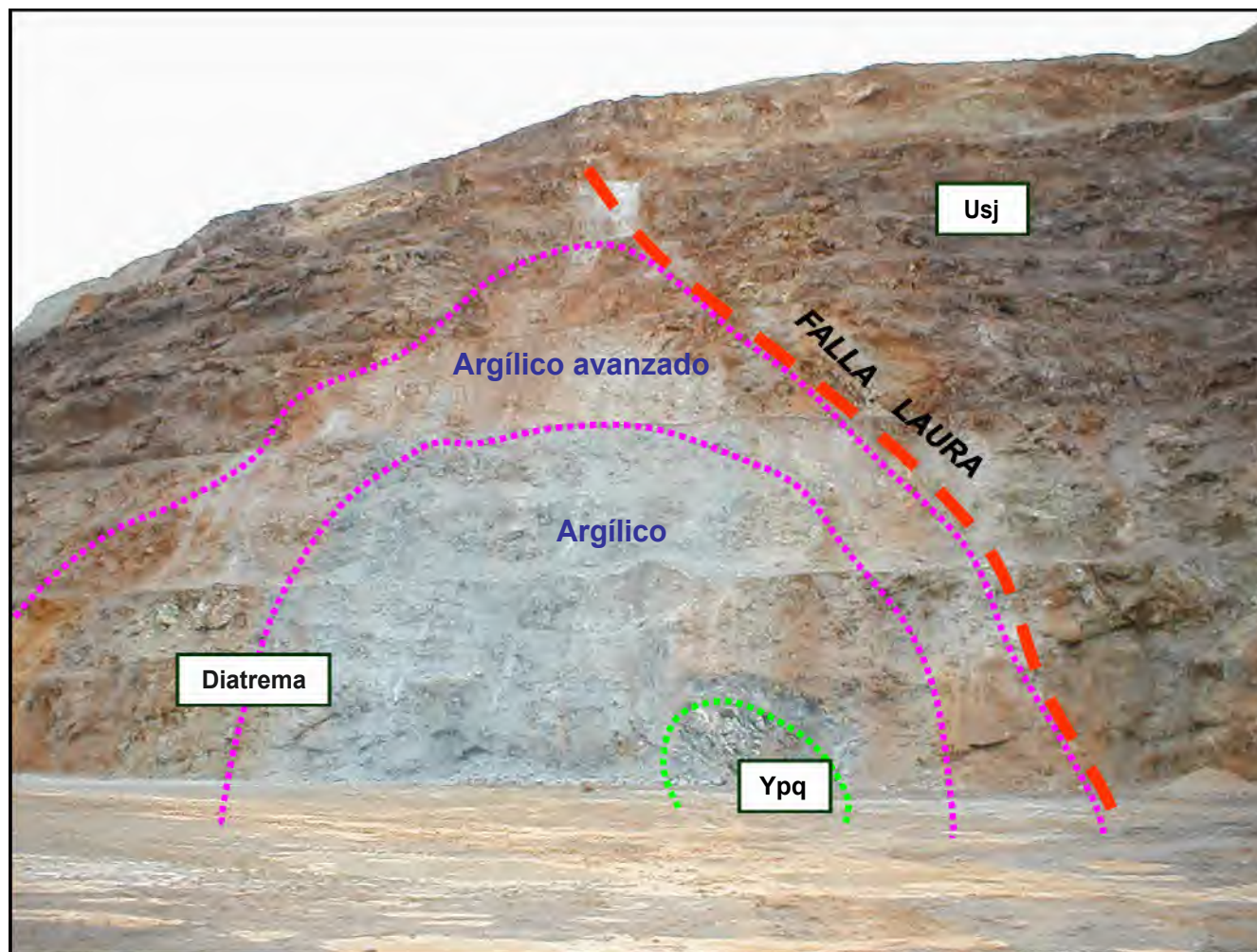


Foto.18 . La falla Laura controlando el emplazamiento del Ypq y la Diatrema.

MIRANDO AL SUR

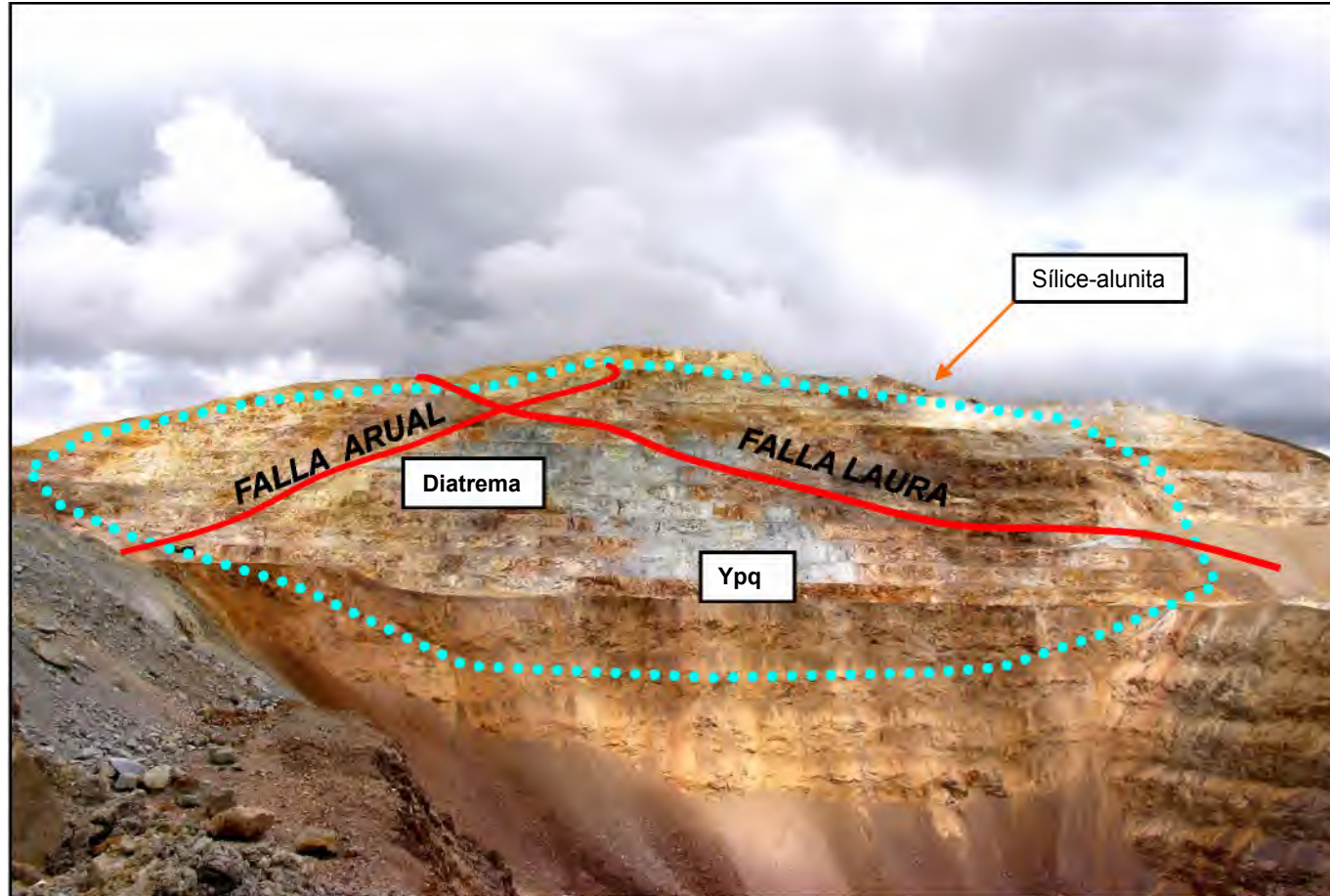


Foto.19 Cerro Encajon, alteración argílica avanzada (sílice-alunita)

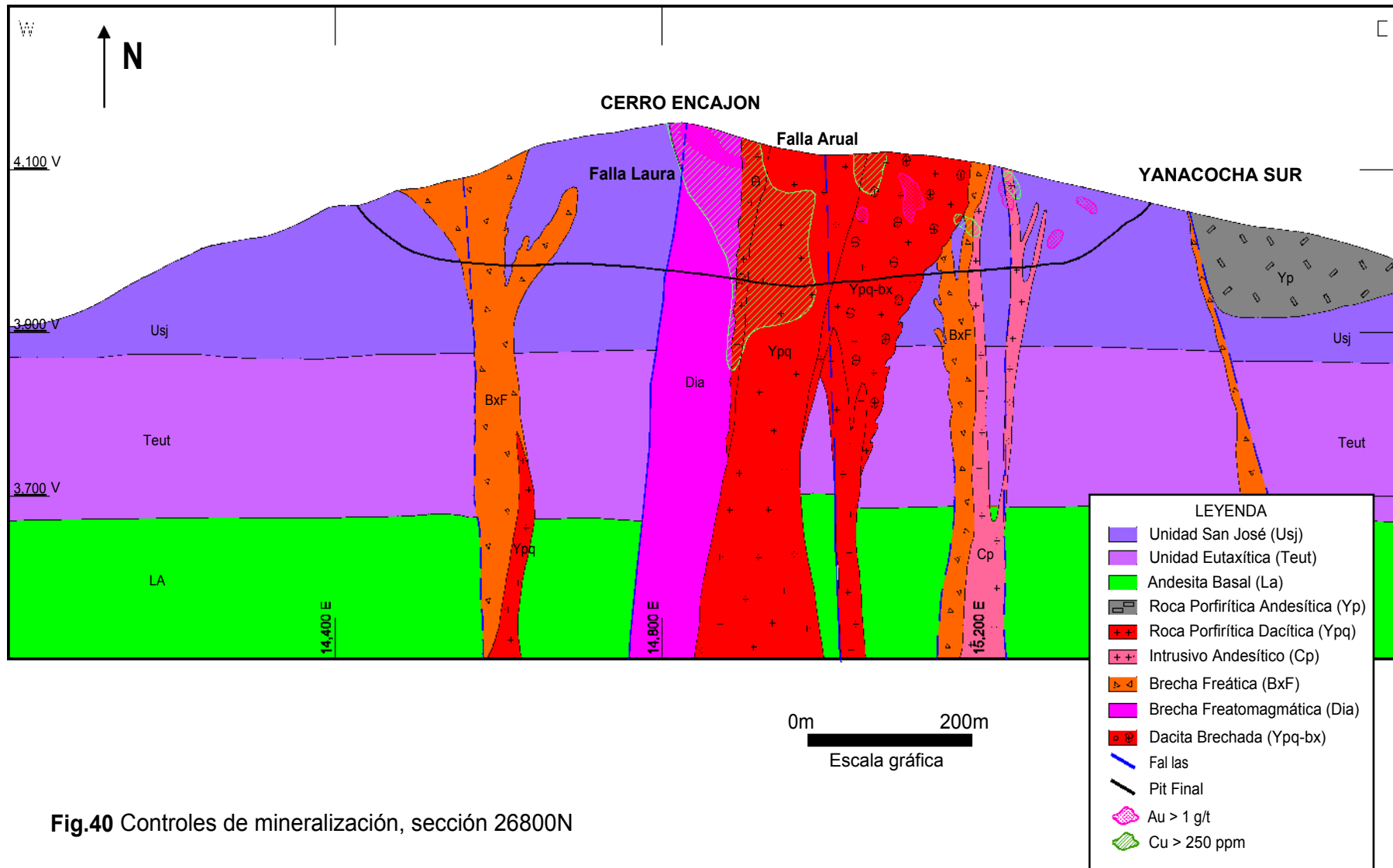


Fig.40 Controles de mineralización, sección 26800N

8.2 Control Litológico

La roca huésped predominante en el Cerro Yanacocha son los tufos líticos y tufos de cristales. Estas rocas con buena permeabilidad y porosidad fueron más receptivas para la infiltración de los fluidos hidrotermales.

Yanacocha Oeste, en la zona de óxidos la mineralización de oro (Au \approx 0.6-1.2 ppm) se concentra los tufos de cristales con líticos, pertenecientes a la unidad San Jose. La mineralización de oro-cobre (Au \approx 0.3 ppm, Cu \approx 200 ppm en promedio) está distribuida en la matriz de las brechas freáticas y freatomagmáticas.

En Yanacocha Sur, existe un evidente control litológico en los tufos de cristales pertenecientes al Teut. (Fig.36). La mineralización de oro-cobre (Au $>$ 1 ppm, Cu $>$ 250 ppm), se concentra en los niveles de óxidos y transicional. Los minerales característicos son la pirita, covelita y enargita principalmente.

8.3 Control de alteración

La sílice es la alteración que hospeda la principal mineralización aurífera en Yanacocha. La sílice vuggy, sílice masiva y sílice brechada con óxidos de hierro, son las que comunmente forman los cuerpos mineralizados.

En el Cerro Yanacocha la mineralización de oro de mediana a alta ley (Au \approx 0.5 -7 ppm) se concentra principalmente en los horizontes de sílice vuggy y sílice masiva.

Capítulo 9: Análisis kinemático estructural

9.1 Introducción

Durante 2 años tuve la oportunidad de mapear en los Tajos de Yanacocha Sur, Yanacocha Oeste y el Cerro Encajon. Basado en las evidencias de campo, revisiones y discusiones con Javier Veliz, Pete Rogowsky, los geólogos de Ore Control, y revisando las publicaciones de consultores y geólogos de la empresa, se realizó el análisis kinemático y la interpretación de la geología estructural del Cerro Yanacocha.

9.2 Análisis de esfuerzos

Los resultados obtenidos en los diagramas de rosas de juntas en el Cerro Yanacocha, muestran la dirección de los principales esfuerzos de compresión que sucedieron en el área de estudio, entre ellas tenemos: EW, N20-30W y N60-80E.

ENCAJON	YANACOCCHA SUR	YANACOCCHA OESTE
Fallas N50 - 70E EW y NS03 N30 - 50W	Fallas N80E N60W y N50 - 60W N10E	Fallas N60W N40 - 50E NS
Junturas N60 - 80E EW y NS N20 - 30W	Junturas N20 - 30W N60 - 70E y EW NS - WNW	Junturas EW y NS N20 - 30W N50 - 60W
	Brechas EW N50 - 60E NNE	Brechas N30 - 80W N80W N60 - 70E

Tabla.03: Dominios preferenciales de las estructuras en el Cerro Yanacocha

En la tabla 03, se muestra el resumen de los principales dominios estructurales analizados en los diagramas de rosas del capítulo anterior.

Las juntas de tipo 1 y las venillas, juegan un papel importante para la construcción del modelo de esfuerzos, debido a que estas representan la dilatación o extensión en el área de estudio. Para un mejor entendimiento del modelo kinemático de

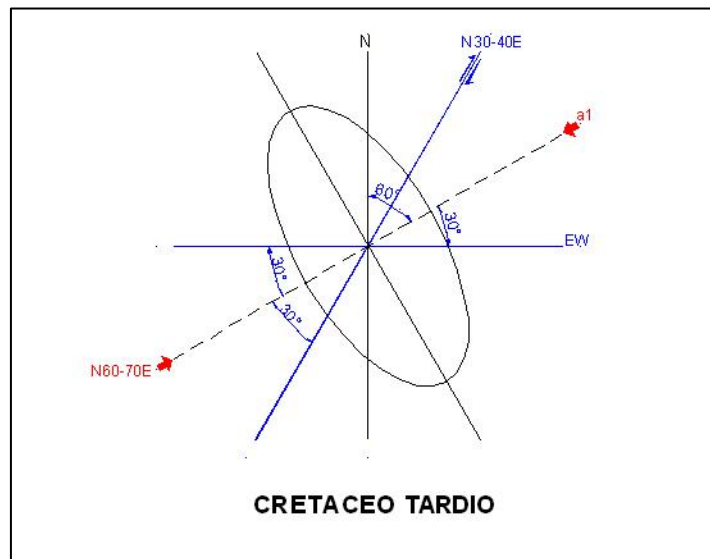
esfuerzos se ha realizado un plano de estructuras donde se muestra la dirección de esfuerzos relacionados a la densidad de juntas de tipo 1 distribuidos en todo el Cerro Yanacocha (Fig.41).

9.3 Modelo Kinemático de esfuerzos

De acuerdo al análisis de esfuerzos se evidencian que al menos 3 eventos tectónicos distintos sucedieron en el Cerro Yanacocha. Entre ellos tenemos los esfuerzos de dirección N60-80E, EW y N20-30W.

Para entender la formación de fallas mediante esfuerzos compresivos se recurrió al modelo experimental realizado por Riedel en 1980.

Dirección N60-80E, los datos kinemáticos preliminares y el mapeo de campo soportarán la dirección de esfuerzo NE. Según la elipse de esfuerzos mostrado debajo, el sigma 1 es de dirección NE, dando origen a la formación de fallas de dirección NNE de movimiento dextral y fallas de dirección EW de movimiento sinistral. Este esfuerzo está relacionado a la deformación que afectó el basamento en el cretáceo tardío. Evidencias de este esfuerzo no se encuentran en Cerro Yanacocha, pero se muestran en los pliegues de las rocas sedimentarias en los alrededores al distrito de Yanacocha.



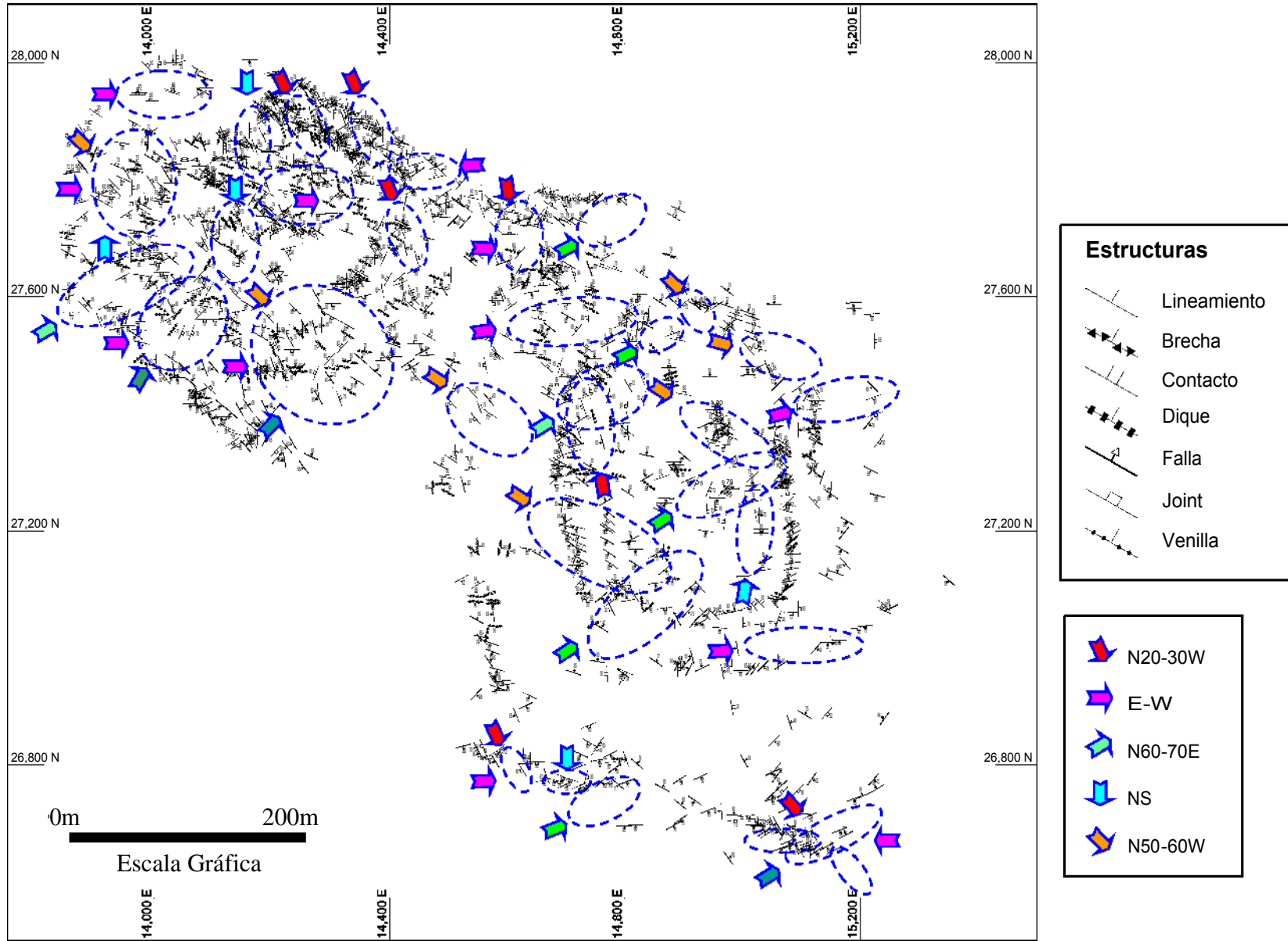
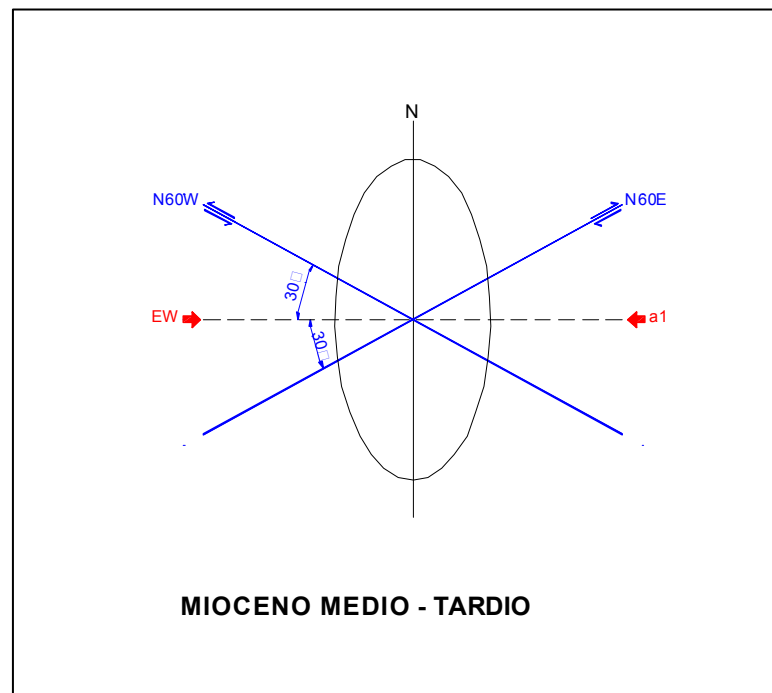


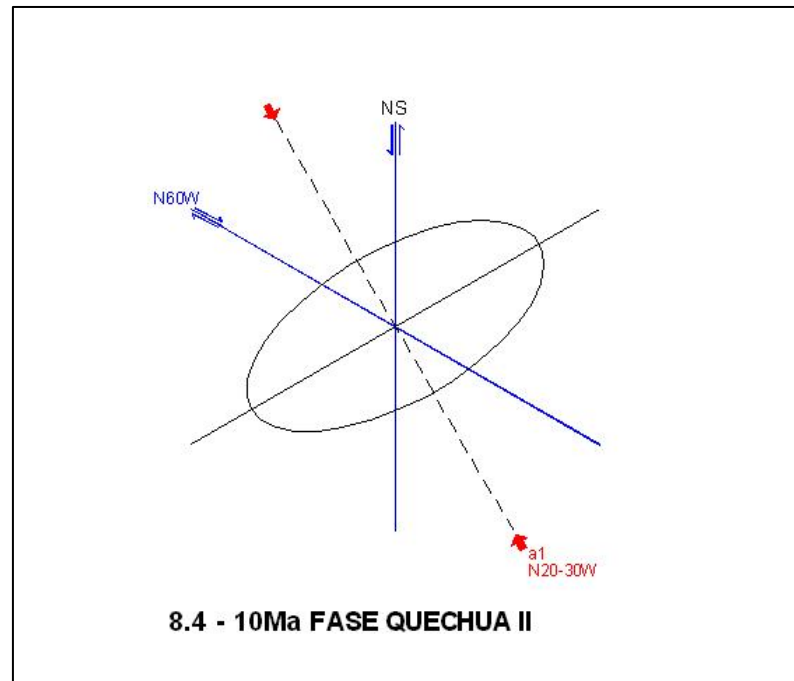
Fig.41 Direcciones preferenciales de esfuerzos (delta 1)

Dirección EW, en la elipse de esfuerzos mostrado debajo, el sigma 1 es de dirección EW pudiendo variar entre 10 a 20° en cada lado. Este esfuerzo forma fallas de dirección NW de movimiento sinestral y fallas de dirección NE de movimiento dextral, manifestándose en las rocas volcánicas del Mioceno Medio. Evidencias de este esfuerzo son las fallas dirección NW y NE que abundan en el Cerro Yanacocha, entre las principales tenemos la Falla Dinosaurio, la Falla Laura y la Falla Arual. Además de producir dominantes juntas de tipo 1 mineralizadas y venillas que se muestran muy localmente de dirección EW. En la pared sur de Yanacocha Oeste la falla Laura evidencia que hubo un sistema distensivo, por la formación de fallas normales con estrias subverticales.



Dirección N20-30W, en la elipse de esfuerzos mostrado debajo, el sigma 1 es de dirección N20-30W. Este esfuerzo forma fallas de dirección NS de movimiento sinestral y fallas de dirección N60W de movimiento dextral. Evidencias de este esfuerzo son las juntas, venillas y diques de brecha orientados en dirección NNW y NW. Sin embargo estas estructuras no son tan importantes como las estructuras mineralizadas en dirección EW, debido a que estas se presentan localmente. Las fallas de dirección NS en el Cerro Yanacocha indican ser tardías debido a que cortan estructuras de otras

direcciones. Además las fallas de dirección EW presentan estrias subhorizontales como se mencionó en este capítulo.



9.4 Paragónesis estructural relacionado a eventos pre e inter y post-mineralización

1. Actividad tectónica, deformación durante el Cretáceo e Mioceno tardío, formando fallas transcurrentes de dirección NNE y EW.
2. Emplazamiento de domos localizados a lo largo del fallamiento NNW. Extrusión de los tufos y lavas andesíticas (Longo, Turner; 19.53-13.76 Ma).
3. Deformación en dirección EW, y formación de fallas transcurrentes de dirección NW y NE, durante el Mioceno medio a tardío (Fase Quechua I).
4. Inicio de fase distensiva. Movimiento a lo largo de fallas NW y NS, colápso de la andesita basal (LA) a lo largo de estructuras NW formando graven y horst.

5. Resurge la actividad magmática, posible reactivación de los eventos resultando la extrusión del Teut (cenizas y cristales), tufos líticos y lapillis. Teut posible 12.49Ma.
6. Ascenso de diques andesíticos horbléndicos - Yp. Débil sistema hidrotermal. Las rocas volcanoclásticas son silicificadas y ocurre una débil mineralización de Py-Au/Ag. Erupciones freáticas tempranas ocurren en este tiempo.
7. Fuerte alteración ácido sulfato, lixivia fuertemente a la unidad tufácea con líticos (Usj). Las diatremas se forman en respuesta a la interacción de agua meteórica y agua magmática, estos se emplazan a través de estructuras mayores de dirección NW. La silicificación regional en las secuencias del Teut y Usj son fuertemente fracturadas debido a los sistemas de fallas y al emplazamiento de la diatrema e intrusivos.
8. La actividad hidrotermal es fuerte, ocurre la mineralización de Au-Cu en los bordes de la diatrema, las zonas fracturadas y en las brechas hidrotermales. La mineralización de oro de alta ley ocurre en este tiempo.
9. Deformación en dirección NNW y reactivación de fallas de dirección NW y NS (Fase Quechua II).
10. Emplazamiento de intrusiones pórfidos dacíticos, a lo largo de estructuras NW. Formación del Ypq-bx en forma de cuerpos y diques de dirección NW y EW, con mineralización de Cu-Au. La mineralización de Au es de mediana ley en los bordes del intrusivo y la mineralización de Cu es >100ppm en el Ypq y en las zonas fracturadas cercanos al intrusivo.
11. Reactivación de las brechas freatomagmáticas, con mineralización de Cu-Au. Los minerales de cobre (enargita, calcosita y covelita), óxidos de hierro (hematita) y baritina aprovechan zonas permeables como fracturas, contactos y brechas hacia la superficie. Ocurren pulsaciones de alunita-oro en las brechas y fracturas.
12. Relajamiento del sistema y emplazamiento del Cp, ascenso de aguas con pH neutro. Descenso de los niveles de agua penetrando y oxidando hacia profundidad

Capítulo 10: Conclusiones

10.1 Conclusiones

- Según la geoquímica superficial, el oro, plata y cobre definen en menor o mayor grado un lineamiento NW de control de mineralización.
- El tectonismo durante el Mioceno esta bien representado en el Cerro Yanacocha debido a que se evidencian muchas estructuras en dirección EW. Entre ellas tenemos a la familia de juntas, venillas, y diques de brecha.
- No se han evidenciado grandes desplazamientos horizontales en la falla Laura y Falla dinosaurio, debido a que estas se encuentran brechadas. Desplazamientos verticales de fallas normales se observan en la Falla Laura, por tal esta evidencia una etapa extensional.
- La Falla Laura y la Falla dinosaurio están controlando el emplazamiento de la diatrema, diques de composición dacítica y andesítica, los múltiples estadios de brecha.
- Los tufos de cristales representados por la unidad eutaxítica (Teut) son rocas favorables para la mineralización de oro-cobre de alta ley en el Cerro Yanacocha.
- Los bordes del flujo-domo andesítico (Yp) y la diatrema actúan como cuerpos impermeables, concentrándose mineralización de alta ley de oro al contacto con la roca piroclástica.
- Parte importante de mineralización aurífera en el Cerro Yanacocha esta hospedado en las fracturas y microfracturas de las rocas volcánicas que se formaron debido al intenso fracturamiento ocurrido por diferentes eventos tectónicos.
- Las intrusiones pórfido dacíticos (Ypq) y las brechas freatomagmáticas están relacionados con la mineralización de Cu-Au.
- Los múltiples eventos de alteración y mineralización son la más probable explicación de la ocurrencia de un depósito de la magnitud del Cerro Yanacocha.

- Los eventos de mineralización asociados con intrusivos y brechas se han visto favorecidos por la intersección de estructuras NE y NW, y por la existencia de rocas permeables y porosas.

10.2 Recomendaciones

- Se recomienda seguir buscando blancos o *targets*, dentro y en los alrededores del Cerro Yanacocha siguiendo los patrones y criterios estructurales establecidos en este trabajo, para así identificar zonas con alto potencial.
- Para una mejor recuperación de oro en las zonas de transición y sulfuros, se recomienda identificar áreas con alto contenido de enargita. Esto en base al modelamiento de taladros.
- Se debería iniciar una etapa de relagueo de taladros en Encajón, para poder expandir el tajo hacia el sur, ya que existe un fuerte control estructural en esa área.
- Se debería realizar un estudio detallado de taladros que han quedado colgados o taladros cortos, para evaluar la posible continuidad de la mineralización a profundidad (óxidos principalmente).
- Para mejorar la calidad de mapeo e interpretaciones geológicas se debería uniformizar las abreviaturas utilizadas para la descripción de diversas litologías y alteraciones en Yanacocha.

Bibliografía

- Bell, LuJan, Mendoza and Rogowski., 2003, Mineralization controls, Yanacocha deposits
- Quiroz, Andrés., 2002, Estudio de rasgos circulares en el distrito aurífero Yanacocha y su relación con estructuras y mineralización. Informe interno de Yanacocha.
- Loayza, Carlos., 2002, Geology study of Cerro Yanacocha Gold □ Silver Deposit, Yanacocha District, Northern Peru.
- Fred Breit., May 22, 2001, Internal Memorandum. Structural Geology Interpretation of the Yanacocha District.
- Rerhrig, William A., 2001, Structural study of the Central Yanacocha District, Peru. Informe interno de Yanacocha.
- Brosnahan, D., 2001, XRD/XRF Analysis and petrographic descriptions of Yanacocha type units. Unpublished report prepared by Newmont Metallurgical Services, 26p.
- Sillitoe, R.H., 2001, Short review of the sulfide project, Yanacocha, Peru. Unpublished report to Newmont Exploration Limited, 11 p.
- Véliz J., and Teal, L., 2001, Compiled regional geologic map around the Yanacocha district. Unpublished Minera Yanacocha S.R.L. map.
- Thompson, T.B., 2000, Geology of the Yanacocha ore zone. Unpublished report to Newmont Exploration Limited, 20 p.
- Hedenquist, J.W., 2000, Observations from the Yanacocha and Minas Conga properties, northern Peru: relationship between epithermal and porphyry environments. Unpublished report to Minera Yanacocha S.R.L., 44 p.
- Myers, S.A and Williams, C., 2000, Geologic evolution of the Yanacocha district high sulfidation gold system, in *Geology and Ore Deposits: The Great Basin and Beyond*, Program with abstracts, Geological Society of Nevada, p. 65.
- Noble, D., and McKee, E., 1999, The Miocene metallogenetic belt of central and northern Peru, in Skinner, B., ed., *Geology and ore deposits of the Central Andes*, Society of Economic Geologists Special Publication Number 7, p. 155-193.
- Petersen, U., 1999, Magmatic and metallogenetic evolution of the Central Andes, in Skinner, B., ed., *Geology and ore deposits of the Central Andes*, Society of Economic Geologists Special Publication Number 7, p. 109-153.

- Harvey, B.A., Myers, S.A., and Klein, T., 1999, Yanacocha gold district, northern Peru, in Australian Institute of Mining and Metallurgy, PacRim '99, Bali, Indonesia, 10-13 October, Proceedings, p. 445-459.
- Benavides-Cáceres, V., 1999, Orogenic evolution of the Peruvian andes: the Andean cycle, in Skinner, B., ed., Geology and ore deposits of the Central Andes, Society of Economic Geologists Special Publication Number 7, p. 61-107.
- Turner, S.J., 1997, The Yanacocha epithermal gold deposits: high sulfidation mineralization in a flow dome setting. Unpublished PhD thesis, Colorado School of Mines, Colorado, 263 p.
- Quiroz, Andrés., Julio, 1997. El corredor estructural Chicama - Yanacocha y su importancia en la metalogenia del norte del Perú. XI Congreso Peruano de Geología. Vol. Res. Extend, Lima 149-154
- Turner, Stephen, J., 1997. The Yanacocha Epithermal Au deposits, northern Perú high-sulfidation mineralization in a flow dome setting. PhD Thesis. Colorado School of Mines, Colorado U.S.A.
- Abarca, D., and Harvey, B., 1997, Modelo geológico del proyecto Encajón, in Resúmenes extendidos IX Congreso Peruano de Geología, p. 3-8.
- Sillitoe, R.H., 1996, Comments on geology and exploration of the Yanacocha gold district, Peru. Unpublished report to Newmont Exploration Limited, 21 p.
- INGEMMET, 1995, Geología del Perú. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima, Boletín 55 serie A, 177 p.
- Cardozo, M., and Cedillo, E., 1994, Geologic-metallogenetic evolution of the Peruvian Andes, in Fontboté, L., Amstutz G.C., Cardozo, M., Cedillo E., and Frutos, J., eds, Stratabound ore deposits in the Andes, Special Publication Number 8 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits, p. 37-60.
- Moore, D.M., and Reynolds, R.C., 1989, X-ray diffraction and the identification and analyses of clay minerals. Oxford University Press, New York, 332 p.
- Megard, F., 1987, Structure and evolution of the Peruvian andes, in Hagemann, S.G., and Brown, P.E., eds., The anatomy of mountain ranges, Princeton, New Jersey, Princeton University Press, p. 179 - 210.
- Reyes, L., 1980, Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima, Boletín 31 serie A, 71 p.