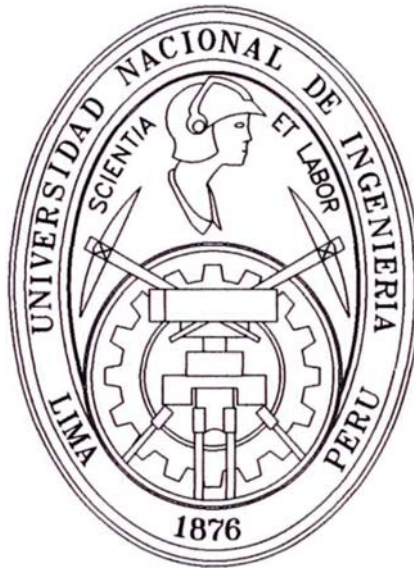


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



***“EXPLORACIÓN POR COBRE EN EL PROYECTO
ALTO HUANCANÉ, DISTRITO MINERO DE
TINTAYA - CUZCO, PERÚ”***

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTADO POR:

FAUSTO ISAAC MARTEL QUINTANA

LIMA, PERU

2009

*A: mi padre, hermanos y a la memoria
de mi tío Saturnino Quintana.*

Agradecimientos

Primero agradecer a la vida por permitirme escribir este trabajo, haciendo posible de compartir con usted lector estos conocimientos, agradecerle por su lectura, su tiempo muy valioso y espero contribuir con su espíritu investigador. Este trabajo es el resultado de un esfuerzo razonado soportado en los conocimientos impartidos por los catedráticos de la Universidad Nacional de Ingeniería durante mi formación, de haber participado en eventos de capacitación, en trabajos de campo y lecturas. Mi agradecimiento al Dr. Rolando Carrascal Miranda y al M.Sc. Atilio Mendoza por sus sugerencias desinteresadas para que este texto tenga una aceptable presentación.

Declaro mi franco agradecimiento a la empresa BHPBilliton (2006) en su Gerente de exploraciones Jorge Fierro y al Dr. César Muñoz por permitirme hacer uso parte de la data del Proyecto Alto Huancané para este trabajo y al personal de Brownfield BHPBilliton por su apoyo.

Es también hacer público mi agradecimiento por su colaboración a J.C. Martel, C. Mendoza y A M Pimentel por compartir sus conocimientos informáticos; a Raymond Rivera por sus sugerencias del tratamiento estadístico con el SPSS; al Dr Nestor Chacón, a Sergio Cardoso y Humberto Chirif por sus sugerencias.

Índice

	Página
Agradecimientos	I
Índice de figuras	IV
Índice de tablas	VI
Resumen	1
1 INTRODUCCIÓN	2
1.1 Presentación	2
1.1.1 Antecedentes	2
1.1.2 Ubicación y acceso	3
1.1.3 Geomorfología	4
1.1.4 Clima	6
1.2 Planteamiento del problema	6
1.3 Objetivos de la investigación	6
1.4 Metodología del trabajo	7
2 CONTEXTO REGIONAL	8
2.1 Geología regional	8
2.2 Geología estructural	9
3 GEOLOGÍA DISTRITAL	12
3.1 Geología del Distrito Minero de Tintaya	12
3.2 Columna estratigráfica	15
3.3 Alteración y mineralización	20
3.4 Prospección Geofísica	21
3.4.1 Magnetometría	22
3.4.2 Resistividad / Polarización Inducida	22
4 EXPLORACIÓN EN EL PROYECTO ALTO HUANCANÉ	24
4.1 Geología local	24
4.1.1 Unidades sedimentarias y metamórficas	24
4.1.2 Unidades intrusivas	32
4.1.3 Skarn	42
4.1.4 Alteración hidrotermal	43
4.1.4.1 Alteración temprana	44
4.1.4.2 Alteración progradada	47
4.1.4.3 Alteración retrogradada	49
4.1.4.4 Alteración de temperatura baja	50
4.1.5 Mineralización	50
4.2 Geología estructural	51
4.3 Exploración geoquímica	57
4.3.1 Geoquímica de roca y suelo	57
4.3.2 Perforación diamantina	60
4.3.2.1 Geoquímica de testigos	60
4.3.2.2 Matriz de correlación	63

	Página
5 DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	76
5.1 Geología regional	76
5.2 Geología distrital	76
5.3 Geología local	77
5.3.1 Alteración hidrotermal y mineralización	77
5.3.2 Estructuras	79
5.4 Geoquímica	80
5.5 Modelo de Depósito de Cobre en Skarn asociado a un Pórfido de Cobre en el Distrito Minero de Tintaya	82
6 CONCLUSIONES	87
7 RECOMENDACIONES	90
8 BIBLIOGRAFÍA	91

Índice de figuras

	Página
1 Plano de ubicación del Proyecto Alto Huancané.	5
2 Geología generalizada de la región Andahuaylas-Yauri.	9
3 Geología estructural de la región Andahuaylas-Yauri.	11
4 Geología de la Mina Tintaya.	13
5 Columna estratigráfica del Distrito Minero de Tintaya.	19
6 Plano geológico del Proyecto Alto Huancané.	26
7 Sección geológica según el sondaje DDH AH 01.	27
8 Sección geológica según el sondaje DDH AH 01a.	28
9 Sección geológica según el sondaje DDH AH 02.	29
10 Cuarzita con playas de piroxeno y pirita, DDH AH 01a.	30
11a Mármol gris con estructura laminada y playas de chert, DDH AH 03.	30
11b Mármol blanco tapizado de óxido de hierro, DDH AH 07.	30
12a Hornfels de biotita y piroxeno con venillas de cuarzo, DDH AH 01.	31
12b Mármol blanco pardo con venillas de calcita, DDH AH 03.	31
13 Hornfels de piroxeno y biotita en bandas coliformes, DDH AH 03.	31
14 “Roca fluidal” de composición diorítica, DDH AH 01.	32
15 Diorita con bandas delgadas de albitización, DDH AH 04.	33
16 Sección geológica según el sondaje DDH AH 03.	34
17 Sección geológica según el sondaje DDH AH 04.	35
18 Sección geológica según el sondaje DDH AH 06.	36
19 Pórfido monzonita PM 52, DDH AH 04.	37
20a Pórfido monzonita PM 55 con ojos de cuarzo, DDH AH 01.	38
20b Pórfido monzonita PM 55 con textura seriada, DDH AH 05.	38
21 Sección geológica según el sondaje DDH AH 07.	39
22 Pórfido monzonita PM 54, DDH AH 01a.	40
23a Pórfido monzonita PM 56 (latita), DDH AH 02.	41
23b Pórfido monzonita PM 56 (latita) con mayor matriz, DDH AH 05.	41
24 Pórfido diorita (código 58), DDH AH 03.	42
25a <i>Skarn</i> de magnetita con remanentes de mármol, DDH AH 03.	44
25b <i>Skarn</i> de piroxeno, DDH AH 06.	44
26a Pórfido monzonita PM 52 con alteración potásica y sílice, DDH AH 03.	45
26b Pórfido monzonita PM 54 con feldespatos albitizados, DDH AH 02.	45
27 Diorita con albitización-epidota y epidota en venillas, DDH AH 06.	46
28 Pórfido monzonita PM 52 con argilización-sericita, DDH AH 02.	47
29a Endoskarn en el pórfido monzonita PM 52, DDH AH 06.	48
29b Endoskarn en la diorita, DDH AH 04.	48
30 Endoskarn en el pórfido monzonita PM 55, DDH AH 01a.	48
31 Endoskarn en el pórfido diorita fluidal, DDH AH 03.	49
32 Plano de lineamientos–Alto Huancané, escala 1:7000.	52
33 Diagrama de roseta para orientaciones de lineamientos–Alto Huancané.	53
34a Mármol gris con fracturas irregulares rellenas de calcita, DDH AH 03.	55
34b Pórfido monzonita PM 52 craquelada.	55
35a Brecha polimíctica, DDH AH 03.	56
35b Brecha polimíctica, DDH AH 06.	56
36 Caliza con oquedades producto del proceso cárstico, DDH AH 07.	56
37 Plano geoquímico de roca por cobre en el Proyecto Alto Huancané.	58

	Página
38 Plano geoquímico de suelo por cobre en el Proyecto Alto Huancané.	59
39 Sección transversal-croquis del tajo Chabuca Este, Mina Tintaya.	85
40 Sección transversal-croquis del tajo Chabuca Sur, Mina Tintaya.	85
41 Sección transversal del Proyecto Coroccohuayco.	86

Índice de tablas

	Página
1	Accesibilidad al Proyecto Alto Huancané. 3
2	Accesibilidad al Proyecto Alto Huancané por vía aérea más terrestre. 4
3	Características principales de las rocas intrusivas en el Proyecto Alto Huancané. 42
4	Tramos de testigos, registrados, con minerales de cobre. 50
5	Tramos de testigos, registrados, con minerales de cobre. 51
6	Sondajes ejecutados en el Proyecto Alto Huancané. 60
7	Matriz de correlación para elementos en la diorita. 69
8	Matriz de correlación para elementos en el pórfido diorita 60. 70
9	Matriz de correlación para elementos en el pórfido monzonita 52. 71
10	Matriz de correlación para elementos en el pórfido monzonita 55. 72
11	Matriz de correlación para elementos en el pórfido monzonita 54. 73
12	Matriz de correlación para elementos en el pórfido monzonita 56. 74
13	Matriz de correlación para elementos en el pórfido diorítico 58. 75

Resumen

El Proyecto Alto Huancané (1025 hás) se ubica en el Distrito de Yauri, Provincia Comandante Espinar, Región Cuzco del Perú, a un kilómetro al este de la Mina Tintaya y es parte del Distrito Minero de Tintaya.

Fundamentado en la geología y geoquímica por cobre de las muestras tomadas de rocas y de suelos se desarrolló ocho sondajes diamantinos inclinados, haciendo un total de 2301.75m. Simultáneo a la perforación se realizó el logueo al detalle y el análisis de las muestras de testigos en el laboratorio SGS por 34 elementos más el oro.

Las características geológicas del Proyecto Alto Huancané son semejantes con las de la Mina Tintaya es decir es un depósito tipo *skarn* de cobre asociado a un pórfido de cobre. Presenta zonas con alteración temprana (potásica, sílica, albitización y sericita) en el intrusivo del tipo de un Sistema de Pórfido de Cobre con el probable desarrollo contemporáneo de la alteración progradada del *skarn* de granate-piroxeno-magnetita y traza de calcopirita en la caliza, y granate-piroxeno-epidota-albita-ortoza, pirita y calcopirita en traza en el pórfido monzonítico. Una alteración propilítica (epidota-calcita-clorita-pirita diseminada y en venillas) se observa en la periferia de la alteración mencionada en el intrusivo.

La alteración hidrotermal y la escasa mineralización se encuentran asociadas al contacto inmediato del pórfido monzonítico PM 52, PM 54 y PM 55 con la caliza de la Formación Ferrobamba. Estos pórfidos se han emplazado a modo de stocks pequeños y diques.

En el área de estudio afloran cuerpos de *skarn* de granate-magnetita pequeños, aislados y lixiviados con limonita, goethita, jarosita, cuprita, crisocola, trazas de malaquita y remanentes de calcopirita.

La deformación frágil-dúctil fue muy intensa es caracterizada por la presencia de sistemas de fracturas, fallas mayores de cinemática normal NE, NO, N-S e inversas de dirección NO, más sistemas de ejes de pliegues E-O, NE, NO y pliegues volcados.

La ley hipógena promedio de cobre es baja en general, por ejemplo para el exoskarn del sondaje DDH AH 06 es de 0.16 % Cu en una longitud (suma de tramos) de 36.25 mts y en el endoskarn del pórfido monzonítico 52 (34.45 mts.) es de 0.13% Cu. Mayormente la presencia del cobre corresponden a cuerpos de *skarn* pequeños de algunos metros; esto hace que el Proyecto Alto Huancané no sea de interés económico.

La caracterización espacial de las litologías vinculadas (pórfido monzonita 52, diorita 51 y calizas) a la formación de un depósito de cobre en *skarn* como el de la Mina Tintaya, hace al Proyecto Alto Huancané aún prospectable en su sector norte por el registro de una diorita en profundidad con el sondaje DDH AH 06. Este cuerpo de diorita interseccionado no se logró atravesarla, también se cortó el pórfido monzonita 52 y la secuencia carbonatada en los niveles superiores.

En el Proyecto Alto Huancané no existe afinidad del cobre con algún otro elemento por lo que al aplicar el método geoquímico en las exploraciones se debe de trabajar con los valores del cobre para determinar blancos de prospección.

1 INTRODUCCIÓN

Un gran número de cuerpos de *skarns* se han reconocido en la proximidad y en el contacto entre el Cinturón Magmático de Andahuaylas-Yauri y las rocas carbonatadas de la Formación Ferrobamba, parte de ellos han favorecido la precipitación de sulfuros, por lo que los cuerpos de *skarn* han adquirido importancia como guía de exploración por sulfuros de cobre en la periferia del cinturón magmático.

En el extremo sur del cinturón magmático, las rocas ígneas son de composición intermedia, de edad entre el Eoceno Medio (~ 48 Ma) y Oligoceno Temprano (~ 32 Ma) (Perelló et. al., 2003), en ella se ubica el Distrito minero de Tintaya situada al sureste de la ciudad de Yauri (figura 1) y según la geomorfología es parte del borde noreste, de la parte sur de la cordillera occidental del Perú (zona intercordillerana). En este distrito sobresale la Mina Tintaya de cobre, operada por la empresa Xstrata Tintaya, es un depósito de *skarn* cuprífero emplazado principalmente en las rocas sedimentarias calcáreas de edad Cretáceo inferior.

Cuando BHPBilliton Tintaya operaba la Mina Tintaya, hasta mediados del 2006, desarrolló simultáneamente un programa de exploración, a través de su departamento de *Tintaya Brownfields* dentro de las áreas vecinas a la mina para incrementar sus recursos de minerales. Es así, que uno de sus trabajos de investigación fue el **Proyecto Alto Huancané**.

1.1 Presentación

1.1.1 Antecedentes

Varias compañías mineras operaron las concesiones mineras de Tintaya; así, en 1917 la empresa Andes Exploration of Mine realizó las primeras perforaciones, evidenciando la existencia de mineral en la zona. Luego en 1940, diferentes compañías realizaron visitas de trabajo al área de Tintaya como: American Smelting, Anaconda Copper Mining, Hochschild, Kennecott Copper Corp. y Cerro de Pasco Corp. esta última, en el año 1952 tomó la propiedad para continuar desarrollando trabajos de exploración.

En Setiembre de 1971, el estado peruano adjudicó a Minero Perú los derechos para la explotación de los depósitos de Tintaya. Esta empresa del estado contrató a H.A. Simons Internacional Ltd., quienes prepararon el estudio de factibilidad de explotación del depósito y posteriormente en 1978 elaboraron el estudio de ingeniería básica. El 2 de mayo de 1980, se constituye la empresa Estatal Minera Asociada Tintaya S.A. (EMATINSA), de acuerdo a la ley General de Minería. Mediante D.L. No. 109 cambia su status legal por la de Empresa Minera Especial Tintaya S .A. (TINTAYA S.A.), iniciando sus operaciones en 1985.

El 29 de Noviembre de 1994, según el programa de privatización de las empresas mineras operada por el estado peruano, el Consorcio Norteamericano Magma Copper Co/Global Magma Ltd. se adjudicó la buena pro en subasta internacional. La

nueva Junta General de Accionistas decidió modificar los estatutos y el nombre de la empresa a Magma Tintaya S.A., subsidiaria de Magma Copper Co.

Mas tarde, el 9 de Enero de 1996, Broken Hill Proprietary Inc. (**BHP**) australiana adquirió a Magma Copper Company, para luego el 30 de mayo de 1996, la Junta General de Accionistas de BHP deciden el cambio de la denominación social de "MAGMA TINTAYA S.A." a "BHP TINTAYA S.A."

En Setiembre 2001 las compañías BHP Ltda y Billinton Plc (empresa inglesa) se fusionaron dando lugar el nacimiento de una nueva empresa BHPBilliton Tintaya S.A. quienes venían operando la mina Tintaya y a través de su departamento Brownfields exploró las zonas circundantes a los tajos abierto de la mina. Una de esas áreas estudiadas, por el departamento de Brownfields, fue el Proyecto Alto Huancané durante el año 2001 y retomado en Diciembre 2004 a Abril 2005.

El 16 de mayo del 2006, la empresa minera Xstrata de nacionalidad suiza formalizó su compromiso de comprar Tintaya, con ello se da inicio a la transferencia de entrega de las operaciones de la mina y a la fecha es operada por la empresa minera suiza con la razon social Xstrata Tintaya S.A.

1.1.2 Ubicación y acceso

El Proyecto Alto Huancané con un área de 1025 hás se ubica aproximadamente a 1 kilómetro al este de las operaciones mineras de Tintaya (figura 1) y según la división geográfica política del Perú pertenece al Distrito de Yauri, Provincia Espinar, Región Cuzco.

La forma rectangular, del proyecto en estudio, permite delimitar esta por las coordenadas de los vértices opuestos en el sistema de proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) de datum Provisional para América del Sur de 1956/19S: 252000E, 8351000N a 254500E, 8355100N con cotas que van de 4000 a 4300 m.s.n.m.

El proyecto es accesible desde la capital del Perú por la ruta: Lima – Arequipa – Tintaya – Alto Huancané que cubre una distancia de 1264 km, otra vía más rápida es la vía aérea: Lima – Yauri continuando por vía terrestre Yauri - Tintaya – Alto Huancane que cubre vía terrestre la distancia de 25 km. La vía aérea Lima – Yauri es restringida al personal funcionario de la empresa operadora de la Mina Tintaya por ser vuelos de avionetas contratada por la empresa (Tabla 1 y 2).

Desde	A	Distancia	Tiempo
Lima	Arequipa	1009 kms	16 horas
Arequipa	Tintaya	245 kms.	4 horas 30 minutos
Tintaya	Proyecto Alto Huancané	10 kms.	0 horas 25 minutos
	Total	1264 kms.	20 hrs. 55 minutos
Lima	Cuzco	Via Aérea	1 hora 10 minutos
Cuzco	Tintaya	245 kms.	4 horas 30 minutos
Tintaya	Proyecto Alto Huancané	10 kms.	0 horas 25 minutos
	Total	255 kms.	6 horas 05 minutos

Tabla 1: Accesibilidad al Proyecto Alto Huancané

Desde	A	Vía	Tiempo
Lima	Yauri	Aérea	1 hora 30 minutos
Yauri	Tintaya	Terrestre	0 horas 15 minutos
Tintaya	Proyecto Alto Huacané	Terrestre	0 horas 25 minutos
	TOTAL		2 horas 10 minutos
Otra alternativa			
Lima	Arequipa	Aérea	1 hora 10 minutos
Arequipa	Tintaya	Terrestre	4 horas 30 minutos
Tintaya	Proyecto Alto Huacané	Terrestre	0 horas 25 minutos
	TOTAL		6 horas 05 minutos

Tabla 2: Accesibilidad al Proyecto Alto Huacané por vía aérea más terrestre

1.1.3 Geomorfología

El Proyecto Alto Huacané se encuentra en el borde oriental, de la zona sur de la Cordillera Occidental, y forma parte de la Cadena Andina Peruana. En ella es notoria la “Superficie Puna” (Mclaughlin, 1924) con una altitud que va de 4000 a 4300 m.s.n.m. donde debido a los agentes de erosión el relieve de la zona es suave, ondulada, de valles no profundos y el cauce de los ríos forman meandros. Localmente consiste en cerros y colinas de laderas con pendientes suaves a medianas, altiplanicies pequeñas, y valles no profundos.

La alta planicie regional que se observa en la vecindad del proyecto y en el Distrito Minero de Tintaya se formó probablemente después de la fase tectónica “Quechua I” de edad 17 a 14 Ma, (Dalmayrac et. al., 1988), producto de la erosión intensa en respuesta a la epirogénesis extendida de la Cordillera Occidental. Posteriormente fue cubierta por secuencias volcánicas del Mioceno superior-Plioceno, secuencias recientes de materiales conglomerádicas, areniscas aluviales y fluviales, lutitas, calizas lacustres y niveles piroclásticos del Cuaternario. Esta alta planicie también llamada “Superficie Puna”, se habría desarrollado entre las edades de 14.5 Ma a 6 Ma (Dalmayrac et. al., 1988).

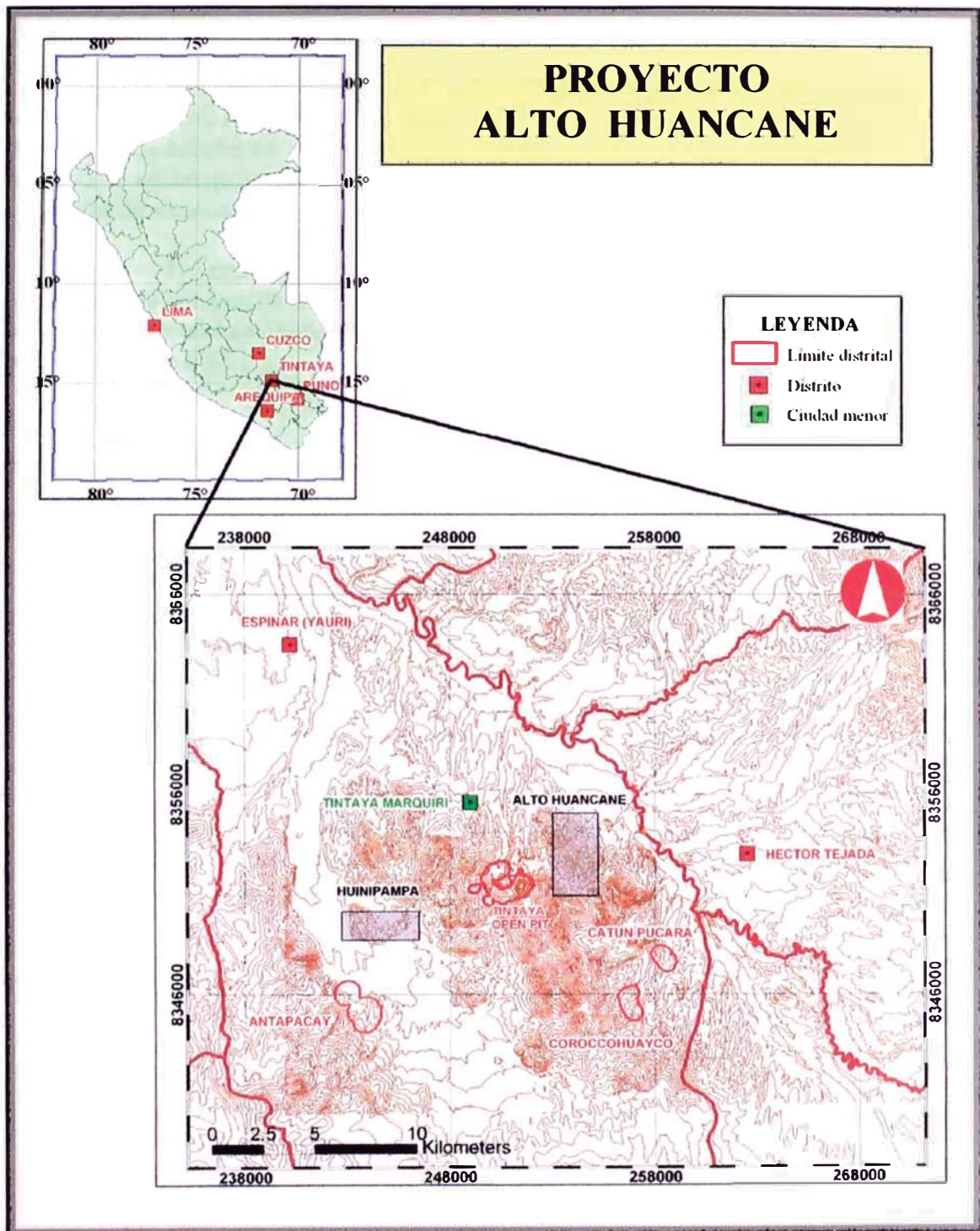


Figura 1: Plano de ubicación del Proyecto Alto Huancané y otros proyectos que conforman el distrito minero de Tintaya: Antapacay, Catun Pucara y Coroccohuayco.

1.1.4 Clima

El clima es frígido y seco durante los meses de Abril a Noviembre con temperaturas que al mediodía llegan hasta los 15°C, dentro de este contexto climático se da la época de heladas en las noches y madrugadas de Mayo a Junio, la temperatura baja hasta -5°C en las primeras horas del amanecer y también se da una temporada con corrientes de vientos muy fuertes en los meses de Junio a Agosto.

La estación húmeda se desarrolla durante los meses de Diciembre a Marzo son los tiempos de la precipitación de nevadas, granizos asociados por lo general a tormentas eléctricas y lluvia; la temperatura en el día alcanza los 10°C y en las noches baja a menos de 0°C.

1.2 Planteamiento del problema

- El área de Brownfield Tintaya cuando BHP y luego BHPBilliton operaban los trabajos de exploración y explotación durante 1997-2001 en sus concesiones mineras, hallaron proyectos muy importantes ejemplo Coroccohuayco al SE de Tintaya, Antapacay al SO de las operaciones mineras de Tintaya y otros que aún están en estudios. En Coroccohuayco la mineralización cuprífera esta hospedada en un skarn, mientras que en Antapacay en la monzonita porfirítica, brecha, diorita y cuerpos de skarn irregulares. Sin embargo, en la vecindad de la operación minera no se tuvo el resultado esperado.
- Por ello en el presente trabajo de investigación razonado, se ha estudiado el Proyecto Alto Huancané próximo a la operación de la Mina Tintaya el cual es el tema de tesis a presentar.

1.3 Objetivos de la investigación

- Determinar un modelo geológico para el depósito, sobre las características de la geología, alteración y mineralización del Proyecto Alto Huancané, y contrastar con la geología de la Mina Tintaya sobre la base de campo que me toco realizar en ella y publicaciones.
- Definir las características petrográficas, mineralógicas, alteración del Proyecto Alto Huancané.
- Identificar los sistemas estructurales presentes en el Proyecto Alto Huancané.
- Determinar parámetros guías de exploración para este tipo de depósito.
- Determinar a partir de la geoquímica el contenido de cobre.
- Con el presente trabajo alcanzar el grado de Ingeniero Geólogo.

1.4 Metodología del trabajo

Durante el año 2004 y los primeros meses del 2005 se realizaron trabajos por etapas de gabinete y campo: una campaña de revisión y clasificación de documentación existente para seleccionar blancos de prospección.

Fundamentado en la geología, la geofísica, y la geoquímica a escala 1:10000 se programaron ocho sondajes diamantinos exploratorios en el Proyecto Alto Huancané. Para cada sondaje propuesto se generaron perfiles a escala 1/1000.

Simultáneamente a la construcción de accesos y plataformas de perforación se actualizó el plano geológico a escala 1/5000, mientras los perfiles de acuerdo al desarrollo y el logueo de los testigos de la perforación diamantina.

Se describieron 2301,75m de testigos en formatos de logueo, para luego pasar al corte y muestreo de los testigos, e envió al laboratorio SGS para el análisis por oro más multielementos (incluye el cobre).

El trabajo de gabinete consistió en pasar la información del logueo al detalle y los resultados de la geoquímica a formatos en versión digital, la elaboración de nuevos perfiles e interpretación de las mismas y la confección del presente trabajo.

2 CONTEXTO REGIONAL

Este capítulo se ha desarrollado basado en la revisión de trabajos publicados e información no publicadas relacionados al Cinturón Magmático de Andahuaylas-Yauri, y al Distrito Minero de Tintaya.

2.1 Geología regional

Una actividad ígnea importante que estuvo activo durante el Eoceno medio a Oligoceno temprano (Perelló et. al., 2003; Dalmayrac et. al., 1988) en la región es el Batolito de Andahuaylas-Yauri, que esta ubicado a una distancia aproximada de 250 a 300 km de la fosa de Perú-Chile actual. Este Batolito aflora en forma discontinua extendiéndose desde Andahuaylas hasta Yauri (figura 3) abarcando más de 300 km, consiste en un compósito de rocas de la serie calco-alkalina que vá desde gabros olivínico y clinopiroxenos a granitos. Abundan las litologías de composición diorítica, granodiorítica, monzonítica, cuarzo monzonita. Estas intrusiones en contacto con rocas calcáreas de los horizontes inferiores de la Formación Ferrobamba próximo al contacto con la Formación Mara, ambos del Cretáceo Inferior, en condiciones favorables han formado cuerpos de *skarns* debido al incremento de temperatura y presencia de fluidos después de la cristalización del magma. También es común que rocas de la formación Chuquibambilla y Soraya hospeden a las rocas intrusivas (parte del Grupo Yura).

Stocks porfiríticos (que aportará el cobre) del cinturón Andahuaylas-Yauri (Perelló et. al., 2003) son centrados sobre múltiples pulsos de intrusiones porfirítico que comúnmente son diques y de formas cilíndricas. En vista de planta los stocks generalmente van de 0.25 km² a 0.6 km² (25 a 60 hás), pero también incluye ejemplos más pequeños como de 150 x 50 m (0.75 hás). Otros sistemas de material ígneo (de composición diorítico) se emplazaron tempranamente, aparentemente concordantes a los estratos como en Tintaya.

La mayoría de las intrusiones estudiadas son de composición intermedia, con predominio de dacita y granodiorita. Excepciones incluye stocks cuarzo monzodiorítico (Perelló et. al., 2002), monzogranítico (MMAJ, 1983 en Perelló et. al., 2003), y cuarzo monzonítico a monzonítico en Tintaya (Fierro et. al., 1997; Zweng et. al., 1997).

Los fenocristales de ferromagnesianos más abundantes son las biotitas y anfíboles aunque piroxenos también están presentes. Anfíboles predominan en Tintaya. Otros fenocristales son dominados por plagioclasas con menos cuarzo “ojos” y ortosa. La matriz es formada principalmente por cuarzo, plagioclasa y ortoclasa en agregados microfélsico, con contenido intersticial de biotita localmente (Perelló et. al., 2003).

El ancho del Batolito Andahuaylas-Yauri es variable, va desde 130 km entre Chalhuanca-Abancay a 25 km en el distrito minero de Tintaya (figura 2 y 3). En esta última área las rocas intrusivas han intruido las secuencias de rocas sedimentarias constituidas por las formaciones: Hualhuani (Formación Soraya), Murco (Formación Mara), y Arcurquina-Muni (Formación Ferrobamba). Las rocas calcáreas se presentan como un *roof pendants*, otras veces totalmente englobadas por la masa ígnea y cortadas por el intrusivo. Parcialmente estas rocas se muestran cubiertas de material más reciente por ejemplo secuencias volcánicas de la Formación Ichocollo del Grupo Tacaza

(Mioceno al Plioceno), Formación Huaycha y Casanuma del Grupo Barroso (Plioceno superior a Pleistoceno); por sedimentos aluviales y lacustrinos de la Formación Yauri (Plioceno) y depósitos recientes del tipo glacial, fluvio-glacial, y aluvial.

La asociación de las rocas carbonatadas de la Formación Ferrobamba, fuertemente disturbadas por el material ígneo del batolito y eventos tectónicos, con yacimientos metálicos distribuidas en terrenos de la región de Apurímac y Cuzco dio lugar a que se le conozca como el Metalotecto “Ferrobamba” (Tintaya, Katanga, Alicia, San José, Las Bambas) (figura 2 y 3).

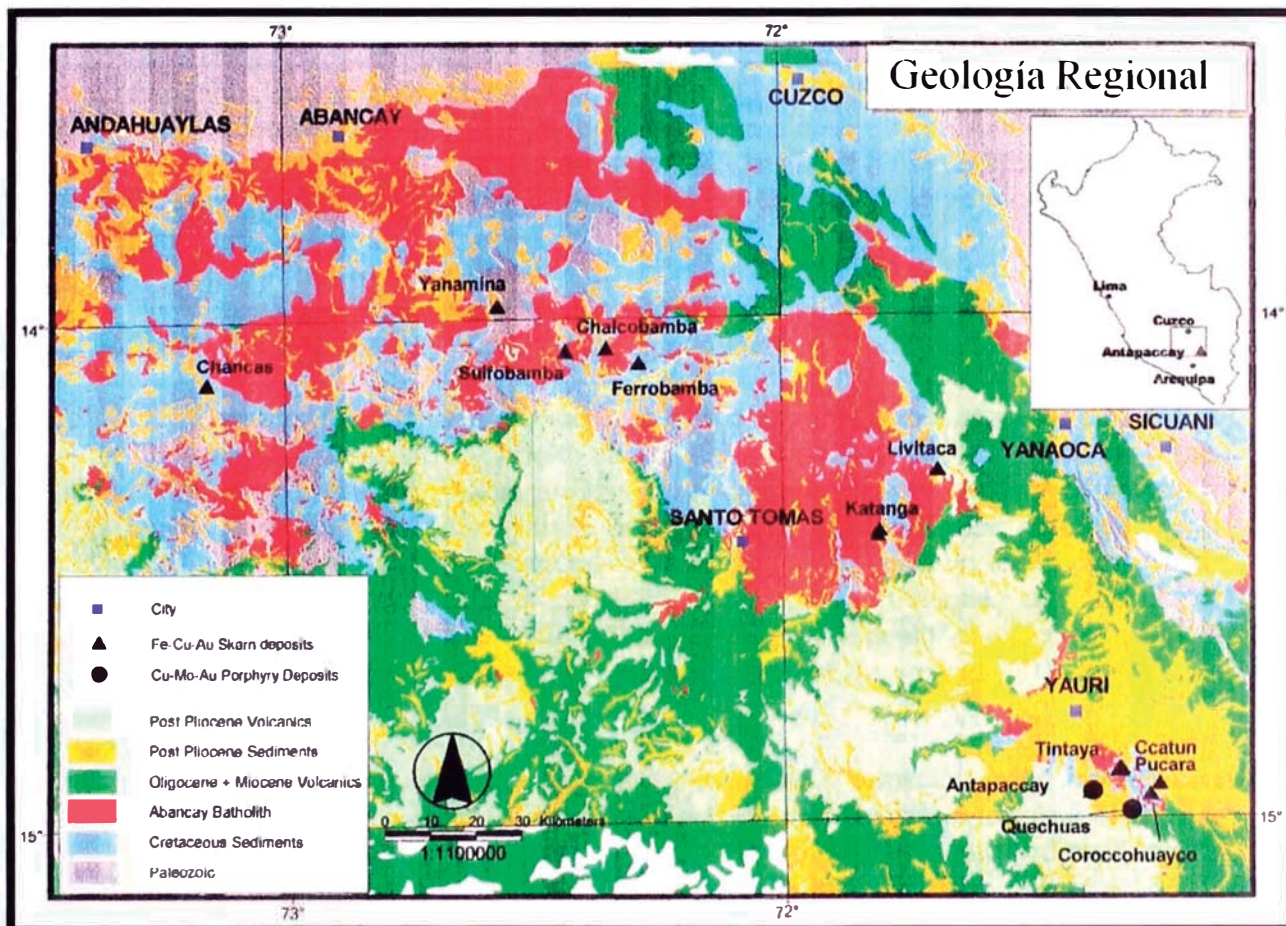


Figura 2: Geología generalizada de la región Andahuaylas-Yauri (Tomada de Brownfield BHPBilliton, 2005).

2.2 Geología estructural

Los Andes del Perú son cordilleras formadas por los diferentes regímenes tectónicos principalmente del tipo compresivo, levantamientos verticales y actividad ígnea; y estas son vinculadas a la interacción de la placa de Nazca con la Sudamericana (Dalmayrac et. al., 1988; Jaillard et. al., 2002). Una actividad ígnea importante estuvo presente en el sector de Andahuaylas-Yauri, demostrado por los afloramientos de cuerpos ígneos distribuidos al sur inmediato de la Deflección de Abancay (estructuras

predominantes E-O) (Marocco, 1978 en Perelló et. al., 2003) hasta algo más al sureste de la ciudad de Yauri.

En la zona sur de la Cordillera Occidental, en su borde noreste es el dominio de las secuencias litológicas de la era Mesozoica a Cenozoica, las rocas de origen sedimentario presentan deformaciones moderadas a fuertes con ejes de pliegues de tendencia NO-ONO y de vergencia dominante al norte. Mientras, las rocas carbonatadas y arcillosas que tienen como núcleo a las areniscas cuarzosas del Grupo Yura muestran pliegues intensos (Pecho, 1981 en Perelló et. al., 2003).

Corrimientos de bajos y altos ángulos acompañan localmente a la deformación intensa. Por otro lado, el límite entre la Cordillera Occidental y el Altiplano es caracterizado por dos principales sistemas de fallas de tendencia NO llamadas Limatambo-Ayaviri y Abancay-Yauri. Ambos son formadas por varios segmentos de fallas con corridas continuas hasta de 50 km, de movimientos de rumbo e inversa, de ángulo alto (Perelló et. al., 2003), mientras en la vecindad de la deflexión de Abancay estas estructuras traslapan las rocas plutónicas del Paleozoico sobre secuencias jóvenes (figura 3).

Estructuras lineales de dirección NO, NE y ENE, y fallas inversas afectan a las rocas del Batolito Abancay-Yauri formado por materiales ígneos y sedimentarios.

Entonces la región fue afectada por varios eventos tectónicos desde el Cretáceo al Plioceno (Marocco, 1975; Carlotto et. al., 1996; De la Cruz, 1995) donde los pulsos más importantes son del Eoceno al Oligoceno temprano (fase Incaica) y Oligoceno al Mioceno (fase Quechua). Por ejemplo las capas rojas del Grupo San Jerónimo fueron depositado según el control estructural de la cuenca sinorogenia de tendencia noroeste localizado en el límite entre la cordillera Occidental y Oriental, la presencia de discordancia en la secuencia sedimentaria se interpreta como eventos compresivos sucesivos, que fueron modificando el original pull-apart transtensional (Perelló et. al., 2003).

Mientras localmente, un importante volcanismo (Formación Anta) acompaña a las secuencias de capas rojas de San Jerónimo. Entonces existió una relación espacial entre el batolito, rocas volcánicas de la Formación Anta y la cuenca sedimentaria del Grupo San Jerónimo, y se interpreta que sistemas de fallas principales y corrimientos de alto ángulo controlaron el levantamiento del Batolito y la deformación del frente sur del Cuzco y la cuenca San Jerónimo (Perelló et. al., 2003).

El Distrito minero de Tintaya ubicada en la parte sureste del cinturón magmático Andahuaylas-Yauri en el borde noreste de la cordillera occidental (zona intracordillerana) muy próximo al borde oeste de la zona del Altiplano muestra estructuras y pliegues de orientación noroeste.

3 GEOLOGÍA DISTRITAL

El distrito minero de Tintaya es parte del extremo sur del Batolito Andahuaylas-Yauri y dentro de ella se encuentra el área en estudio. A continuación se hace una breve descripción de la geología distrital dándole un mayor énfasis en el desarrollo de este capítulo a la Mina Tintaya para alcanzar uno de los objetivos.

3.1 Geología del Distrito Minero de Tintaya

Al sur del metalotecto “Ferrobamba” se localiza el Distrito Minero de Tintaya (figura 2) y dentro de ella destacan la operación minera de la Mina Tintaya, los proyectos de Antapacay, Coroccohuayco, Ccatun Pucara y Quechuas.

En el distrito minero afloran: rocas sedimentarias del Cretáceo Inferior; intrusivos emplazados en forma de stocks, diques, sills y lacolitos de edades del Eoceno-Oligoceno; rocas volcánicas de edades del Oligoceno-Mioceno y Plioceno superior-Pleistoceno; sedimentos de origen aluvial, fluvial, horizontes de material calcáreo lacustrino y niveles de depósitos piroclásticos del plioceno; y material Cuaternario del tipo morrénico, coluvial y aluvial (De la Cruz, 1995; Cerpa et. al., 2004). También afloran pero en menor abundancia cuerpos irregulares de *skarn* de granate, piroxeno y magnetita asociados a la zona de contacto entre el cuarzo monzonita y la roca carbonatada del ferrobamba. Mientras, inmediato al contacto entre cuerpos ígneos de composición diorítico y calizas se han desarrollado *skarn* de piroxeno-magnetita con piroxeno escaso generalmente. Algunas veces el *skarn* es englobado en la roca intrusiva porfirítica (la roca protolito es el material calcáreo por lo general englobado en el intrusivo).

Mina Tintaya la geología expuesta en los tajos de la mina tintaya (figura 2 y 4), hace evidente el desarrollo de cuerpos irregulares de *skarn* (exoskarn) inmediato al contacto entre las rocas carbonatada e intrusivo.

En el tajo Chabuca Este el stock intrusivo cuarzo monzonítico (PM 52) en parte muestra una alteración inicial sílica-potásica pervasiva, temperatura de la alteración potásica en un pórfido es de 400° a 600°C (Gustafson y hunt, 1975), como consecuencia exhibe en algunas zonas del intrusivo una textura obliterada, en otras zonas del intrusivo son cortadas por venas de feldespatos potásicos y venas de cuarzo con aureola de la ortosa más sulfuros. Se considera que está alteración es contemporánea al desarrollo del *skarn*, como respuesta a la interacción de los cationes y aniones del fluido magmático-hidrotermal presente en la periferia del cuerpo intrusivo. Al hacer contacto con las rocas carbonatadas de la Formación Ferrobamba, se desarrolló el *skarn* (exoskarn) tomando formas irregulares en parte continuo y en otras discontinuos, mientras en el intrusivo se desarrollo el endoskarn (470° a 600° C; Sáez, 1996) que es de un ancho angosto e irregular. Por otro lado, según Sáez (1996) el exoskarn desarrollado en las rocas calcáreas fueron formadas a temperaturas de 390° a 490° C, son de anchos variables que va de algunas decenas de centímetros a decenas de metros. Además el contacto entre el intrusivo y las rocas carbonatadas fue controlado por una falla de dirección E-O, de inclinación subvertical al norte. Fierro et. al. (1997) identificaron tres sistemas de fallas: el más antiguo es de rumbo E-O inclinada al norte de alto ángulo, son fallas normales que cortan la alteración progradada y aperturas que facilitó la alteración y mineralización retrogradada; es seguida por un sistema de

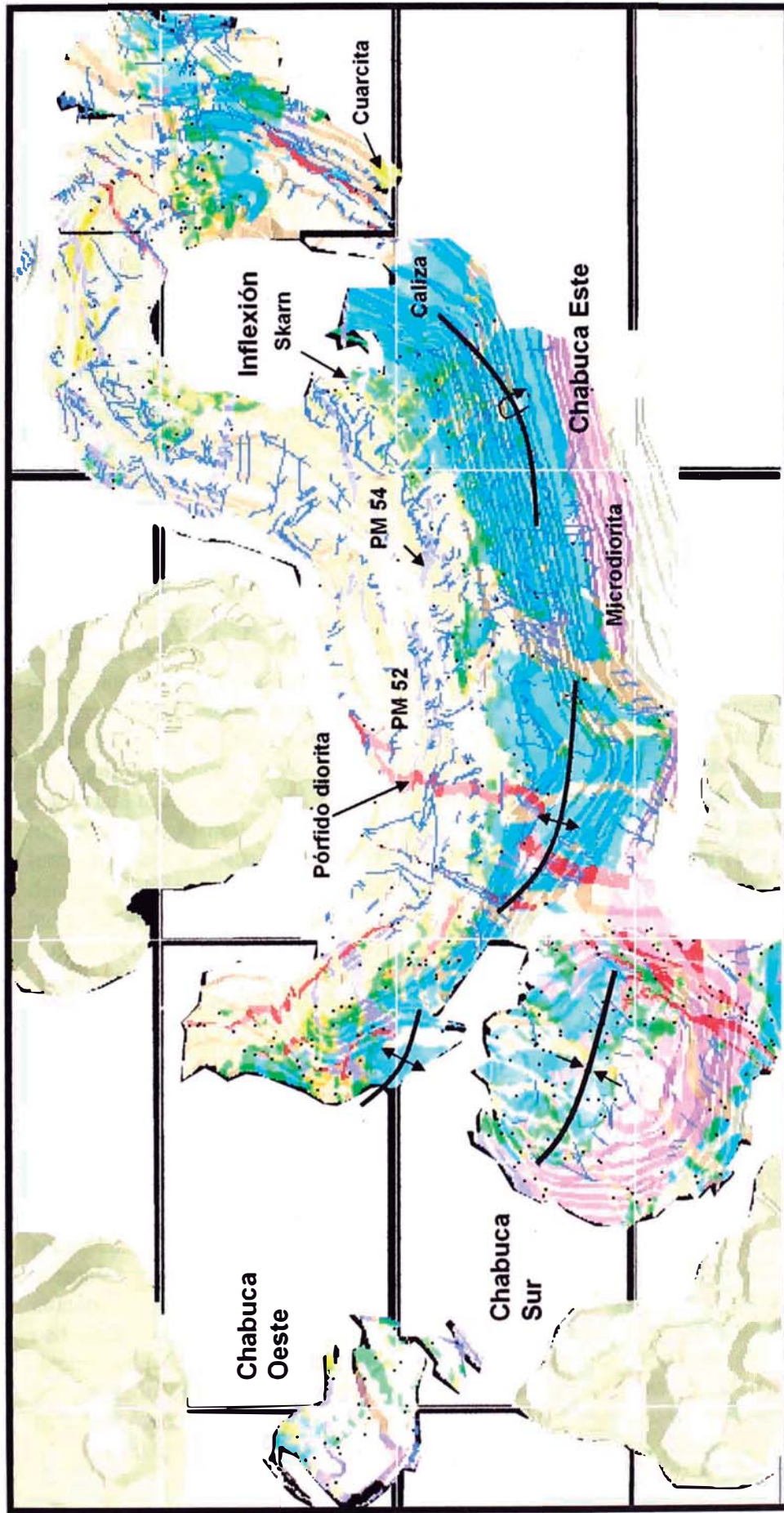


Figura 4: Geología de la Mina Tintaya, tajos: Chabuca Oeste, Chabuca Sur, Chabuca Este e Inflexión. Pórfido Monzonita = PM; Falla: \blacktriangleleft \blacktriangleright = Anticlinal; \blacktriangleleft \blacktriangleright = Sinclinal; \curvearrowright = Anticlinal volteado (Después de Martel, Arambulo y Nuñez 2002, Lenzi y Martel 1999, y Sáez 1996).

fallas con componentes cinemático transcurrente y normal de dirección NO inclinado al NE (sienestral) y un sistema de orientación NE inclinado al SE (dextral) formado durante un régimen tectónico extensional N-S. Los diques de pórfido monzonita 54 (PM 54), y latita (PM 56) se emplazaron en estas fallas. El tercer sistema de fallas más reciente comprende un juego de dirección N-S inclinado al oeste del tipo normal y otro juego del mismo rumbo pero inclinado al este de movimiento normal. Este último sistema de fallas desplaza a los sistemas de fallas temprano, controla el emplazamiento de los diques pórfido diorítico y es formado durante un régimen extensional E-O.

Los bancos delgados a medianos de las rocas carbonatadas de la formación Ferrobamba (figura 4) se muestran como parte de un pliegue del tipo anticlinal de eje axial con dirección NO a NOO y al extremo este del tajo se muestra como un anticlinal volcado de eje NEE. Los estratos de la roca calcárea en la pared sur del tajo tienen un rumbo NOO, 40° a 55°SO (sector oeste) y E-O, 40° a 55° S (sector este).

En el tajo Chabuca Sur la microdiorita corresponde a un cuerpo bastante grande, parece un lacolito (figura 4) que se emplazó prácticamente concordante a un nivel del plano de estratificación de la secuencia calcárea de la Formación Ferrobamba. Esta formación sedimentaria está conformada por intercalaciones de bancos delgados a medianos de materiales calcáreos-clásticos, calizas y limolitas calcáreas, se muestran plegadas formando un sinclinal de eje axial NOO y sobre ella descansa la microdiorita. Este sinclinal y el cuerpo microdiorítico se extienden al este del tajo, es decir al sur del tajo Chabuca Este. En la vecindad del contacto entre estas dos litologías se desarrolló un skarn temprano discontinuo con su característico endoskarn (muy angosto en la microdiorita) y exoskarn de piroxeno y magnetita (en el material calcáreo). Posteriormente fueron intruidos al menos por tres (3) apófisis?-diques de composición monzonita (son del tipo PM 52 pero con más anfíbol) con una alteración sílice – potasio incipiente (se observan venas de cuarzo y muy poca biotita secundaria). En el contacto entre las rocas calcáreas y la monzonita se formó el skarn de granate-piroxeno-magnetita de formas irregulares discontinuas y pareciera que se sobreponen al skarn temprano en la zona de intersección (skarn de piroxeno-magnetita). Así mismo se desarrolló la zona de endoskarn (skarn de granate) angosto en estos diques. Por otro lado, las rocas sedimentarias presentan estratos con buzamientos de 20° a 35° en los flancos NE y SO.

En Coroccohuayco (Maher, 1999) (figura 2) el Batolito de Andahuaylas-Yauri se caracteriza en esta área por el emplazamiento de varios pulsos magmáticos: especialmente de composición diorita, monzonita, latita y andesita basáltica. Estas intruyen a las rocas de la Formación Ferrobamba y Formación Mara. La monzonita de Coroccohuayco es diferente al de la Mina Tintaya por la no abundancia de fenocristales de cuarzo, algunas están genéticamente relacionadas al desarrollo del skarn, otras son comúnmente tardías y relacionadas al evento de separación y mineralización de cobre. Es común venas de cuarzo-feldespatos potásico ± sulfuros y biotita secundaria reemplazando silicatos máficos de la monzonita (ejemplo la tipo Z); pirita y calcopirita reemplazan minerales máficos. Las rocas sedimentarias consisten en series clásticas y calcáreas de las Formaciones Mara y Ferrobamba respectivamente. Las rocas sedimentarias clásticas fueron extensamente alteradas a hornfels de biotita o cuarcita dependiendo del componente clástico local (según testigos de algunos metros intersectado en la perforación). Mientras la Formación Ferrobamba muestra metamorfismo en la caliza que pasó a mármol y metasomatismo por haberse formado Skarn ± magnetita masiva, piroxeno ± magnetita, granate, piroxeno esto es próximo y

debajo del sill/dique diorítico y a los diques monzonítico. Las calizas contienen cantidades variables de carbono orgánico, en algunas áreas la roca es porosa y friable (por el alto contenido de carbón), presentan estratificación plana con laminaciones finas, comúnmente contienen pirita cúbica de grano fino disseminado y pirrotita disseminado.

El cambio brusco a caliza recristalizada (mármol) y el blanqueado de las calizas carbonosas gris azul-negro es el reflejo del control por el flujo de calor (o fluidos) a través de la débil variación de la permeabilidad y/o composición del material calcáreo.

En Antapacay se tiene dos zonas diferenciadas: Antapacay sur la mineralización de cobre se ha desarrollado principalmente sobre las diferentes fases de cuarzo monzonita y muestra una diatrema tardía; mientras la zona de Antapacay norte la diorita muestra un ensamble bornita-biotita secundaria. Y hacia la periferia del área mineralizada elongada según la dirección N-S y NO (desde Antapacay sur hacia Antapacay norte) se presentan cuerpos de skarn con escasa mineralización (descripción basada en un esquema presentado por Perelló et. al., 2003).

3.2 Columna estratigráfica

Se hace una breve descripción de las diferentes formaciones presentes en el Distrito Minero de Tintaya basado en trabajos publicados e inéditos (figura 5).

Formación Hualhuani (Soraya)

De edad Neocomiano inferior (Jenks, 1948; Dávila, 1988; De la Cruz, 1995), con un espesor de 1000 m. formado por cuarcitas blanca amarillentos de grano fino a medio; la parte media de la secuencia se distingue por un horizonte de 100 m. que consiste en intercalaciones de niveles delgados de areniscas cuarzosas de color gris a negra con niveles de lutitas negras.

Está suprayace concordantemente a la formación Chuquibambilla.

Formación Murco (Formación Mara)

De edad Neocomiano superior a Aptiano (Jenks, 1948; De la Cruz, 1995), con un espesor de 300 m. consiste en secuencias de areniscas de granos finos a medios, marrón rojizas, limolitas rojizas y lutitas de color rojo, gris claro y pardo rojizo con algunos niveles de conglomerados y yesos. Se puede distinguir tres miembros, el inferior se caracteriza por la predominancia de arenisca, el intermedio es lutáceo con algunas intercalaciones de areniscas, y el superior consiste en series de areniscas y lutitas abigarradas. Próximo al contacto con la formación Ferrobamba se presentan lentes delgados y discontinuos de anhidrita masiva sedimentaria.

Suprayace a la formación Soraya.

Formación Arcurquina (Ferrobamba)

Edad Aptiano a Turoniano? (Jenks, 1948; Marocco, 1975), espesor 670 m., consiste en la intercalación de bancos medianos a delgados de calizas micríticas, de color gris azulina a negro probablemente debido al contenido de carbono orgánico, con algunos niveles de calizas gris blanquecinas, lentes de materiales clásticos calcáreos y cortadas por un enjambre de venillas de calcita. Es también característico en ciertos niveles nódulos de chert en forma de lentes de 15 a 30 cms de longitud y de algunos centímetros de espesor (<5 cms).

Esta yace en forma concordante a la Formación Mara.

Grupo Puno

El grupo Puno de edad Eoceno-Oligoceno (Cabrera La Rosa, 1936; Newell, 1949) es de un espesor de 1640 m., consiste en secuencias: de areniscas arcósicas rojas a chocolates y localmente tufáceas, conglomerados y lutitas yesíferas. Al este del cuadrángulo de Yauri, en los cerros Caracara y Jornarani consisten en secuencias de areniscas de granos finos a gruesos y de estratos menores a 1 m. intercaladas con limoarcillitas de estratos delgados y de color rojo oscuro a marrón.

El Grupo Puno descansa en discordancia angular sobre las calizas de la Formación Arcurquina e infrayace a los aglomerados del Grupo Tacaza y a los volcánicos del Grupo Barroso.

GRUPO TACAZA

Del Mioceno medio, datada por el método K/Ar en 19 Ma (Noble et. al., 1974). Descrito por Marocco y Del Pino, 1966; De La Cruz, 1995 su espesor es de 2000m., consiste en secuencias de depósitos de ambiente lagunar y volcánicos de naturaleza lávica, piroclástica y aglomerádica.

Próximo al Distrito Minero de Tintaya aflora:

La Formación Ichocollo

De edad Mioceno medio, espesor 800 m., consiste en lavas y domos dacíticos. Las lavas son andesíticas-basálticas con niveles de aspecto areniscosos y brechas andesíticas (Dávila, 1988). Principalmente son lavas andesita basálticas formados esencialmente por plagioclasas y piroxenos, de color gris oscuro, de grano fino a medio y de aspecto porfirítico con matriz afanítica. En partes esta algo brechadas, con fracturamiento concoidal anguloso debido probablemente al incremento de sílice en su masa como consecuencia de la alteración supérgena, recubierta de limonita las fracturas, la roca toma colores rojizos pero en general es blanquecina, afanítica y de aspecto tobáceo argilizado.

Al Sur este de la ciudad de Yauri, la base de la formación subyace a las tobas y brechas del Grupo Barroso.

GRUPO BARROSO

De edad Plioceno a Pleistoceno (De La Cruz, 1995; datación cronológica Kaneoka y Guevara, 1984) espesor 2220 m., tiene amplia distribución al suroeste del cuadrángulo de Yauri lo conforman tobas y lavas. El Grupo Barroso presenta varias fases de emplazamiento que han permitido diferenciar las formaciones:

Fase explosiva la Formación Huaycha.

Fase efusiva lávica y algo brechoide la Formación Casanuma.

Al Suroeste del Distrito Minero de Tintaya sobreyace discordante a las formaciones Arcurquina y Hualhuani.

Formación Huaycha

Se la encuentra en el paraje de Huaycha (210 m.) al noreste del cuadrángulo de Velille consiste en una gruesa secuencia de tobas brechosas, tobas líticas y cineritas (utilizadas en el cartografiado geológico como horizonte guía). La base de esta formación está compuesta esencialmente por flujos brechoides mayormente dacíticos. También se presentan cuerpos de basalto de augita dispersa en una matriz semiholocristalina con textura traquítica característica (De La Cruz, 1995).

Aflora al suroeste del Distrito Minero de Tintaya.

Formación Casanuma

Puede alcanzar un espesor de 100m (De La Cruz, 1995), consiste en flujos lávicos y niveles tobáceos, las lavas son afáníticas de color gris negra con disyunción en forma de lajas intercaladas con tobas blanquecinas de composición riolítica que incluyen litoclastos de dimensiones menores a 4 cm. de diámetro, distribuidos en una matriz arenosa de brillo ámbar por oxidación de las biotitas, también presentan micas rubias, clastos de lapilli, y feldespatos. En la secuencia superior son horizontes de tobas masivas.

Las lavas son de composición dacítica a andesítica con textura porfírica a afánítica.

Aflora al suroeste y noroeste del Distrito Minero de Tintaya.

Formación Descanso (Formación Yauri)

De edad entre 20 Ma a 10 Ma, Mioceno superior a Plioceno (Cerpa et. al., 2004; Palacios et. al., 1993; Audebaud, 1973) con espesor de 50 a 1200 m.

La cuenca Descanso-Yauri se desarrolló en la región limítrofe entre el Altiplano y las cordilleras Occidental y Oriental del sur del Perú. La secuencia es variada y consiste en horizontes de conglomerados, areniscas aluviales y fluviales, lutitas y calizas lacustres, y dos niveles piroclásticos que son guías estratigráficas (datadas

isotópicamente) y permiten dividir en tres miembros a la Formación Descanso: un miembro basal, un miembro principal y un miembro cuspidal (Cerpa et.al., 2004).

Miembro Basal: Formado por secuencias de conglomerados y areniscas de grano grueso, donde los clastos son de caliza, roca volcánica, arenisca, conglomerado y cuarcita. Espesor aproximado 100 m.

Miembro Principal: Compuesto por bancos de conglomerados, areniscas de grano grueso a fino y niveles pelíticos. Los conglomerados contienen clastos de calizas, rocas volcánicas, areniscas, conglomerados y cuarcitas intercalada con niveles de arenisca. Algunos niveles se componen exclusivamente de clastos de pómez, fiammes y tobas retrabajadas. Espesor aproximado de 700 m.

Miembro Cuspidal: Sobreyace concordantemente al miembro principal, de espesor aproximado 230 m. Consiste en secuencias de conglomerado, arenisca de grano grueso a fino, lutita y caliza blanca. Los conglomerados presentan clastos de calizas, rocas volcánicas, areniscas, conglomerados, cuarcitas y algunos niveles se componen exclusivamente de clastos de pómez, fiammes y tobas retrabajadas.

Un sondaje diamantino (Brownfields, BHP Billiton Tintaya S.A.) de 350 m efectuado en uno de los otros Proyectos no cruzó la formación Yauri. Por lo tanto, el espesor de esta formación en el Distrito Minero de Tintaya es mayor a 350m.

Depósitos Recientes

Edad Cuaternario, consisten en:

Depósitos glaciares representados por acumulaciones de material morrénico distribuido en la parte alta de las laderas de los valles. Su espesor va de algunos metros a decenas de metros, por ejemplo en los niveles superiores del open pit de la Mina Tintaya consisten en gravas de calizas, hornfels, intrusivos monzoníticos, dioritas y cuarcitas de formas subangulosas distribuidas en una matriz de grava fina y material limoarenosa.

Depósitos fluvioglaciares son materiales que ocupan antiguos valles glaciares y extensas llanuras sobre los 4000 m.s.n.m. consiste en material morrénico antiguo enmascarado por material de corrientes de agua. Consisten en material polimíctico, de rocas volcánicas, sedimentarias e ígneas de tamaños muy variables y matriz granuda.

Depósitos Aluviales está formada por el material acumulado en los lechos de los ríos, quebradas antiguas y recientes. Formando terrazas y conos aluviales por lo general pequeños. Consisten en material polimíctico de tamaño variado desde arcillas, cantos rodados y hasta gravas, donde son moderadamente clasificados y distribuidos en una matriz areno-arcillosa. Muestran una grosera estratificación, que se acuña entre capas de arena y arcilla. El espesor va de algunos metros hasta decenas de metros.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL DISTRITO MINERO DE TINTAYA							
Etadema	Sistema	Series	Unidad litoestratigráfica	Gruesor (m)	Columna	Descripción Litológica	
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Dep. Aluviales	<30		Clastos redondeados, mtz. arena-limo.	
		Plastoceno	Dep. Fluvioglaciales			Limos, Arcillas y gravas deleznable.	
			Dep. Glaciares	<20		Gravas, mtz. grava fina y limosarenosa.	
	Neógeno	Plioceno		Fm. Yauri		>350	Calizas blancas lacustrinas. Arenas medianas-grosas, limos y tobas. Conglomerado, matriz arena-limo.
			Plioceno superior - Pleistoceno	Grupo Barroso		Fm. Casanuma	100
		Fm. Huaycha				210	Aglomerado brechoide, mtz. piroclasto. Toba dacítica, grano fino, marrón. Toba riolítica, grano grueso gris blanca.
		Mioceno - Plioceno	Grupo Tacaza	Fm. Ichocollo		800	Lavas andesíticas a basálticas. Lavas andesíticas gris oscuro, grano a medio y aspecto porfirítico con matriz efémera y algo brechada.
	Paleógeno	Eoceno - Oligoceno	Grupo Puno	1640		Conglomerado polimítico, arenisca rojiza de grano grueso, intercalada con arenisca de grano medio, y conglomerado con clastos volcánicos + frecuente.	
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Fm. Arcurquina (Ferrobamba)	670	Pórfido diorita Calizas gris oscuras, niveles con nódulos de chert, horizontes de lutitas, y lutitas calcáreas. Pórfido diorita fluidal (60) Lutita Skarn Ca (Au)		
			Fm. Murco (Mara)	300	Intercalación de lutitas, limolitas y areniscas de color rojizas a marrones.		
		Grupo Yura	Fm. Hualhuani (Soraya)	1800	Pórfido Monzuma 54 Pórfido Monzuma 52 Ordocuarcitas blancas tapizadas con limonita. Lutitas y areniscas de grano fino. Cuarcitas blancas tapizadas de limonita. Diorita		

Figura 5: Columna estratigráfica del Distrito Minero de Tintaya. Las formaciones Arcurquina, Murco y Hualhuani son conocidos en el área de estudio como las formaciones Ferrobamba, Mara y Soraya respectivamente. Los intrusivos son de edades del Oligoceno medio al Mioceno Medio (Modificada de Maher, 1999 y De la Cruz et. al., 1995).

3.3 Alteración y mineralización

En los siguientes párrafos se describe las características principales de los ensambles de alteración y mineralización asociada a los depósitos de cobre en skarn.

Tempranamente se da un metamorfismo isoquímico e intercambio de componentes bimetasomático entre rocas carbonatos y el material clástico presente en la secuencia sedimentaria debido al flujo de temperatura, formándose el mármol (recristalización de las calizas) blanco y gris, hornfels de piroxeno-biotita, y hornfels de biotita.

En la mina Tintaya, los tajos Chabuca Este, Inflexión y Chabuca Sur (figura 4) muestran dos eventos de alteración hidrotermal y mineralización asociada al desarrollo de *skarn* (endoskarn y exoskarn): la **fase progradada**, se caracteriza por ser contemporánea al emplazamiento de la monzonita tipo PM 52 con una alteración potásico-sílice en parte, durante el enfriamiento inicial (600° a 400°C, Gustafson y hunt, 1975) de la monzonita PM 52, en los tajos Chabuca Este e Inflexión. En el intrusivo se desarrolló la zona de endoskarn de plagioclasa (anortita-albita)-clinopiroxeno diopsídico-granate (grandita) (Sáez, 1996) y deposición escasa de mineralización (sulfuros de cobre, molibdeno, oro, otros). Mientras en la roca carbonatada se desarrolló la zona del exoskarn desde el límite del frente intrusivo al frente del mármol: granate, granate-magnetita, granate-piroxeno, piroxeno o magnetita. Y más de la mitad del cobre fue depositado, durante el estado de baja sulfuración: magnetita-bornita, bornita-calcopirita, calcopirita-molibdenita (Fierro et. al., 1997; Sáez, 1996). En Chabuca Sur un *skarn* temprano es asociado al emplazamiento de la Microdiorita estéril (también presente en Chabuca Este) desarrollándose un endoskarn delgado de albita, epidota en venillas, piroxeno y exoskarn de piroxeno-magnetita. Posteriormente fue intruida por tres apófisis?-diques de monzonita tipo PM 52 (figura 4) que presenta una alteración sílice-potasio incipiente (venas de cuarzo y muy poca biotita secundaria), mientras al contacto con las rocas calcáreas la fase progradada en el intrusivo es representado por el endoskarn desarrollado en la PM 52 de ensamble albita-piroxeno-granate-epidota con mineralización escasa y el exoskarn (en material calcáreo): de granate-magnetita, granate-piroxeno-magnetita es aparentemente sobrepuesto al *skarn* temprano en la intersección y se depositan los sulfuros calcopirita-bornita-pirita y se extiende al *skarn* temprano con valores bajos de molibdeno.

El segundo evento es la **fase retrogradada**, en Chabuca Este e Inflexión se manifiesta en los bancos superiores con el reemplazo (destrucción) del *skarn* de plagioclasa-granate-piroxeno en la zona del endoskarn por clorita-epidota-pirita-calcopirita-serpentina? (halos negros) desarrollado a partir de las paredes de las fracturas. Mientras en la zona del exoskarn el ensamble de *skarn* es reemplazado por cloritas-actinolita-epidota-arcillas-calcita-calcopirita-pirita formando venas y venillas de epidota-calcopirita-pirita-calcita envueltas por clorita-actinolita. En este evento se deposita el cobre restante (<<50%) y hay un cambio relativo de estado de sulfuración a alta (Zweng et. al., 1997). En Chabuca Sur la alteración retrogradada se manifiesta en la zona del exoskarn con la formación de minerales de cloritas-arcillas-pirita, venas de clorita-actinolita-calcita-pirita-calcopirita y en el endoskarn de la microdiorita es reemplazado por clorita-actinolita-pirita, mientras en el endoskarn de la monzonita se muestran venas de clorita-epidota y en parte es fuertemente argilizado con presencia mayor de molibdenita diseminada.

En Corocohuayco la fase progradada es asociada probablemente a la introducción de fluidos metasomáticos (Maher, 1999), a través de fallas de inclinación alta que cortan a las calizas (la permeabilidad del material calcáreo, controla esta fase). El fluido asciende probablemente desde una fuente magmática en profundidad y está cuando hizo contacto con las calizas, se extendió lateralmente formando skarn la cual es zonado desde la falla: granate (granate andradítico), piroxeno diopsídico (505°C), calcosilicato mármol lateralmente y verticalmente. Mineralización de especularita ocurre en los márgenes del *skarn* y mineralización de cobre ocurre con el descenso de la temperatura, reemplazando remanentes de carbonato o cuarzo en los intersticios de los granos de granate. Posteriormente pulsos magmáticos de composición monzonita intruyen las rocas calcáreas, *skarn*, diorita. Desarrollándose endoskarn (el intrusivo-dique pareciera ser contemporáneo a la formación del *skarn*) muy fuerte localmente y agrega cobre al depósito a través de venas de cuarzo-sulfuros. Diques posterior a la mineralización tienen poco efecto sobre la alteración o mineralización. La mineralización en *skarn* es bornita-calcopirita-calcocita (hipógeno). Fluidos magmáticos evolucionado con $\delta^{18}\text{O}$ relativamente alto (inicial son oxidante) pero se reducen a través de interacción con las calizas carbonosas, diorita, y precipitación de Fe^{+3} en granate andradítico y hematita. Entonces granate andradita es reemplazado por magnetita masiva, también es reemplazado la hematita (especularita). Probable **fase retrograda** este asociada a fluidos de temperatura baja (300-400°C) y /o con CO_2 llevó ha alterar el piroxeno a carbonato \pm anfíbol/clorita y granate a calcita-hematita-cuarzo. Esta alteración es localmente pervasiva.

Intrusiones de monzonita muestran alteración sílice-potasio por la presencia de venas de cuarzo-feldespato potásico \pm sulfuros, biotita secundaria reemplazando a biotita primaria. El desarrollo de endoskarn es zonado granate-piroxeno-plagioclasa hacia el intrusivo no alterado.

En Antapacay la mineralización fue llevado por cada una de las fases cuarzo monzonita ahora con alteración potásica. Calcopirita-bornita-cuarzo en venillas y en la diorita la bornita se presenta diseminada y asociada a la biotita secundaria. Mientras el exoskarn muestra una mineralización menor.

3.4 Prospección geofísica

La prospección geofísica, es un conjunto de métodos indirectos para conocer la geología oculta del área en estudio, está basada en las medidas de propiedades físicas de las rocas, realizadas desde y sobre la superficie de la tierra o en huecos de perforación. En la industria minera la técnica geofísica es útil, por el contraste de algunas propiedades físicas que se da entre las rocas, y está relacionado directamente o indirectamente a la presencia de minerales. Luego es posible registrar anomalías geofísicas.

En el Proyecto Alto Huancane, se utilizó el método de Polarización inducida cubriendo parcialmente el área de estudio. Ésta y la magnetometría se describen brevemente a continuación por ser los métodos geofísicos de prospección más usados al buscar yacimientos metálicos asociados a *skarn*.

3.4.1 Magnetometría

Este método de prospección geofísica se utilizó en los otros proyectos de estudio, donde el material reciente, secuencias de la Formación Yauri y/o del Grupo Puno no han permitido el afloramiento del sustrato del Cretáceo e intrusivos del Terciario. El método se basa en la medición de la susceptibilidad magnética de los materiales y en el contraste magnético de las rocas. Por ejemplo basaltos, diabasas y *skarn* con minerales magnéticos son mucho más magnéticos que las calizas, areniscas y pizarras.

Las variaciones de las imanaciones de las rocas debido a la presencia de minerales imantados, son las causas de anomalías fuertes o débiles. Además la imantación de las rocas es muy estable y no sufre cambio debido a la meteorización (Novitzky, 1978; Evans, 1995).

El campo magnético de la tierra en los polos es aproximadamente de 60000 nT y vertical, mientras en el Ecuador es aproximadamente de 30000 nT y horizontal. La unidad de campo magnético es el **nanoTesla** o **nT**, es comúnmente conocido por los geofísicos como el **gama** ($\gamma = 10^{-5}$ **gauss**) (Novitzky, 1978; Evans, 1995).

El método es usado para la ubicación de formaciones ferromagnéticas como casos pertenecientes a un *Skarn* u ocurrencia de sulfuros asociados a magnetita y/o pirrotita, y permite la caracterización geológica de unidades rocosas con contraste de susceptibilidad magnética.

El método aeromagnético con gran resolución es de gran utilidad, pues ayuda en la interpretación complementaria de otras bases de datos geofísicos (por ejemplo a la Polarización Inducida).

El resultado de este estudio consiste en mapas de contornos del campo magnético total en perspectiva horizontal y vertical (perfil de contornos del campo magnético total). Es decir la caracterización de los intervalos de valor del campo magnético total se les asigna un color por intervalo y muestran rápidamente las áreas de valores bajos y valores altos.

3.4.2 Resistividad / Polarización Inducida

Las propiedades eléctricas (Novitzky, 1978) de las rocas se caracterizan por dos parámetros: resistividad eléctrica y constante dieléctrica.

La resistividad eléctrica (ρ)

La resistividad eléctrica de cualquier sustancia es la resistencia de 1 cm³ de la sustancia, tomada en forma de cubo a la corriente eléctrica dirigida perpendicularmente a una de las caras del cubo:

$R = \rho l/s$; donde R – resistencia de un conductor alargado, ohmios; l – largo del conductor, m; s- sección transversal del conductor, m².

La mayor parte de minerales (Novitzky, 1978) formadores de rocas son aisladores (resistividad es mayor a 100 ohmios x metros). Luego la resistividad de una roca es alta, pero generalmente depende de su porosidad y la salinidad de las aguas en los poros. Los minerales de arcillas son eléctricamente polarizados y refuerza la conductividad de las rocas húmedas. Pero también unos pocos minerales, como grafito y los sulfuros metales base (excepto la esfalerita) son buenos conductores por el flujo electrón y puede reducir la resistividad de la roca a valores muy bajos (la conductividad es la inversa de la resistividad).

Polarización Inducida (IP)

La polarización inducida o sobretensión es la presencia de un campo eléctrico en un terreno después de desconectarse la corriente eléctrica que atravesaba al terreno. Este campo eléctrico no desaparece instantáneamente ni exponencialmente sino de manera más lenta. Fue descubierto por los hermanos Schlumberger en 1920 (Novitzky, 1978).

La explicación más aceptada de este fenómeno es: durante el paso de la corriente desde los electrodos de alimentación por el terreno se produce una acumulación de energía química a causa de la variación en movilidad de varios iones a través de las rocas de punto a punto. Luego, se producen excesos y deficiencias de ciertos iones entre las zonas de diferentes movilidades. Los gradientes de concentración así desarrollados se oponen al flujo de la corriente y provocan un efecto de polarización (Novitzky, 1978).

El efecto de polarización en minerales metalíferos (conductores electrónicos), para que la corriente eléctrica fluya desde una solución a través del mineral metálico, debe producirse una reacción química en la interfaz entre mineral-solución. Los minerales metálicos permiten el paso únicamente a especies reactantes, que pueden ser sólo los componentes menores de los fluidos en los poros. De esta manera los minerales metálicos bloquean a la mayoría de los iones, lo que da el efecto de una membrana y produce efectos de polarización. Si se suprime la corriente, la distribución de los iones se modifica y vuelve a su estado inicial, en lo que se invierte cierto tiempo durante el cual existe una polarización en el cuerpo (Novitzky, 1978; Evans, 1995).

La PI es casi despreciable en areniscas, marcado en arcillas, y puede ser muy fuerte en las superficies de conductores electrónicos tal como el grafito y sulfuros metálicos. Este método se utiliza para la exploración de sulfuros, principalmente en la búsqueda de cobre disseminado, vetas y otros; permite discriminar entre rasgos conductivos mineralizados y estériles (fallas, zonas de cizallamiento). La profundidad de investigación está restringida a aproximadamente 50 m. para estructuras delgadas no conductivas tipo lámina, pero posiblemente exceda 300 m para sistemas grandes porque la polarización inducida es dependiente del volumen (Evans, 1995; Manual de Servicios Geofísicos- VAL D'OR Geofísica).

Este método (IP) de prospección geofísica, cubrió parcialmente al Proyecto Alto Huancané, mientras el área rectangular de estudio geofísico es limitado hacia el NE por las coordenadas 252500E, 8353850N. Es sobre la ordenada 8353850N próximo a la abscisa 251750E (figura 6), se da una configuración anómala de cargabilidad y es abierta hacia el norte, por lo que sugiere sé realicé trabajos de prospección.

4 EXPLORACIÓN EN EL PROYECTO ALTO HUANCANÉ

La exploración en el Proyecto Alto Huancané fueron desarrollado en diferentes etapas: se realizaron campañas de reconocimiento superficial, mapeo geológico, geoquímica superficial que consistió en el muestreo sistemático de suelo y roca, y prospección geofísica. Para luego, proponer un programa de perforación diamantina, fundamentado en la información generada para comprobar la inferencia de cuerpos mineralizados de cobre en profundidad.

Aprobado el programa de sondajes se desarrolló y simultáneamente se actualizó la información geológica (el plano geológico) con la revisión de la geología superficial y el registro de los testigos. Las áreas que estuvieron en un inicio cubiertas quedaron expuestas como consecuencia de la construcción de accesos y plataformas para la perforación.

4.1 Geología local

En los siguientes párrafos se hace una descripción de la geología del Proyecto Alto Huancané basada en la información del mapeo realizado sobre el plano topográfico base a escala 1:5000 (figura 6) y del registro especial del logueo de los testigos recuperados durante la campaña de perforación diamantina.

4.1.1 Unidades sedimentarias-metamórficas

La Formación Soraya esta constituida por secuencias de areniscas cuarzosa de grano medio, de color blanca a crema naranja debido a la presencia de óxidos de hierro que las tapizan, con escasas arcillas en sus intersticios, distribuidas en bancos delgados a medianos e intercalada de forma esporádica con niveles muy delgados de arcillas grises y lutitas.

Estas secuencias clásticas afloran en la parte sur y muy próximo al límite noreste a este del Proyecto Alto Huancané con un rumbo general de los estratos que van de N15° O a N15° E y un buzamiento desde 30° O a 65° O predominando la inclinación suave. Próximo a la falla inversa los estratos de la formación Soraya son fuertemente disturbados (figura 6).

Ésta formación afectada por el metaformismo térmico y un metasomatismo débil se intersectó en dos sondajes diamantinos: en la perforación diamantina DDH 01a en su tramo final (figura 8) conformada por una cuarcita gris blanquecina con playas de piroxeno y pirita de 3 - 5% volumétrico. La pirita se presenta principalmente rellenando fracturas y en parte se encuentra diseminada rellenando los intersticios de la roca (figura 10). Este nuevo ensamble de minerales estaría vincula a la presencia de la pórfido monzonita tipo PM 55 con alteración potásica y cuarzo-sericita-pirita. Es entonces que contemporáneo al metamorfismo parece haber circulado fluidos hidrotermales con azufre, hierro y cobre. Mientras en el sondaje DDH 02 se intersectó tramos de areniscas (figura 9) con 1-3 % volumétrico de pirita distribuidas en forma de venillas y diseminada que parecen estar vinculada al emplazamiento de los diques de pórfido monzonita 54 (también con 3% volumétrico de pirita).

El contacto entre la formación que subyace a la Formación Soraya y ella no aflora en el proyecto; lo mismo ocurre con el contacto entre la Formación Soraya y la formación suprayacente a ella. Al Este del área en estudio se ha registrado una falla inversa inclinada 40° O, la cual pone en contacto discordante a las cuarcitas del Soraya con las calizas del Ferrobamba.

La Formación Mara consiste en secuencias delgadas intercaladas de limolitas y lutitas abigarradas con niveles muy delgados de arenisca fina roja a parda. Ésta aflora escasamente de forma angosta al norte y al sur del área en estudio (figura 6).

En el sondaje DDH AH01a (figura 8), a la profundidad aproximada de 155.5 - 156.25 m parece haberse intersectado a la Formación Mara, mostrándose metamorfizada a hornfels con playas de piroxeno y biotita caracterizada por su color verde y marrón claro a oscuro, con venillas de pirita. Luego la fuente del gradiente térmico se atribuye al pórfido monzonita tipo PM 54 y PM 55.

Está infrayace a las calizas de la Formación Ferrobamba y es suprayacente a la Formación Soraya.

Formación Ferrobamba formada por secuencias de calizas gris azuladas, de granos finos a medios, de estructuras laminares (figura 11a) por zonas, en bancos delgados a medianos con algunos niveles gruesos, intercalándose con niveles lenticular de limolita-lutita calcárea. Es frecuente encontrar niveles con nódulos de chert gris a parda de longitud y espesor en el orden de centímetros, también es frecuente encontrar calcita blanca en forma de nódulos (<3 cms), y pirita en traza a 0.5% volumétrico de grano fino, cúbico y diseminada en la matriz de la roca calcárea. Mientras, hacia la proximidad de cuerpos intrusivos, las rocas calcáreas presentan niveles de mármoles blancos o gris claros (figura 11b y 12b), los niveles sedimentarios clásticos de granos finos calcáreos, de sedimentación local, han dado lugar a hornfels con playas de piroxeno o biotita (figura 12a, 13) producto del gradiente térmico que estuvo presente.

El afloramiento de las rocas de esta formación es ampliamente distribuida en casi toda el área de estudio (figura 6), se muestran fuertemente disturbadas, reflejadas: por pliegues locales abiertos y cerrados con ejes de dirección NO, NE hasta E-O; por sistemas de fracturamiento mayormente rellenadas de calcita.

Es notoria la intrusión de rocas ígneas que se han emplazado a través de las fallas que afectan a las rocas sedimentarias (calcáreas y no calcáreas).

El contacto de esta formación con la subyacente Formación Mara, se presenta en forma discordante en esta área de estudio debido a la presencia de una falla inversa (figura 6); hacia la parte superior de la Formación Ferrobamba suprayace la Formación Yauri en forma discordante.

Metamorfismo isoquímico es la recrystalización de los minerales de la roca original y cambios en la estabilidad mineralógica sin transferencia de masa significativa. En el proyecto, son característicos de esta etapa los hornfels, el mármol y cuarcita. Por ejemplo intersectadas en los taladros diamantinos AH 01, AH01a, y AH 03. Mostradas en las figuras 11b, 12a, 12b, y 13.

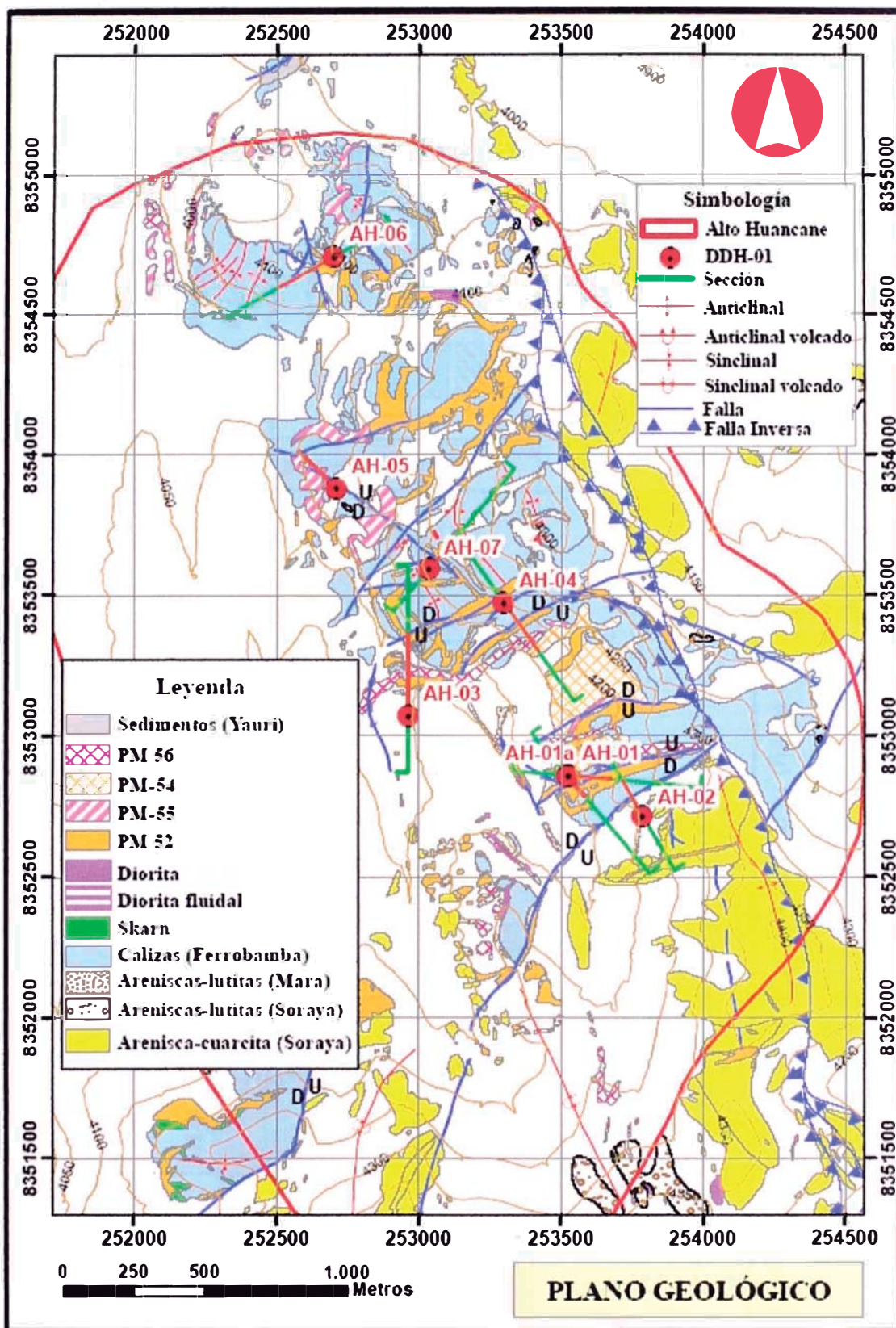


Figura 6: Plano geológico del Proyecto Alto Huancané, actualizada a Abril 2005
 PM = Pórfido Monzonita (Después de Brownfield Tintaya 2001).

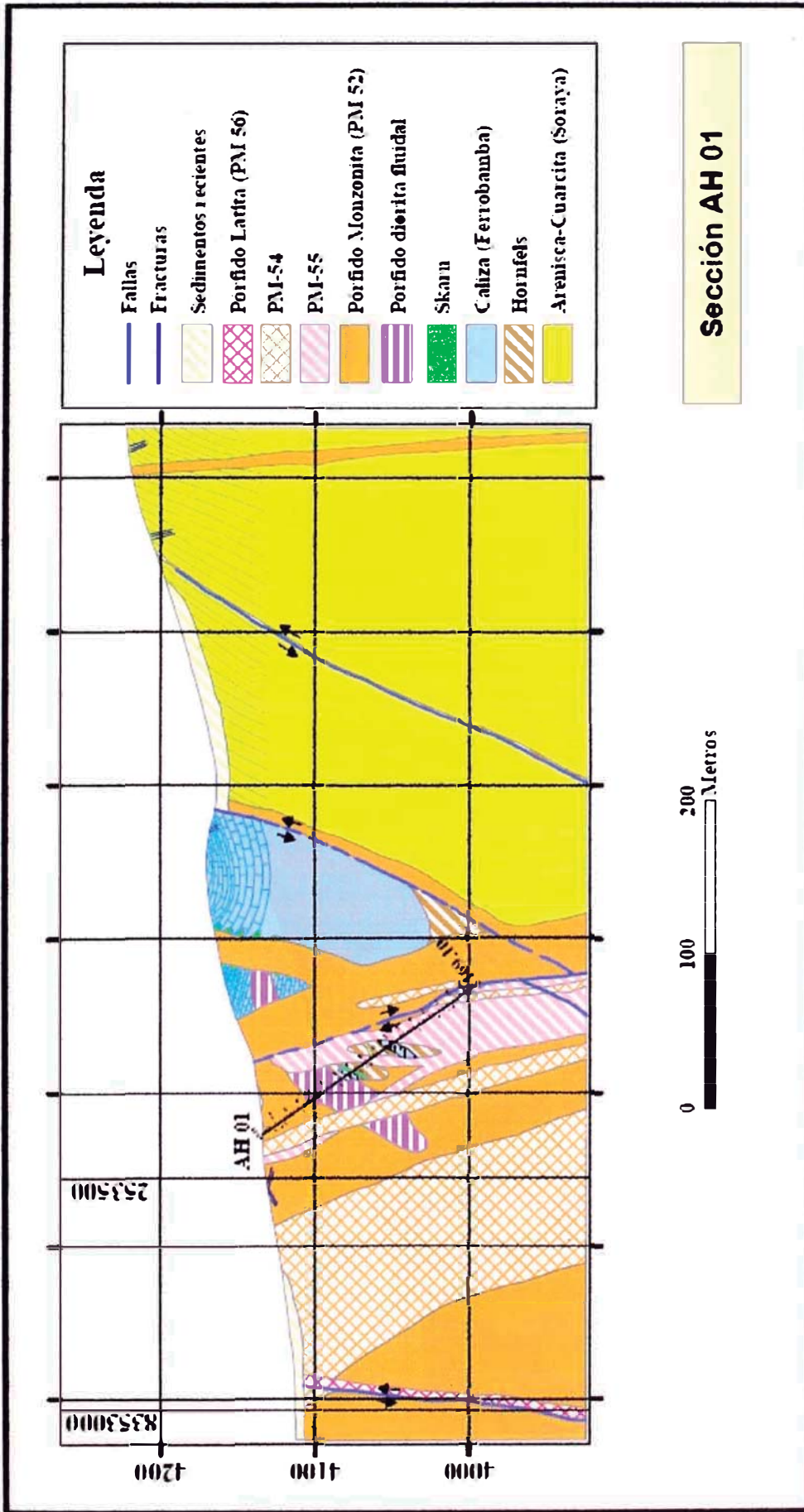


Figura 7: Sección geológica, según el trazo del sondaje DDH AH 01 (figura 6). Cuerpos de calizas englobados por las rocas intrusivas.

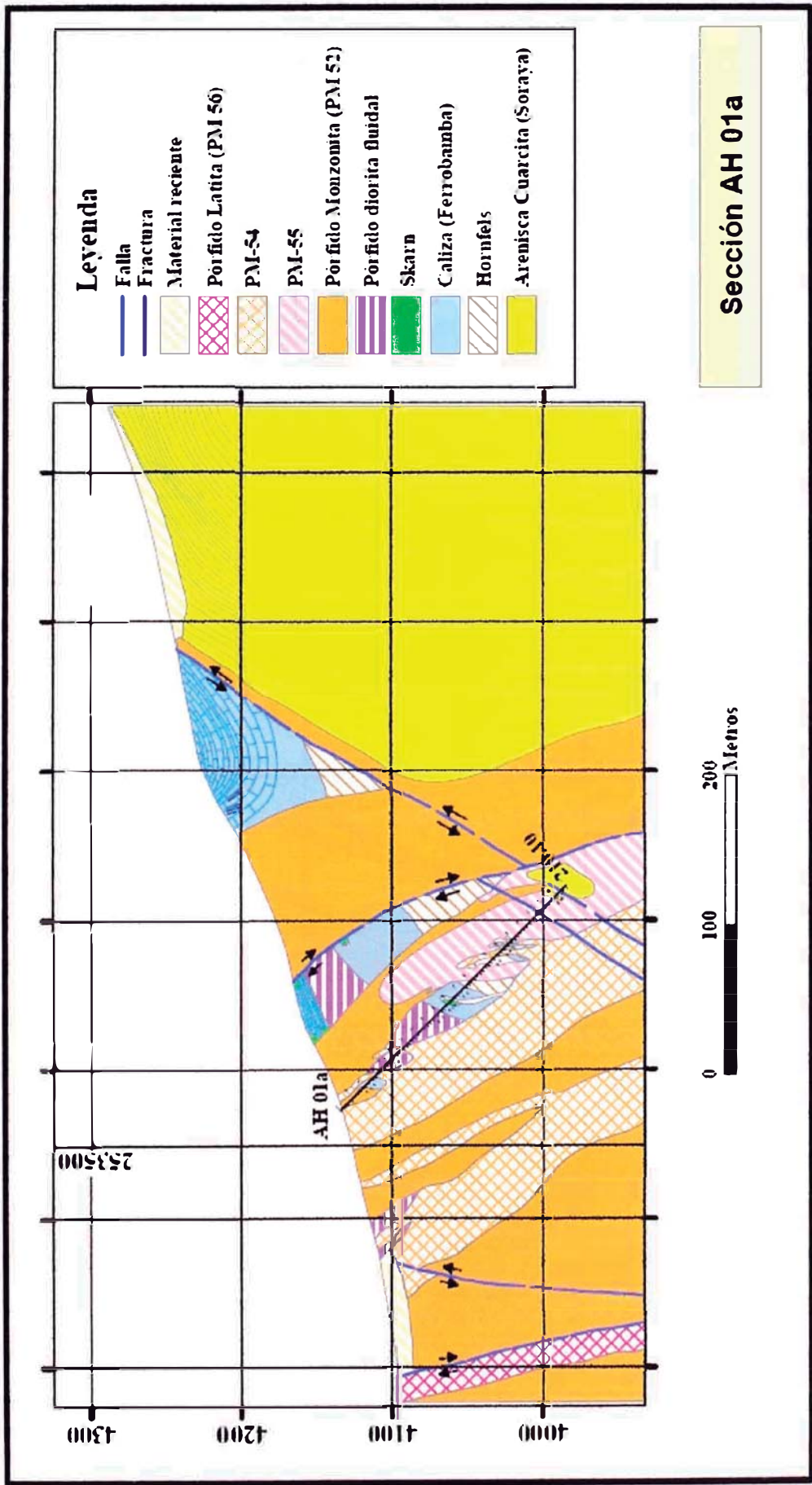


Figura 8: Sección geológica según el trazo del sondaje DDH AH 01a (figura 6). Cuerpos de calizas, hornfels y areniscas-cuarcitas englobados en las rocas intrusivas de textura porfírica y cuerpos pequeños de skarn (exoskarn) inmediato al contacto entre la monzonita 52 y la caliza.

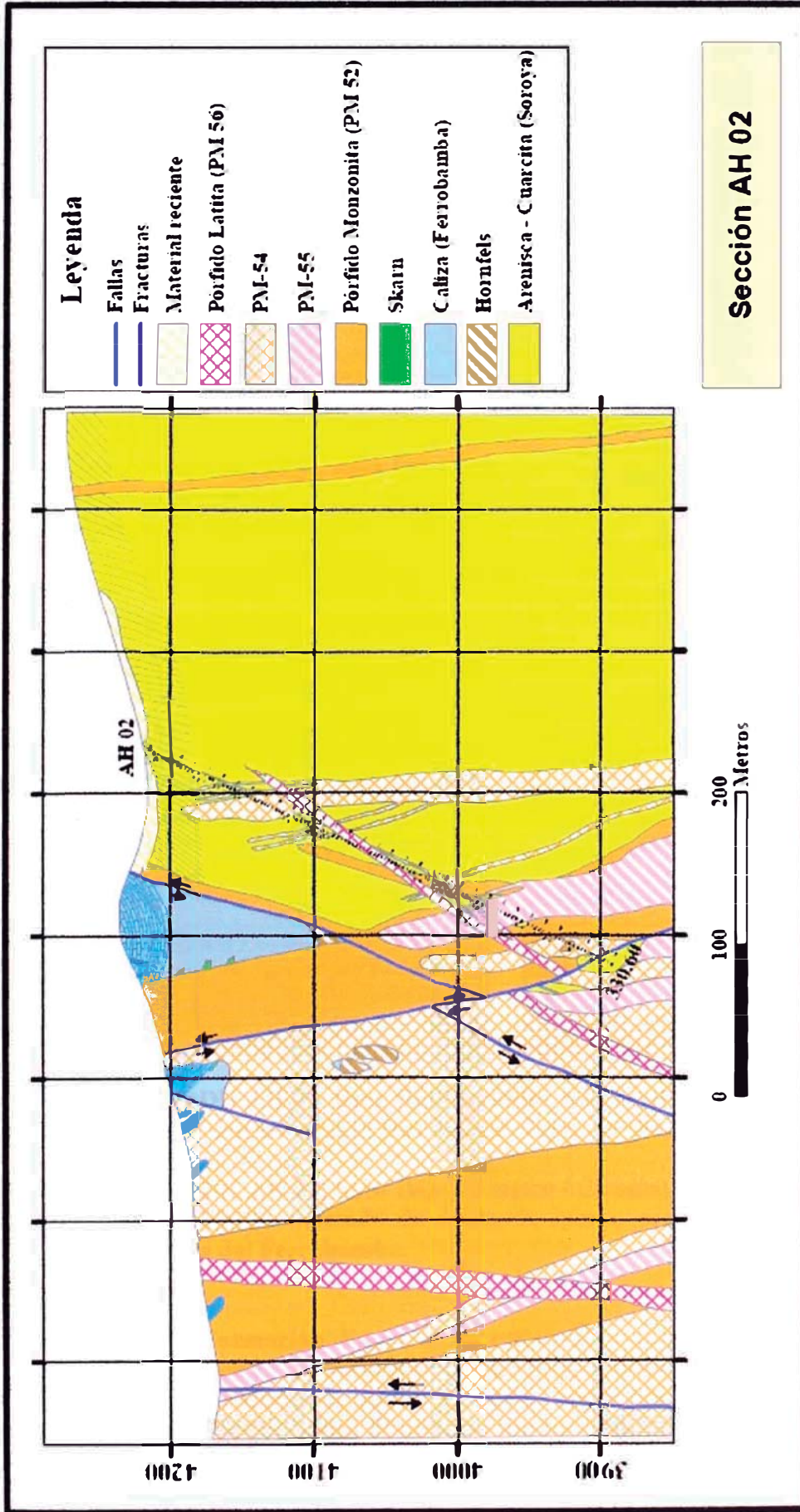


Figura 9: Sección geológica según el trazo del sondaje DDH AH 02 (figura 6). Cuerpos de calizas y areniscas-cuarcitas englobados por el enjambre de intrusivos porfiríticos y skarn de escaso desarrollo (exoskarn) inmediato al contacto entre la caliza y el pórfido monzonita 52.

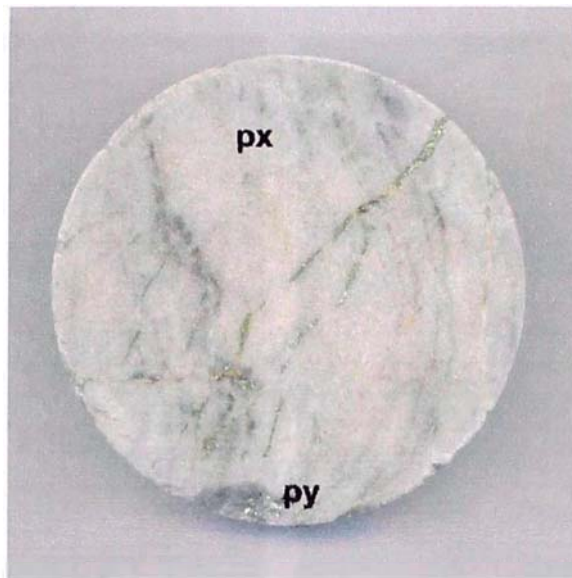


Figura 10: DDH AH 01a, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 207.15 mts cuarcita con playas de piroxeno (px) más pirita (py) de grano grueso a fino en venillas y diseminado.

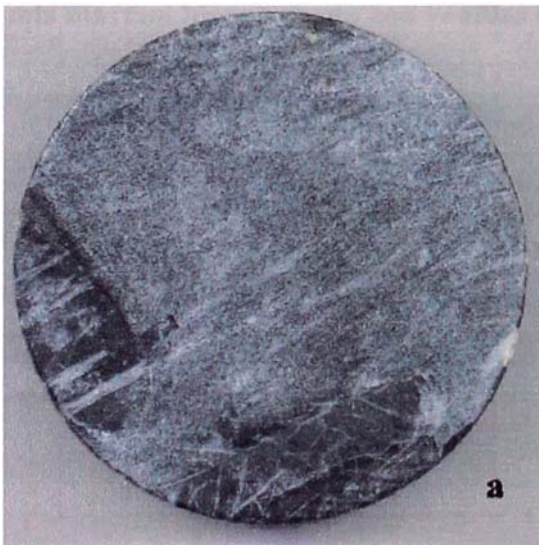


Figura 11a: DDH AH 03, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 122.50 mts caliza gris con estructura laminada y playas de chert gris oscuro craquelada.

Figura 11b: DDH AH 07, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 121.20 mts mármol blanco tapizado de óxido de hierro con venillas de calcita. Roca protolito caliza del Ferrobamba.

Formación Yauri se ha registrado esta unidad al norte del área en estudio y consisten en remanentes de la secuencia superior de la formación en espesores delgados. Son secuencias de calizas blancas de origen lacustre con niveles de areniscas de grano fino y lutitas fluvial. El contacto con las rocas de la Formación Ferrobamba es discordante.

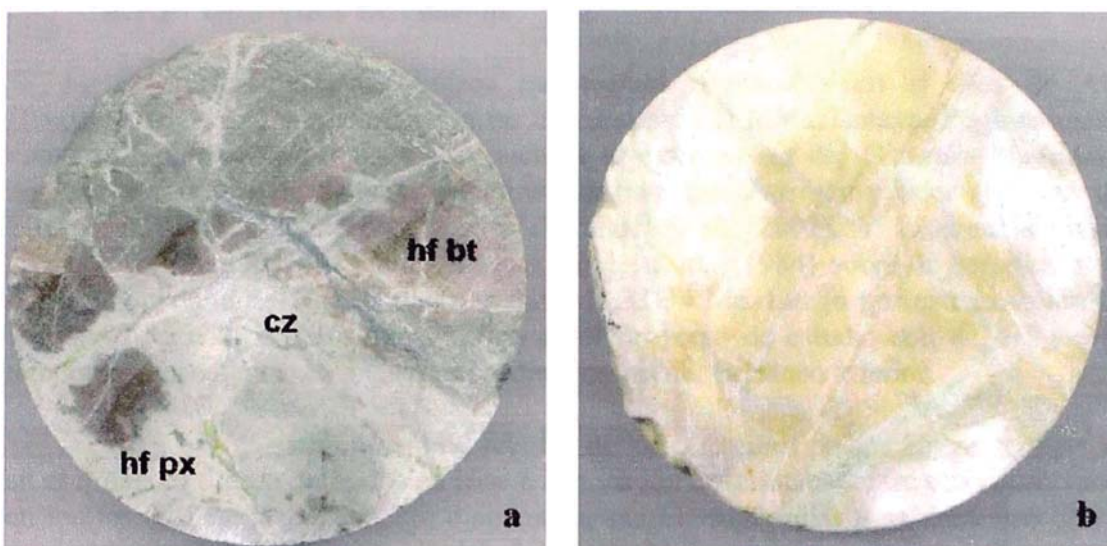


Figura 12a: DDH AH 01, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 71.80 mts hornfels de biotita (hf bt, playas marrones) y piroxeno (hf px, playas gris verdosos) con venillas de cuarzo (cz).

Figura 12b: DDH AH 03, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 180.50 mts mármol blanco pardo con venillas de calcita.



Figura 13: DDH AH 03, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 327.85 mts hornfels de piroxeno (playa verde) y biotita (playa marrón) en bandas coloformes, y calcita rellenando fracturas.

Cobertura reciente son los depósitos de origen glaciar, fluvial, y coluvial que se encuentran acumuladas principalmente en las áreas adyacentes a las quebradas o valles. Consisten en secuencias de arenas, gravas y bloques de diferentes litologías.

4.1.2 Unidades intrusivas

Los diferentes pulsos magmáticos registrados en el área de Alto Huancane (figura 6) son similares a las conocidas de la Mina Tintaya. Regionalmente como se dijo, este material ígneo pertenece al extremo sur del Cinturón Magmático Andahuaylas-Yauri, la datación radiométrica para estas arrojan edades que van del Eoceno medio a Oligoceno temprano (Perello, et. al., 2003). Y localmente datada mediante el método K-Ar, realizado por Noble et al., (1984) sobre la hornblenda de diques monzonita de Tintaya dan una edad de 33-34 Ma. Luego por extrapolación los intrusivos de composición monzonítico en el Proyecto de estudio son del Oligoceno temprano y estas intruyen a las rocas sedimentarias del Cretáceo inferior.

La posición temporal relativa de los diferentes pulsos ígneos registrados en el Proyecto fueron definidos en base a la posición del contacto entre ellas observadas en los testigos de la perforación diamantina, mapeo superficial y se contrastó con la secuencia de emplazamiento de los intrusivos definidos en la Mina Tintaya. A continuación se hace una descripción local del material ígneo del más antiguo al más reciente:

Roca fluidal (60) (Pórfido Diorita fluidal)

Está unidad litológica aflora en la parte central de la zona sur del área en estudio, formando un afloramiento de 1 m de ancho por 3 mts de longitud de tendencia E-O cortando a rocas carbonatadas, pero donde se hace evidente la presencia de está, es en los sondajes diamantinos (figura 7, 8, 14, 16 y 21).



Figura 14: DDH AH 01, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 49.20 mts es la “roca fluidal” de composición diorítica, con alteración de los minerales máficos a clorita y albitización (ab) de las plagioclasas en el borde de las fracturas finas rellenas de calcita.

Son de composición diorítica, relación fenos matriz es 40% : 60%, textura porfirítica, con fenos de feldespatos (plagioclasas) mostrando una cierta orientación, la cual define la textura fluidal (figura 14). Es de color gris verde oscuro, fenos euhedral a subhedral y de granulometría media a gruesa.

Parecen estar asociada al desarrollo de *skarn* (exoskarn) de piroxeno-magnetita de tamaños pequeños, como es el caso de lo intersectado entre 303 – 308 mts del sondaje DDH AH 03.

Diorita (51)

Esta unidad intrusiva aflora muy escasamente al sur y al norte del área en estudio (figura 6), en forma de pequeños cuerpos alargados. Es de color gris verde, textura fanerítica, de grano medio, subhedral a euhedral. También fueron intersectadas por los taladros de perforación DDH AH04 y DDH AH06 (figura 15, 17 y 18).

Esta litología en la Mina Tintaya se ha emplazado en forma concordante al plano de estratificación de las rocas carbonatadas y por tramos inmediatos al contacto se han desarrollado cuerpos pequeños de skarn de magnetita-piroxeno discontinuo.

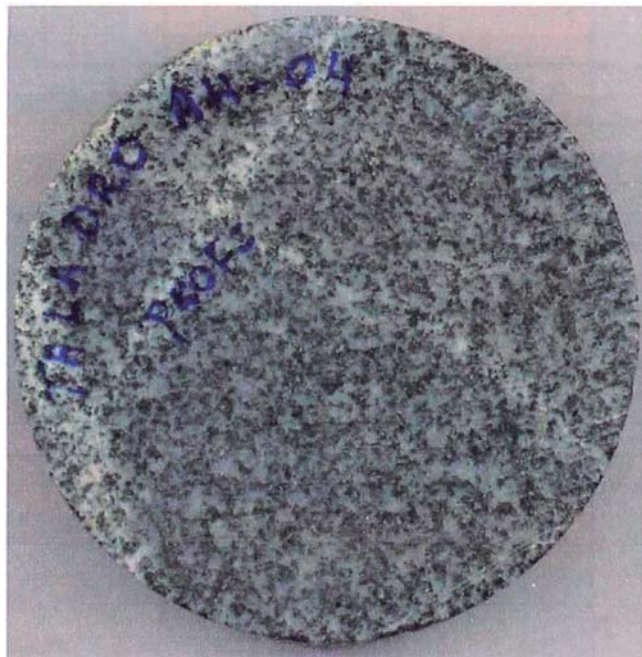


Figura 15: DDH AH 04, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 200.85 mts diorita con bandas delgadas de albitización de los feldespatos, cloritización débil de los anfíboles y escasa biotita secundaria.

En el proyecto se ha interpretado, en el sector norte, como una unidad litológica emplazada subparalelo al plano de estratificación de las unidades sedimentarias calcáreas (figura 18).

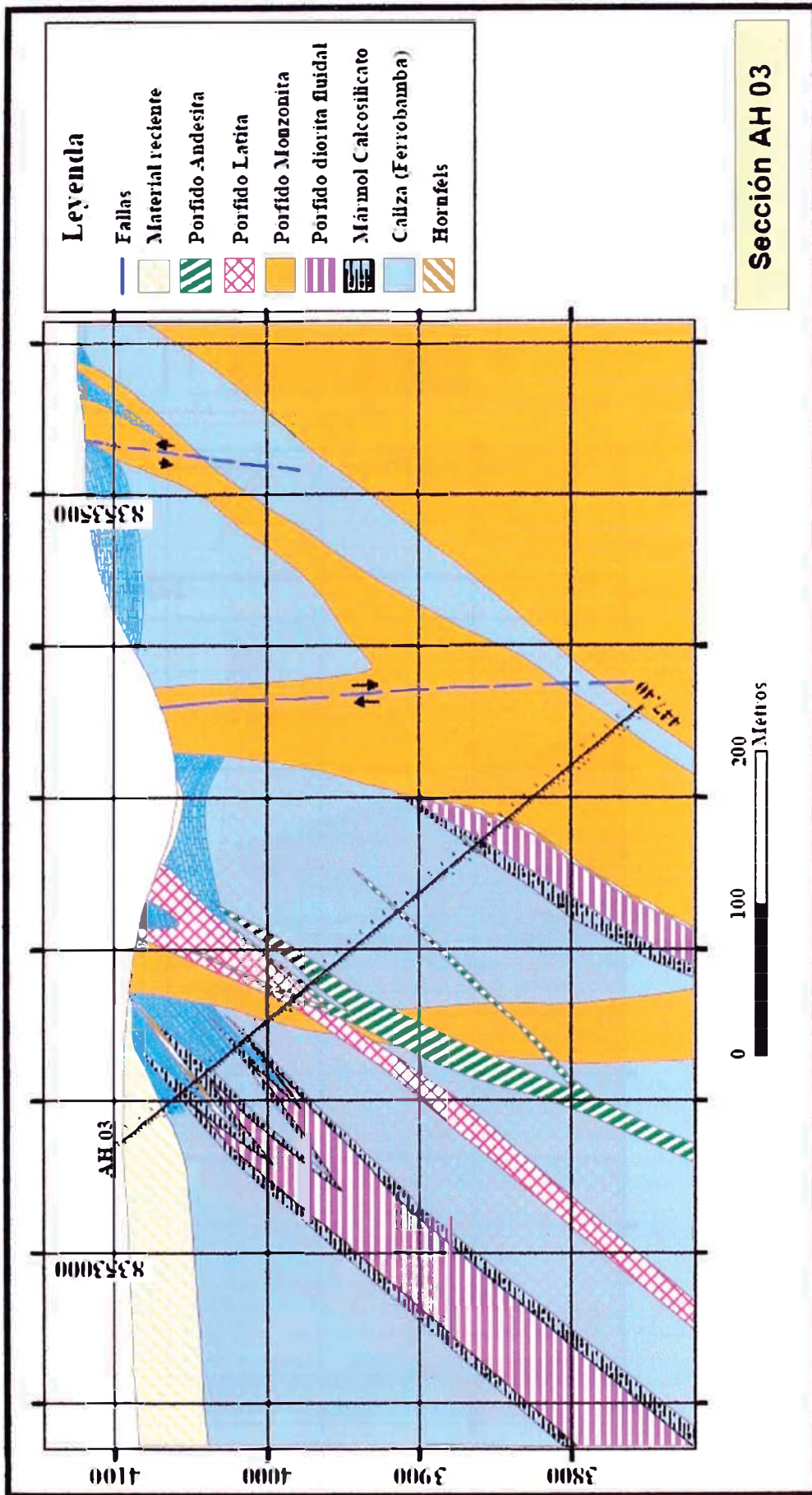


Figura 16: Sección geológica según la traza del sondaje DDH AH 03. Se infiere calcósilicatos desarrollados en las calizas adyacentes al contacto entre las rocas carbonatadas y el pórfido diorita de textura fluidal.

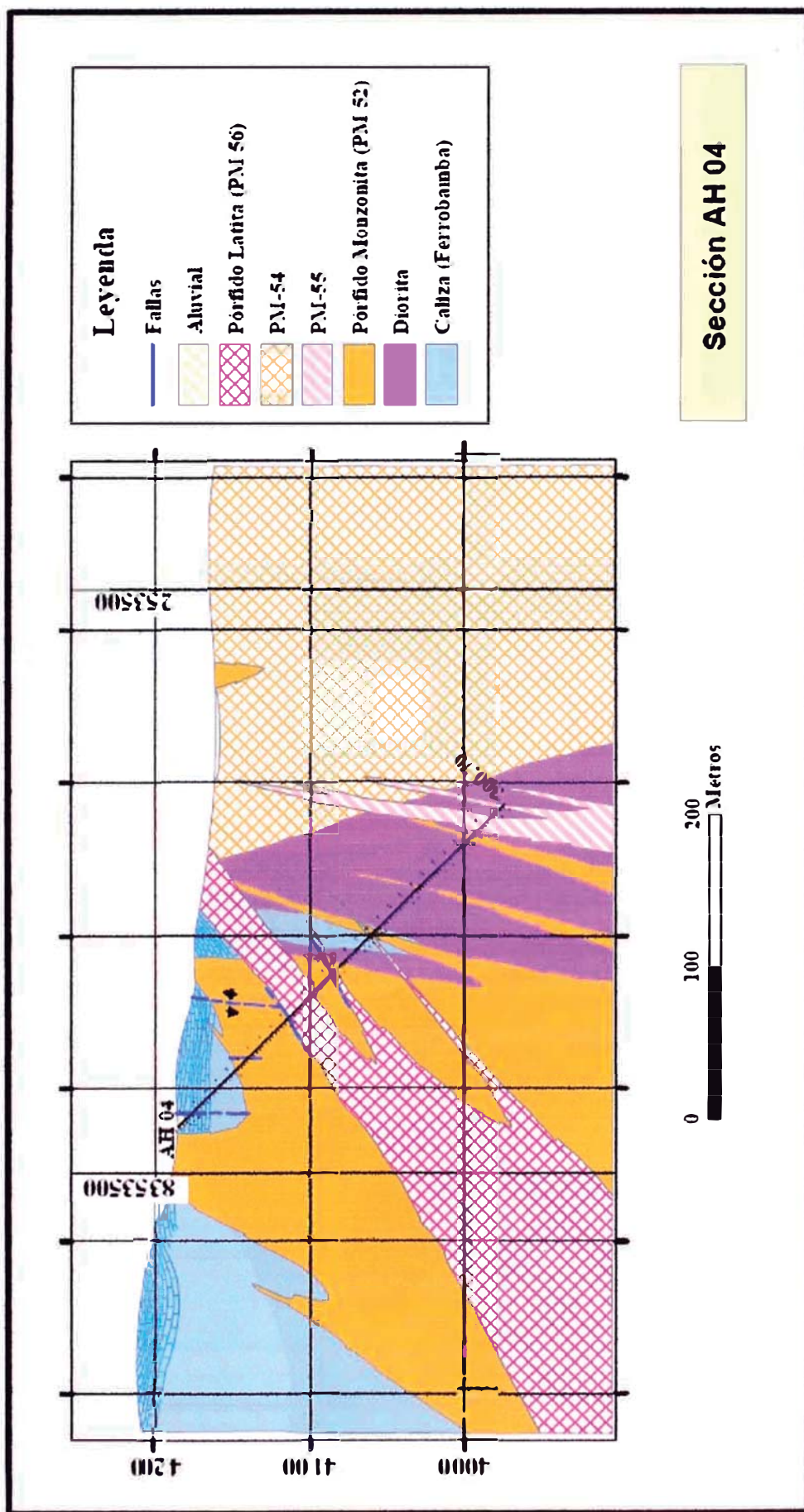


Figura 17: Sección geológica según la traza del sondaje DDH AH 04. Cuerpos de calizas son englobados por las rocas intrusivas. El pórfido monzonita PM 54 se ha emplazado a modo de un stock similar al PM 52.

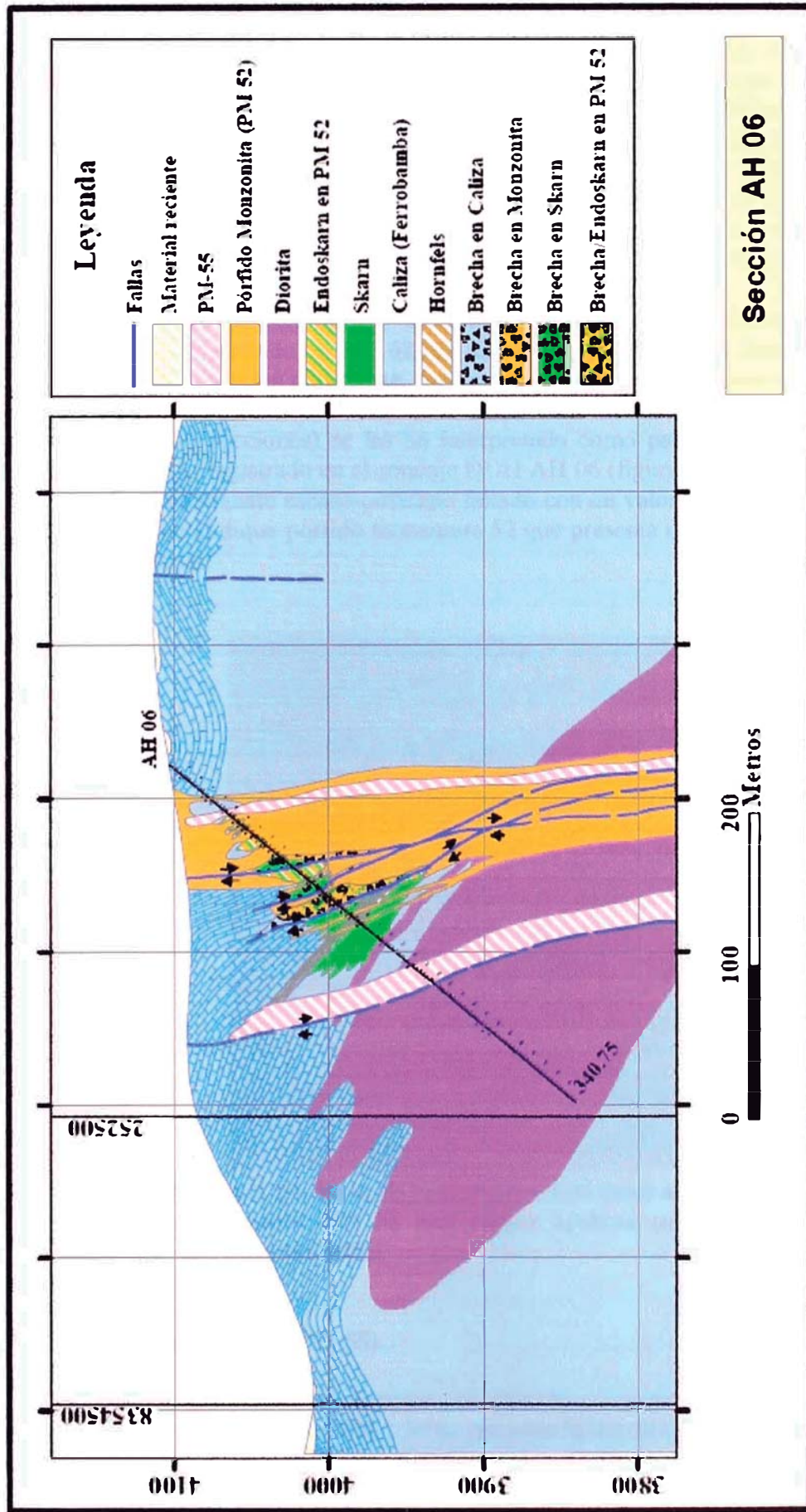


Figura 18: Sección geológica según el azimut del taladro DDH AH 06, las rocas carbonatadas presentan rugosidades del tipo pliegue (ondulaciones) con ondas muy cortas, son intruidas por un dique del tipo pórfido monzonita 52. En el contacto entre las rocas carbonatadas y el dique PM 52 se desarrolló un cuerpo de skarn por tramos es una brecha polimíctica.

Pórfido Monzonita 52 (PM 52)

Esta unidad litológica, aflora principalmente: en forma de cuerpos irregulares alargados, de tendencia general E-O a NE, con anchos muy variables de algunos metros a decenas de metros. Al norte del Proyecto y en la parte sur se exponen en formas de diques irregulares (figura 6). Son de color gris claro, textura porfírica, relación fenos : matriz es 85% : 15%, con fenos de grano medio a grueso, subhedral a euhedral. Fenos de biotita son de grano grueso como “libros” (~5 % Volumétrico); hornblenda prominente (~2 % V); mientras el cuarzo (~3 % V) es de grano medio a grueso, anhedral a subhedral y magnetita de grano fino esparcida (figura 19).

Está roca intruye a la roca de composición diorita, y a las rocas carbonatadas originando en este último un halo de mármol, y el desarrollo de cuerpos muy pequeños de skarn de granate, menor piroxeno y menor magnetita. Los taladros de perforación diamantina, todas han intersectado esta unidad litológica, y en las secciones geológicas (ver secciones) se las ha interpretado como parte de un stock o dique. A excepción de lo registrado en el sondaje DDH AH 06 (figura 18) que intersectó 36.25 m de un *skarn* de granate escaso-piroxeno fallado con un valor promedio de cobre (0.16% Cu) adyacente al dique pórfido monzonita 52 que presenta una zona de endoskarn débil también fallada.

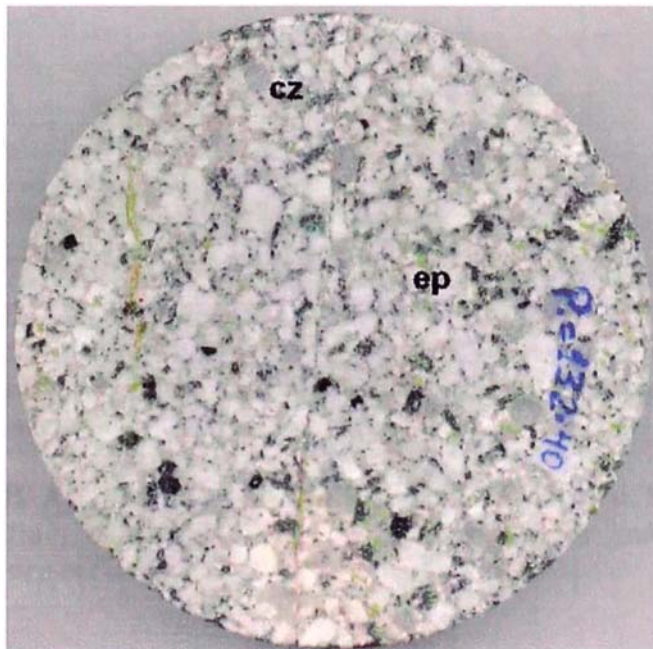


Figura 19: DDH AH 04, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 132.40 mts pórfido monzonita PM 52 con escasa epidota (ep) diseminada, minerales máficos con cloritización débil.

Pórfido Monzonita 55 (PM 55)

Este intrusivo de color gris claro es caracterizado: por su textura seriada, relación fenos : matriz de 65% : 35%, presenta fenos de biotita (~3 % V) en “libros” esparcidos; fenos de hornblenda ~5 % V y fenos de cuarzo ~1.5 % V esparcido (figura

20a y 20b). Los fenos de cuarzo son menos abundantes a la del PM 52, magnetita de grano fino diseminada algo más abundante que la del PM 52. Afloran a modo de stocks pequeños y diques de dirección ENE con formas irregulares en la parte norte y centro del Proyecto Alto Huancane (figura 6). En los sondajes de perforación se le ha intersectado e interpretado como diques de inclinación fuerte (figura 7, 8, 9, 17 y 18).

Son intrusivos porfíricos que cortan a las rocas ígneas ya descritas y a las rocas sedimentarias del Cretáceo inferior. Es frecuente observar una alteración débil sobre estas rocas al estar próximo al contacto con las calizas.

Otra característica de importancia es frecuente la presencia de esfena en forma de granos finos euhedral aislados.

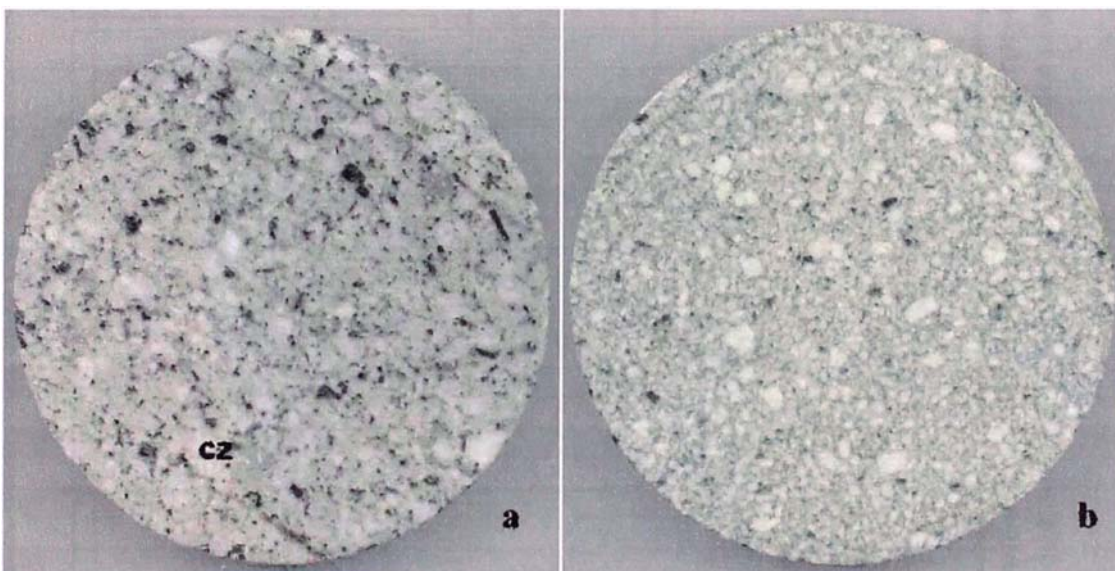


Figura 20a: DDH AH 01, línea HQ (diámetro 6.35 cms.) a la profundidad de 113.50 mts pórfido monzonita PM 55 con ojos de cuarzo (cz), algunas biotitas en “libros” y albitización de algunos granos de plagioclasa. Muestran una matriz más sílica y la textura seriada.

Figura 20b: DDH AH 05, línea HQ (diámetro 6.35 cms.) a la profundidad de 283.05 mts pórfido monzonita PM 55 con minerales máficos cloritizados débilmente y textura seriada.

Pórfido Monzonita 54 (PM 2B o PM 54)

El Pórfido Monzonita 54 (también conocida como PM 2B) en el área de estudio aflora en forma de un stock de regular tamaño con brazos irregulares que salen de ella (diques PM 54). Se ubica en la parte central este del proyecto (figura 6), está es posterior a los intrusivos ya descritos atrás. Son de color gris claro (algo más oscuro que la PM 52), de textura porfírica, relación fenos : matriz de 70% : 30%, con fenos de grano medio, no presenta fenos de cuarzo, fenos de hornblenda ~2.5 a 5 % V, fenos de biotita ~ 4 % V, suele haber mayor cantidad de magnetita de grano fino diseminado que

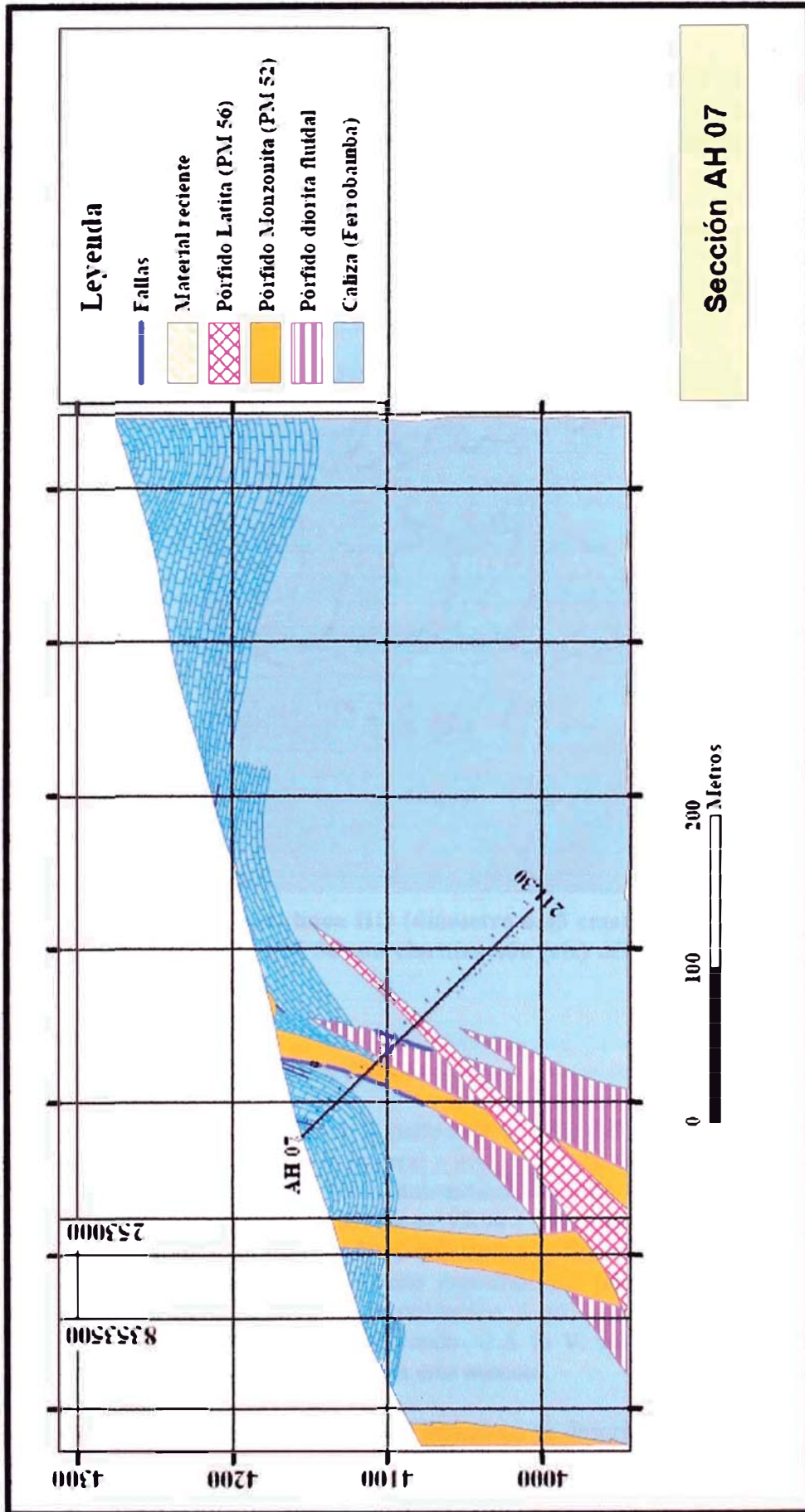


Figura 21: Sección geológica a escala 1:4000, según el azimut del sondaje DDH AH 07. La interpretación geológica muestra cuerpos de calizas con gran espesor intruidos por diques sin presencia de skarn y si lo hay son muy delgados asociados a planos de falla.

las rocas señaladas, y es frecuente que contenga pirita cúbica de grano fino diseminado (figura 22).

Los sondajes diamantinos DDH AH 01, DDH AH 01a, y DDH AH 02 cortaron a esta unidad litológica y se ha interpretado como diques de inclinación alta por la posición de los bordes del dique con respecto al eje del testigo, que es el eje del taladro (figura 7,8 y 9).

Además otra característica que marca la diferencia de esta litología es la presencia de una alteración potásica débil reflejada por la presencia de biotita secundaria a partir de la biotita primaria y anfíboles (hornblenda).

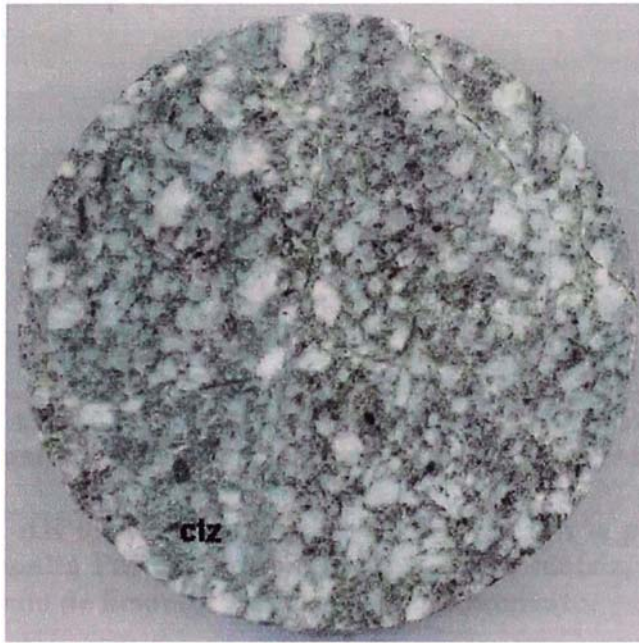


Figura 22: DDH AH 01a, línea HQ (diámetro 6.35 cms), a la profundidad de 53.72 mts pórfido monzonita PM 54 con cloritización (clz) débil de los minerales máficos formando playas verdes.

Latita (Pórfido Monzonita 56, PM 56)

La Latita aflora en la parte central y sur del área en estudio (figura 6), en forma de diques angostos por lo general e irregulares, de tendencia E-O y N-S, con una inclinación mediana y otras veces subvertical. Son de color gris claro, de textura porfirítica, relación de fenos : matriz es 75 % : 25 %, fenocristales de granulometría media a fina con formas subhedrales y euhedrales, y de poca matriz a alta matriz (figura 23a y 23b). Los fenos de plagioclasas muestran dos poblaciones, la población 1 de mayor granulometría ~10 % V, la población 2 de menor granulometría ~ 61% V; biotita ~2.5 % V esparcida, y hornblenda ~1.5 % V. La ocurrencia de magnetita en granos muy finos diseminada, y esfena esta ausente.

Esta litología corta a los intrusivos ya descritos líneas arriba y a las rocas sedimentarias del Cretáceo. Por lo tanto es uno de los últimos pulsos magmáticos y las

veces que está alterada muestra un color blanco debido a la argilización-sericita de intensidad débil a moderada.

En los sondajes diamantinos se las ha reconocido e interpretado como diques (ver secciones geológicas) de inclinación moderada, en analogía de sus formas geométricas de la latita en la Mina Tintaya.

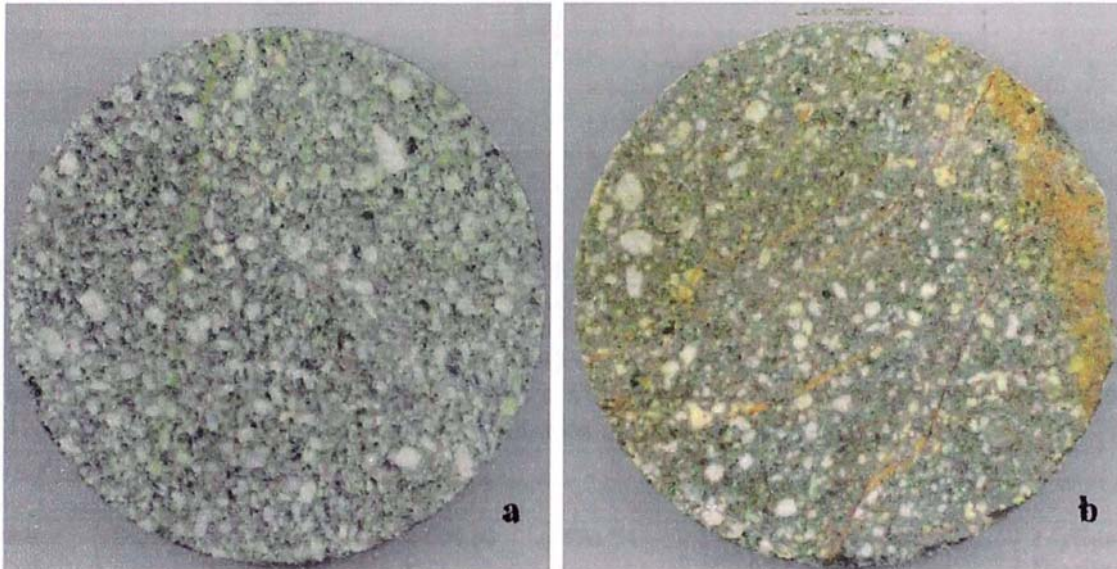


Figura 23a: DDH AH 02, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 161.25 mts pórfido monzonita PM 56 (latita) con máficos alterados débilmente a cloritas

Figura 23b: DDH AH 05, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad 169.59 mts pórfido monzonita PM 56 (latita) con una mayor matriz, minerales máficos cloritizados, tapizado de limonita y un fuerte fracturamiento.

Pórfido Diorita (58)

Este intrusivo no aflora en el área de estudio, pero fue intersectado en el taladro DDH AH 03, es de color gris verde oscuro, de textura porfirítica, la relación fenos : matriz es de 60% : 40%; con fenos de plagioclasas agrupados en una población de grano fino (de tamaño variable) y otra mediano (tamaños variable); sin biotita, hornblenda ~7 % V, esfena esta presente en forma esparcida, y magnetita de grano fino diseminado. Para el caso de la figura 24, la roca presenta argilización moderada y cloritización de los minerales máficos, y por tramos toma un color blanco verdoso. Por analogía a las litologías del Open Pit de Tintaya, está corta las litologías ya descritas y es uno de los últimos pulsos magmáticos hipógenos.

En la sección AH 03 (figura 16) a esta litología se le interpreta como diques de inclinación mediana por la forma como se comportan en la Mina Tintaya.

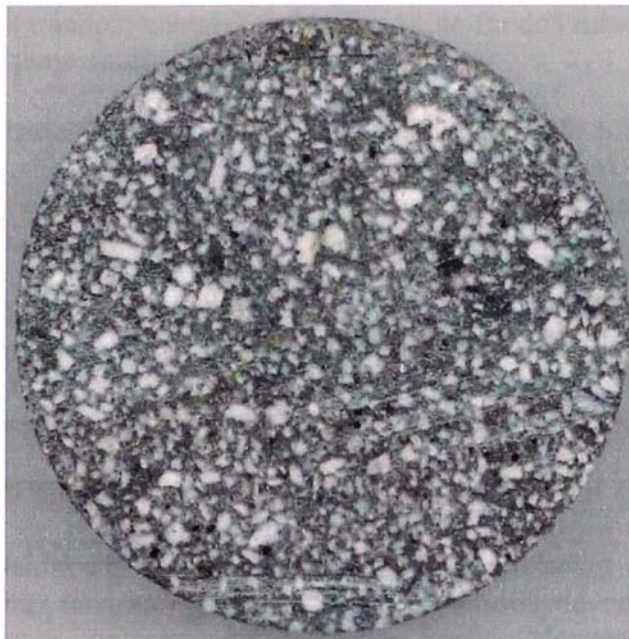


Figura 24: DDH AH 03, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 174.15 mts pórfido diorita (58) con minerales máficos debilmente cloritizados. Alteración argílica moderada a fuerte de los minerales en la matriz y fenos.

Nombre	Diorita	Roca Fluidal	PM 52	PM 54	PM 55	Latita	Pórfido Diorita
Código	51	60	52	54	55	56	58
Color	Gris verde oscuro	Gris verde oscuro	Gris claro a rosáceo	Gris claro-oscuro	Gris claro	Gris claro	Gris verde oscuro
Textura	Fanerítica	Porfirítica, feldspatos orientados	Porfirítica apretada	Porfirítica	Porfirítica seriada	Porfirítica apretada	Porfirítica
Grano	Equigranular, grueso, y fino.	Fenos medianos.	Fenos medianos a gruesos.	Fenos medianos raro gruesos	Fenos variables. Esfenas diseminada	Fenos: plagioclasas 2 poblaciones euhedral.	Fenos finos a medianos - gruesos. Esfena.
Matriz	Gris verde oscuro	Gris verde oscuro. Brillo vitreo a mate.	Gris claro/ Rosáceo brillo vitreo	Gris claro-oscuro, máficos muy finos. Vitreo.	Gris claro, brillo vitreo	Gris claro, brillo vitreo.	Gris verde oscuro, brillo mate.
Fenos% / Matriz%	95/05	40/60	85/15	70/30	65/35	75/25	60/40
Cuarzo	No	No	~<7%	No	~<5%	No	No

Tabla 3: Características principales de las rocas intrusivas en el Proyecto Alto Huancané.

4.1.3 Skarn

El término *skarn* es usado para referirse a asociaciones litológicas formadas por silicatos ricos en Ca, Mg, Fe y Al. Que proceden generalmente de la transformación metasomática de rocas de base cálcica o calcomagnesiana (caliza, dolomías, margas y en menor proporción rocas ígneas básicas) y a veces también

silíceo-alumínicas (granitos, gneises) por la acción de fluidos mineralizadores acuosos a elevada presión y temperatura (Casquet, 1990).

La situación más frecuente es la de un magma de quimismo intermedio a ácido (dioritas a granitos) emplazado en rocas carbonatadas. El calor desprendido por el plutón durante su cristalización moviliza en una primera etapa al propio fluido contenido en las rocas de la aureola provocando reacciones entre ellas. Posteriormente, al producirse la separación del agua contenido en el magma (ebullición retrógrada), ésta se incorpora al proceso metasomático aportando componentes magmatogénicos hacia la aureola. Como resultado se forman *skarns*, principalmente en el encajante (calcáreo, llamado exoskarns), aunque también, en condiciones geológicas favorables, pueden hacerlo sobre las partes del plutón ya cristalizadas (endoskarn) (Casquet, 1990).

En el área del proyecto al norte del sondaje AH 02 afloran pequeños cuerpos irregulares de *skarn* (figura 6), estas consisten en *skarn* de granate-piroxeno escaso-magnetita (exoskarn), algunas con escasa mineralización de óxidos de cobre (crisocola, malaquita, tenorita.) y remanentes de sulfuros de cobre. Siempre están asociadas a las zonas de contacto entre el intrusivo Pórfido Monzonita 52 (PM 52) y las rocas calcáreas de la Formación Ferrobamba.

También, próximo y al SO de la plataforma del sondaje DDH AH 06 se registró un cuerpo pequeño de *skarn* de granate parda clara a amarilla, con presencia esporádica de crisocola recubriendo a ella.

Por otro lado, los sondajes diamantinos intersectaron algunos cuerpos pequeños de *skarn* (exoskarn) como el que se muestra en la figura 25a que es parte de un cuerpo de exoskarn delgado, y es probable que su origen este vinculado a la roca de composición diorita y de textura fluidal (DDH AH 03). El zoneamiento registrado en el sondaje DDH AH 03 desde el intrusivo (a mayor profundidad) a la caliza-mármol (a menor profundidad) es así: una diorita fluidal (308 a 327 m) con venillas de epidota, biotita secundaria y cloritas; seguido del *skarn* (exoskarn) de piroxeno-magnetita (303 a 308 m) con pirita 0.75% V; nivel de mármol gris con bandas de magnetita; otro nivel de *skarn* de granate escaso-magnetita (301 a 301.8 m) con pirita 1,75% V diseminada; seguido de mármol blanco con pirita 1% V (V= volumétrico) y magnetita diseminada. Toda esta secuencia sin sulfuros de cobre visible.

El sondaje DDH AH 06 intersectó niveles de *skarn*, así: un intervalo inicial de endoskarn en el pórfido monzonita 52 seguido por el *skarn* de granate muy escaso-piroxeno (exoskarn desde 89.55 a 177.55 m) con venillas de calcita, de color amarillo pálido a verde (figura 18 y 25b) con algunos niveles de endoskarn e intensamente fallado. El cobre alcanza valores anómalos altos asociado al endoskarn y exoskarn que hacen una mineralización promedio con 0.14% de cobre.

4.1.4 Alteración hidrotermal

En este capítulo se hace una descripción de las alteraciones hidrotermales registradas durante los trabajos de campo y el logueo de los testigos producto de la campaña de perforación diamantina.

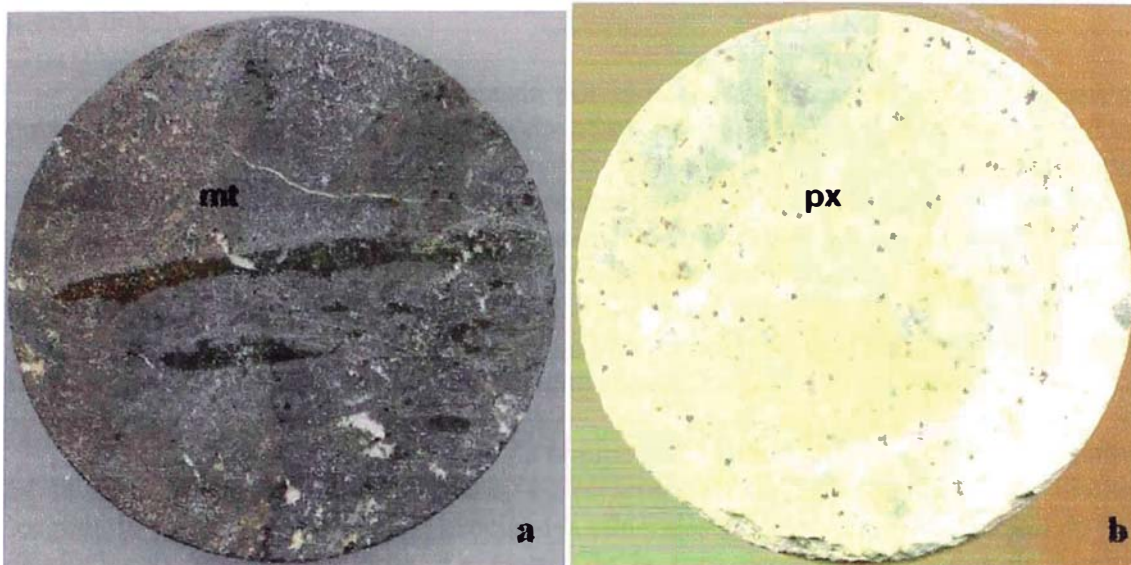


Figura 25a: DDH AH 03, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 301.70 mts, *skarn* de magnetita con remanentes de mármol blanco y tapizada de limonita.

Figura 25b: DDH AH 06, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 116.80 mts *skarn* de piroxeno (px) de color verde amarillo a verde con escaso granate y remanentes del mármol blanco.

Una Alteración Hidrotermal es la transformación de un ensamble de minerales originales de las rocas hacia un nuevo ensamble de minerales más estables bajo las nuevas condiciones hidrotermales de temperatura, presión y la composición del fluido. Pero ocurre casos, que los nuevos minerales reemplazan selectivamente a ciertos minerales de la familia, dejando a otros relativamente intactos, o los productos de alteración son completamente diferentes reemplazando a los diferentes minerales. Es decir la textura original de la roca puede ser solo modificada ligeramente o completamente obliterada en este proceso (Gagliuffi, 1998).

Cinco episodios mayores de alteración y mineralización están en cierto modo vinculados con la formación del *skarn* y la mineralización incipiente en el Proyecto Alto Huancané. Así se han desarrollado en parte de las rocas que encierra el área de estudio *la alteración hidrotermal temprana* (presente en el intrusivo), *el metamorfismo isoquímico*, *la alteración progradada*, *la alteración retrogradada* y *la alteración de baja temperatura*. Y estos términos están asociados al periodo en la evolución del sistema hidrotermal y representan medios fisicoquímico distintivos:

4.1.4.1 Alteración Temprana

Son las alteraciones que se han desarrollado en los intrusivos porfídicos especialmente en el pórfido monzonita 52, aparentemente contemporáneo al desarrollo del *skarn*:

Alteración potásica en el proyecto Alto Huancané esta presente en el pórfido monzonita 52 (PM 52), pórfido monzonita 54 (PM 54), en la diorita y

diorita fluidal.

Está caracterizada por el ensamble mineralógico de feldespato potásico, sílice, clorita y epidota cuando afecta al pórfido monzonita 52 y pórfido monzonita 54. Los feldespatos de la matriz fueron reemplazados por el feldespato potásico y cuarzo tomando un color rosáceo mientras la clorita reemplazó a los máficos y la epidota formó playas irregulares. Escasamente se presenta la ortoza en vena (figura 26a y 26b). A este ensamble, también se une la calcopirita pero en traza asociada a la pirita. La pirita es de grano muy fino y formó un enjambre de venillas oscuras muy cortas. Por tramos se observa remanentes de la textura original de la roca con fenocristales primario de cuarzo y feldespatos (figura 26a).

En el intrusivo de composición diorítico y el pórfido monzonita 54 la alteración potásica, muy escasa, es caracterizada principalmente por la biotita secundaria y feldespato potásico, asociado a minerales calco sódico (albitización de las plagioclasas), epidota y clorita. La matriz de la roca presenta agregados de biotita secundaria fina (producto del reemplazo de fenos primarios de anfíbol o biotita) entre los fenos primarios de la roca y vena de ortoza (figura 26b).

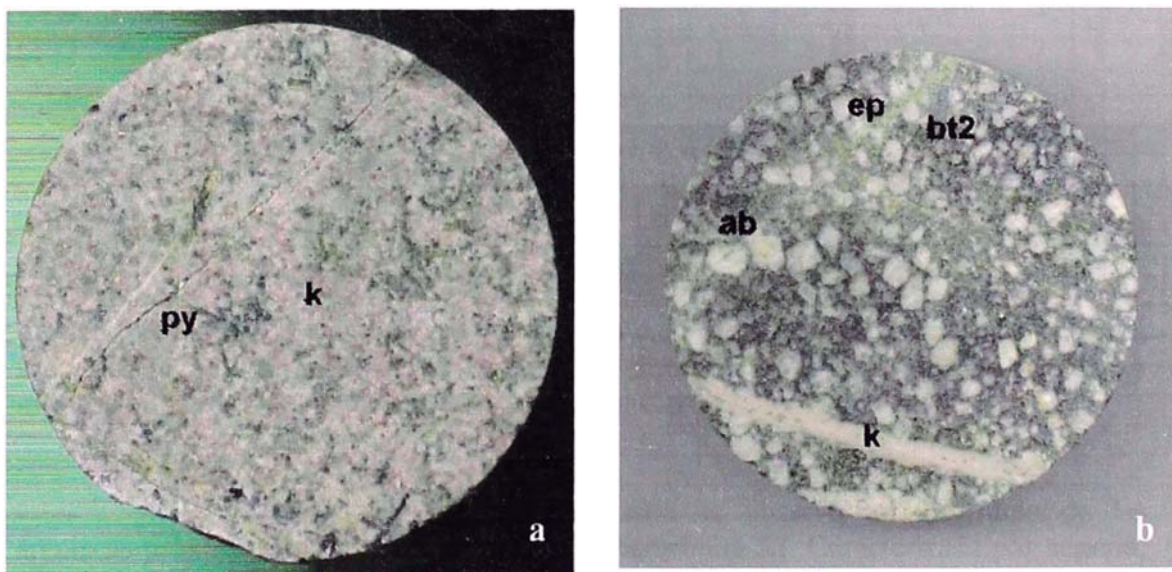


Figura 26a: DDH AH 03, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 401 mts, pórfido monzonita PM 52 con alteración potásica (k) más sílice en la matriz, máficos con cloritización débil y pirita (py) en venillas cortas.

Figura 26b: DDH AH 02, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 304.90 mts pórfido monzonita PM 54, feldespatos albitizados (ab), alteración potásica dada por la biotita secundaria (bt2), ortoza (k) en vena y minerales máficos alterados a clorita, y epidota (ep) en venillas.

Alteración albitización es frecuente observarlo en la roca de composición diorítica y en el pórfido monzonita 54 cuando son próximo al contacto con la roca sedimentaria calcárea. Consiste en albita (mineral calco sódico) junto con biotita secundaria, epidota y clorita.

Esta alteración reemplaza parcialmente a los feldespatos primarios de la roca, se muestra en forma de playas irregulares, bandas y aureolas blancas. Algunas veces asociadas a las venillas de epidota, calcita y otras veces los fenos primarios de feldespatos estan blanqueados (figura 26b y 27).

La pórfido diorita de textura fluidal también suele presentar la alteración del tipo albitización caracterizada por playas irregulares blancas asociada a una escasa biotita secundaria y epidota (figura 31).

La diorita (código 51), muy próximo al contacto con las rocas carbonatadas, muestra frecuentemente alteración tipo albitización asociado a venas de epidota, calcita y a fracturas, escasa biotita secundaria y clorita (figura 27).

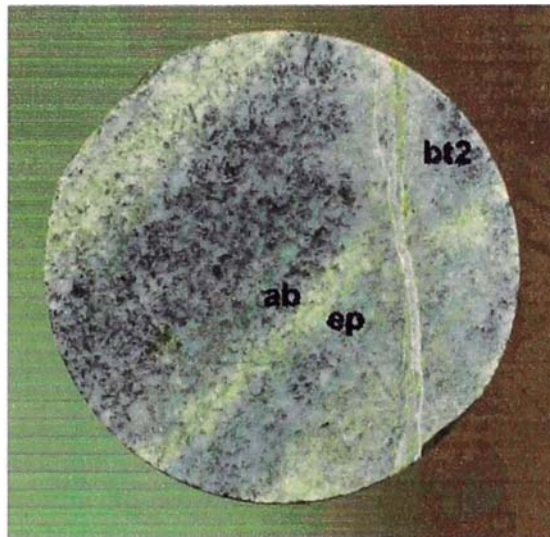


Figura 27: DDH AH 06, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 324.90 mts diorita con bandas de albitización-epidota, epidota en venillas, minerales máficos con cloritización débil, y biotita secundaria.

Alteración sericítica sólo se observó en un tramo de las areniscas próximo al contacto con el pórfido monzonita 52. Caracterizada por sericita, sílice y pirita.

Esta alteración afecta parcialmente a la arenisca con la sericita rellenando los intersticios de la roca (sericita reemplazando a los borde de los granos de cuarzo?), la sílice por tramos oscurece la textura de la roca y pirita de grano fino cúbica diseminada.

Alteración Argílica se observó en los testigos de la pórfido diorita (código 58) y el pórfido monzonita 52. Caracterizada por arcilla blanca a verde claro, sericita y clorita.

Esta alteración es muy local, pervasiva y reemplaza a los feldespatos de la roca pero aún se observan remanentes de los minerales fenos primarios (figura 24 y 28).

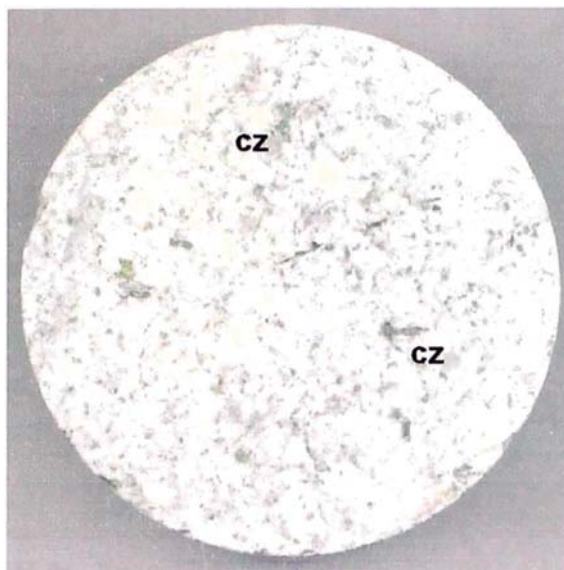


Figura 28: DDH AH 02, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 185.35 mts pórfido monzonita PM 52 con argilización (playas blancas), débil sericitización y débil cloritización de los minerales máficos.

4.1.4.2 Alteración progradada

La alteración progradada en el Proyecto Alto Huancané es representada por el ensamble de minerales del *skarn*, esta probablemente se formó coetáneamente al emplazamiento del intrusivo que en un inicio generó un medio de alta temperatura, seguida por la cristalización del magma debido a la pérdida de calor y a la liberación de una fase fluida magmática que se infiltró en las rocas cajas (intrusivo y sedimentarias), produjo el metasomatismo de las rocas protolitos en la vecindad del contacto entre ellas. Es fácil de identificar porque se muestra zonada, formando el endoskarn en el interior del intrusivo y exoskarn en el interior de la roca calcárea. Predomina el ensamble de minerales calco-silicato anhidro como albita, anortita, granate y piroxeno. También esta presente la epidota y magnetita masiva reemplazando a los minerales de la roca calcárea e intrusiva. Y la alteración potásica-silica dada en la roca intrusiva puede asociarse con el granate-piroxeno progrado.

La alteración progradada correspondiente a la zona del endoskarn es de un ancho del orden de algunas decenas de centímetros a decenas de metros, se ha desarrollado en el pórfido monzonita 52 (PM 52), también en el pórfido monzonita 55 (PM 55), escasamente en el pórfido monzonita 54 (PM 54), en el pórfido diorita de textura fluidal (60) y la diorita temprana mostrando ensambles de minerales calcosilicatos (figura 29a, 29b y 30) en la periferie del intrusivo, próximo al contacto con la roca sedimentaria calcárea.

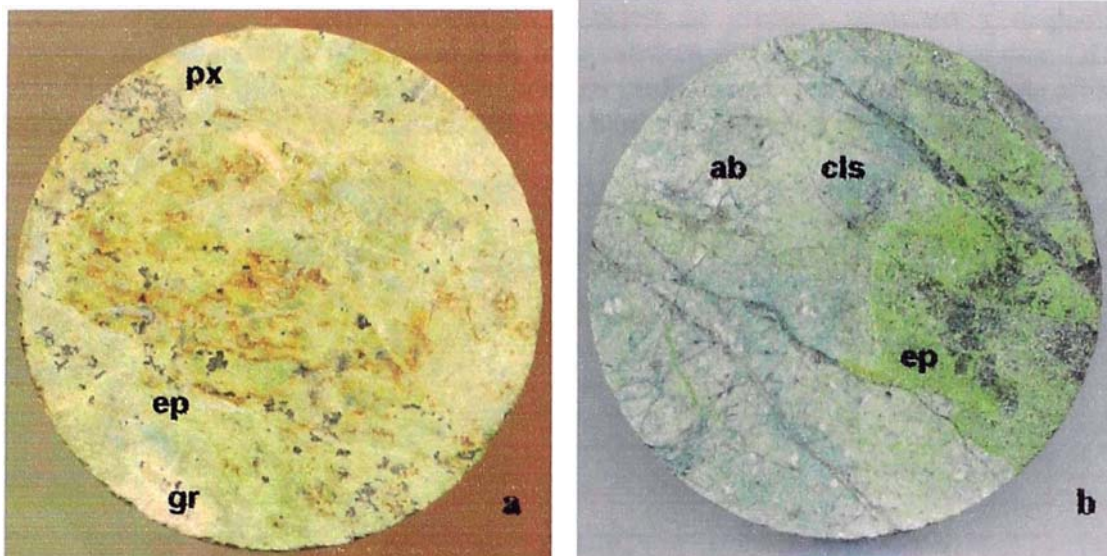


Figura 29a: DDH AH 06, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 62.70 mts endoskarn en PM 52, con playas de piroxeno (px), granate (gr) y epidota (ep).

Figura 29b: DDH AH 04, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad 247.65 mts endoskarn desarrollado en diorita (51) con epidota, albitización y cloritas (cls).

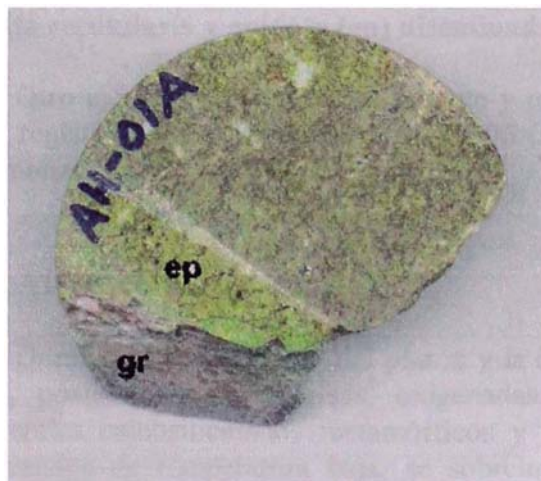


Figura 30: DDH AH 01a, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 99.60 mts, endoskarn en el pórfido monzonita PM 55 con epidota (ep) granular, granate (gr) marrón claro y esfena.

La alteración progradada en la zona exoskarn está caracterizada por un *skarn* de granate, piroxeno y magnetita más calcopirita en traza rellenando los intersticios. Ejemplo es el *skarn* de piroxeno a 425.60 mts de intervalo muy delgado seguido por el mármol, registrado en el sondaje DDH AH 03, el piroxeno reemplazó a la roca calcárea formando playas verde amarillos inmediato al contacto entre la caliza y el pórfido monzonita 52 (PM 52) de alteración potásica en su matriz intersectada en el intervalo de profundidad de 391.45 a 425.60 mts.

Otro ejemplo es el *skarn* de granate, piroxeno y magnetita masiva más abundante, reemplazó a la roca calcárea intersectada en el sondaje DDH AH 03 (301.10 a 308.25 mts) y es seguido (en profundidad) por el endoskarn de albita, epidota diseminada y en venilla asociada a la biotita secundaria (figura 25a y 31).

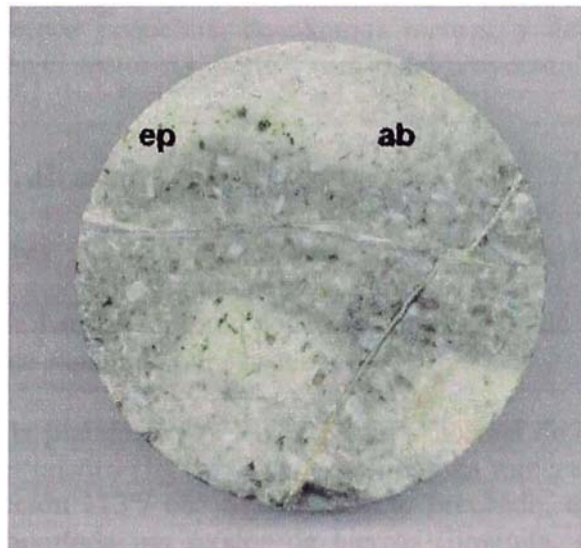


Figura 31: DDH AH 03, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 325.80 mts endoskarn desarrollado en el pórfido diorita fluidal muestra playas de albitización (ab), biotita secundaria y epidota (ep) diseminada.

Otro ejemplo es el *skarn* de granate y piroxeno más abundante (145.95 a 177.55 mts) registrada en el sondaje DDH AH 06 (figura 25b) asociada al endoskarn del pórfido monzonita 52.

4.1.4.3 Alteración retrograda

Durante el enfriamiento del plutón y la circulación de aguas de temperatura más baja, posiblemente meteóricas, oxigenadas, causan la alteración retrograda de los minerales calcosilicatados metamórficos y metasomáticos. Dando nuevos minerales hidratados de temperatura baja, se superponen a la alteración progradada, desarrollada sobre la zona del endoskarn y exoskarn.

En el área de estudio se da una destrucción débil del skarn de granate-piroxeno-magnetita, los minerales máficos (piroxeno, anfíboles, biotita) son débilmente cloritizadas, epidotización débil manifestándose en forma de venillas y agregados esparcidos, calcita en venillas y rellenando intersticios, y argilización débil. Mientras los minerales sulfuros se observan oxidados a limonita, goethita y hematita.

El pórfido monzonita 54 (pulso magmático tardío) suele presentar cloritización, epidotización con agregado de epidota esparcida y en venillas asociado a una mayor ocurrencia de pirita.

El pórfido monzonita 52 (PM 52) muestra una cloritización de los minerales máficos.

4.1.4.4 Alteración de temperatura baja

Esta fase es dada por el reemplazamiento de cuerpos de calizas por sílice, distribuidas en forma aisladas en el proyecto, conocidos como jasperioides con óxidos de hierro. Se muestran en ciertos niveles de la secuencia estratigráfica carbonatada. Son cuerpos pequeños, de algunos metros, y de color rojo a naranja amarillento. Afloran en el sector sur, norte y centro del proyecto.

4.1.5 Mineralización

A través del reconocimiento superficial se logró ubicar indicios puntuales de mineralización, inmediatamente al suroeste de la plataforma AH 06 (figura 6), aflora un cuerpo de 1 m de longitud por un ancho delgado de skarn de granate verde claro tapizada en forma esparcida por crisocola.

Entre la plataforma AH 07 y la falla normal de azimut 130°, 64° SO; según la dirección del taladro (figura 6) se identificó una mineralización puntual sobre una fractura de dirección 113°/ 66° SO de aspecto brechado, con clastos de mármol blanco silicificado soportada por óxidos de hierros (limonita, goethita), malaquita y calcopirita. Hacia el SE del punto anterior por unos 40 metros muy próximo a la falla y al techo de ella se presentan crestones lineales, delgados, discontinuos, de un gossan con sílice, crisocola y malaquita enmascaradas por la limonita y goethita (figura 6, la falla limita el contacto del dique monzonítico con las calizas).

Mientras al sur este de la plataforma AH 01 y al norte del dique intrusivo monzonítico inmediato (figura 6), afloran cuerpos angostos y muy pequeños de exoskarn discontinuos con escasa presencia de crisocola y calcopirita tapizadas de limonita y goethita.

La mineralización de cobre observada en los testigos de los sondajes en general es muy escasa y van asociada a la presencia de calcosilicatos, zonas falladas, alteración sílica y potásica (tabla 4).

DDH	Desde (m)	A (m)	Intervalo (m)	Descripción
AH 01	65.05	66.70	1.65	Mármol blanco silicificado tapizado por agregados de pirita fina en bandas delgadas con venas de pirita-calcopirita escasa (< 1%) y venas de calcita.
AH 01a	96.90	97.60	0.70	Skarn de granate, piroxeno y magnetita, con remanentes de mármol. Cubiertos parcialmente por agregados de pirita y traza de calcopirita.
	100.95	101.35	0.40	Skarn de granate, piroxeno y epidota. Con agregados diseminados de pirita y traza de calcopirita (< 1%).
	204.80	207.45	2.65	Cuarcita con bandas delgadas e irregulares de piroxeno cortadas por venillas de pirita y calcopirita en traza.

Tabla 4: Tramos de testigos, registrados, con minerales de cobre (calcopirita)

DDH	Desde (m)	A (m)	Intervalo (m)	Descripción
AH 02	60.80	61.70	0.90	Pórfido monzonita tipo PM 54, revestida tenuemente por clorita (alteración débil de los minerales máficos), pirita fina diseminada y esporádica presencia de calcopirita en venas muy cortas.
	89.85	92.35	2.50	Pórfido monzonita tipo PM 54, con tramos de cloritas-albita-epidota cortadas por venillas de pirita 2% y venas de pirita-calcopirita muy escasa.
	94.60	96.80	2.20	Pórfido monzonita tipo PM 54 argilizada parcialmente, cortadas por venas cortas de cuarzo-pirita 3% y venas de calcopirita muy escasa.
	113.90	114.80	0.90	Dique de pórfido monzonita tipo 54 cortando a la cuarcita con argilización moderada, pirita 4.5% diseminada y venillas cortas, muy escasas, de pirita y calcopirita.
	197.20	203.10	5.90	Pórfido monzonita tipo PM 52 parcialmente argilizado, con venillas de cuarzo-epidota y calcopirita en traza, y tramo silicificada con pirita diseminada 0.5% y calcopirita puntual.
	292.80	295.30	2.50	Pórfido monzonita tipo PM 54 exhibe alteración argílica débil y biotita secundaria con pirita 3% diseminada y calcopirita muy escasa.
AH 03	339.25	341.90	2.65	Pórfido monzonita tipo 52 con playas de alteración potásica, máficos débilmente cloritizados, cortadas por venillas de calcita y venillas de pirita 1% y calcopirita en traza.
	358.10	359.40	1.30	Pórfido monzonita tipo 52, zona fallada con pirita 2.5% diseminada y en agregados esparcidos, cortadas por venillas escasa de pirita y calcopirita.
	379.40	382.25	2.85	Pórfido monzonita tipo 52 con su matriz silicificada y máficos cloritizados débilmente, son cortadas por micro venillas de longitudes muy cortas e irregulares de pirita 4% (lineales gris oscuro) y calcopirita puntual asociada a la pirita.
AH 04				No se observó sulfuros de cobre.
AH 05	176.80	179.65	2.85	Tramo de contacto entre el pórfido monzonita tipo PM 54 y mármol gris. Separa a ellos, una banda muy delgada de skarn de piroxeno-magnetita con calcopirita en traza.
AH 06	74.40	144.40	70.00	Consiste en tramos brechados compuestos por clastos de skarn de granate-piroxeno, mármol, endoskarn de PM 52 y pórfido monzonita tipo PM 52, e intervalos de PM 52 y endoskarn. Los resultados de análisis dan un valor promedio de 0.14% de cobre. Calcopirita 1%.
AH 07				No se observó sulfuros de cobre.

Tabla 5: Tramos de testigos, registrados, con minerales de cobre (calcopirita)

4.2 Geología estructural

El Proyecto Alto Huancané esta localizado en la parte superior de la corteza terrestre, y por lo tanto será más frecuente encontrar la deformación por ruptura, reflejada en la presencia de grietas, diaclasas y fallas. Donde la cinemática de las fallas dependerá de su geometría y del régimen tectónico ya sea del tipo extensión, por deslizamiento o por reducción. Mientras la deformación dúctil heterogénea será reflejada por los sistemas de pliegues, pliegues volcados o cabalgaduras presentes en las secuencias sedimentarais.

En los siguientes párrafos se hace una descripción de los lineamientos interpretados desde una imagen satelital y de las estructuras observadas durante los trabajos de campo.

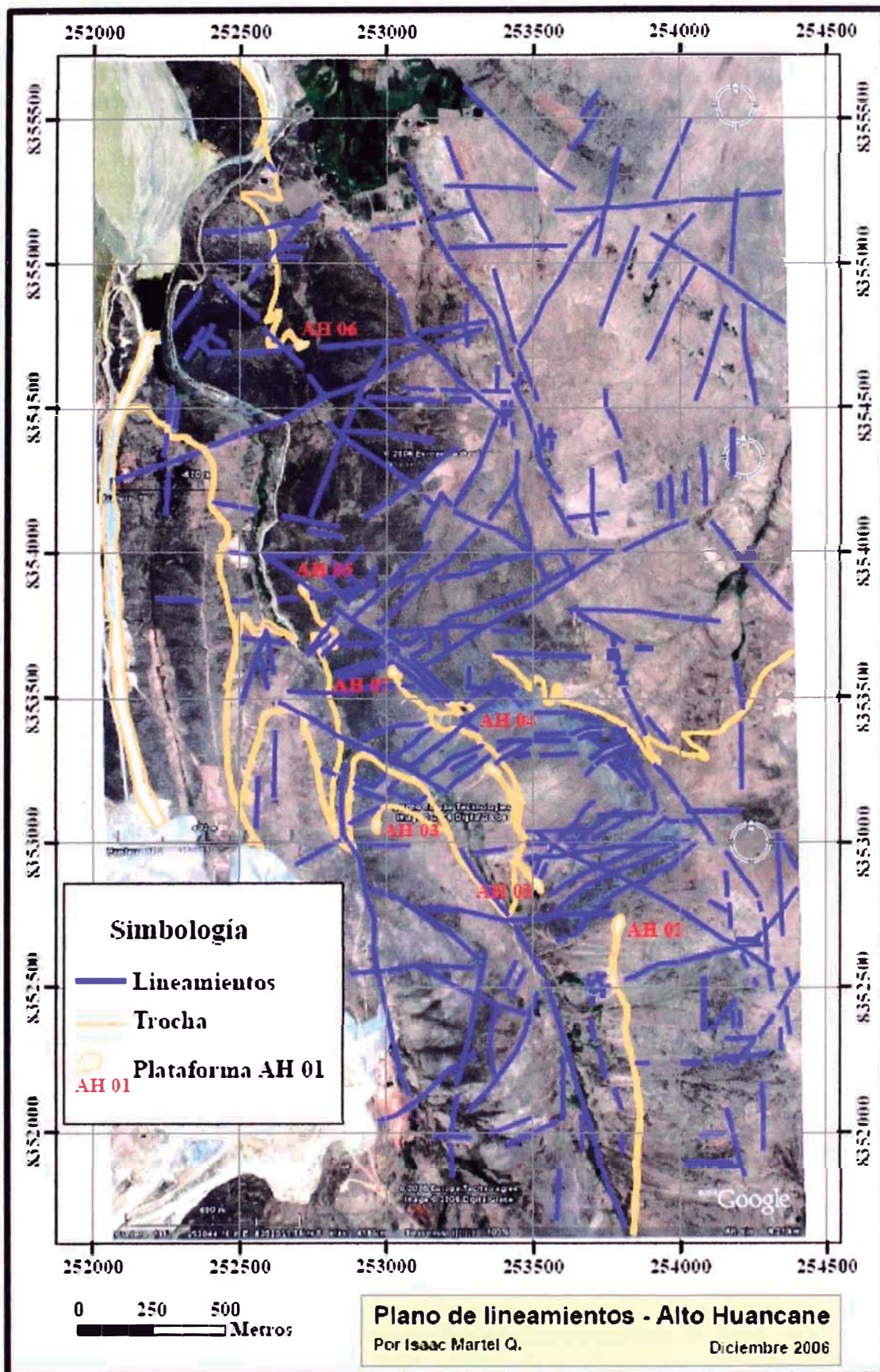


Figura 32: Lineamientos interpretados desde una imagen satelital bajada desde el buscador WWW.Google Earth, se trabajo a escala aproximada de 1: 7000.

Hoy en día se recurre bastante a la interpretación de lineamientos desde imágenes satelitales o fotografías aéreas de la superficie terrestre. Porque es sabido que el trazo de un lineamiento sobre dicha imagen es trazar una expresión superficial de alguna estructura cortical o estructuras corticales que tienen forma larga y estrecha a la escala de la imagen. Estas son caracterizadas mediante el conjunto de trazos rectos o curvos, de forma continua o discontinua sobre la imagen. La figura 32, muestra el trazo de lineamientos interpretados desde una imagen de satélite para el área de estudio a una escala aproximada de 1: 7000.

El trazo de los lineamientos permite hacer un análisis estadístico de orientación de estas, para ello se usó el software de Stereonet, generándose el diagrama de roseta para el área de Alto Huancané (figura 33, cada círculo indica una frecuencia de 10%).

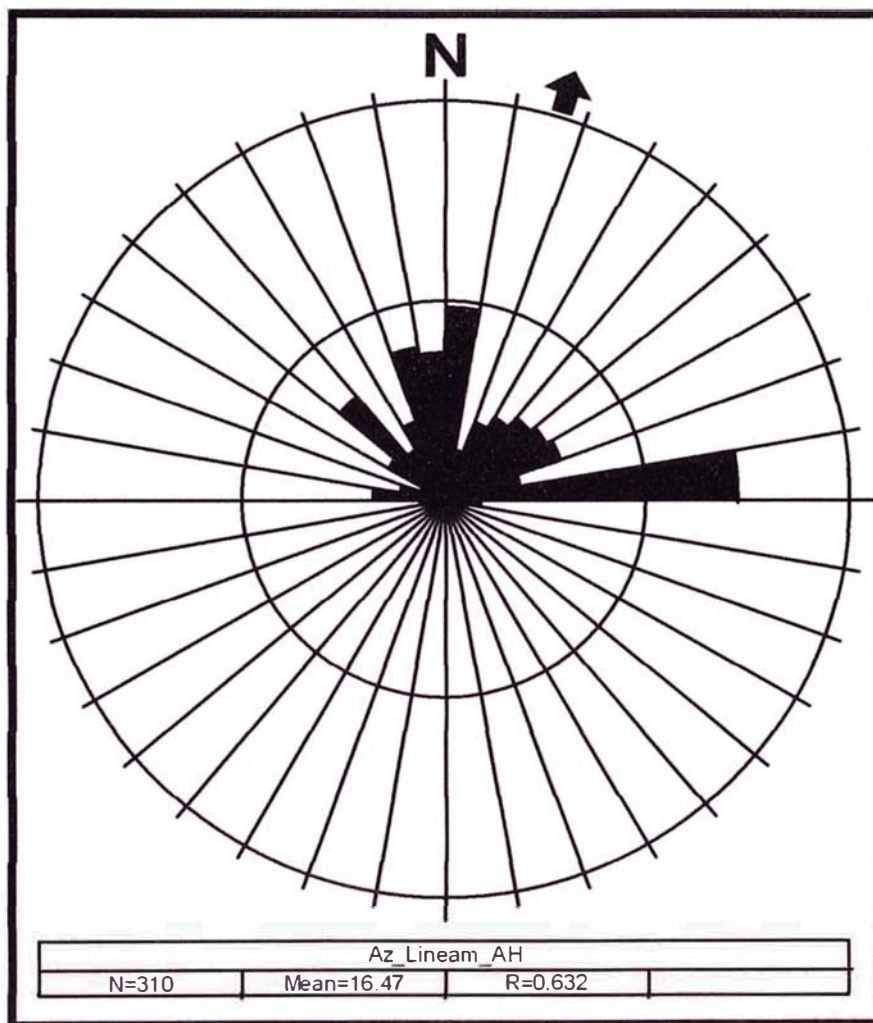


Figura 33: Diagrama de roseta para orientaciones de lineamientos interpretados desde una imagen satelital del Proyecto Alto Huancané.

El diagrama de roseta (figura 33) muestra una preferencia de lineamientos más frecuentes en la dirección de 080° a 090°, seguida de la orientación 340° a 010°, 040° a 060° y 300° a 320°. Es decir estructuras de direcciones próximas a las orientaciones E-O, N-S, NE y NO son las que se deben encontrar en el proyecto.

Estas orientaciones de mayor frecuencia determinadas, son los sistemas de direcciones de fallas identificadas en el tajo Chabuca Este y nos permite inferir la influencia aún de estos sistemas de direcciones estructurales en la vecindad de la Mina Tintaya.

Basado en los trabajos de campo y el estudio preliminar de Phillip Gans (2005); se generó el plano geológico del proyecto a escala 1: 5000 (figura 6). En ella resaltan las litologías de la Formación Ferrobamba (calizas) circundada al SE y Este por areniscas-cuarzitas de la Formación Soraya y estas son intruidas por el material ígneo del batolito de Andahuaylas-Yauri bastantes diferenciados que van de la diorita a una cuarzo monzonita. Aparentemente la intrusión ígnea se da más frecuente en las calizas del Ferrobamba y menos frecuente en el material clástico de la Formación Soraya.

Las estructuras geológicas en el área de estudio, fueron agrupadas según la geometría de estas y direcciones preferenciales (como los lineamientos interpretados), esto nos sugiere la presencia probable de distintos regimenes tectónicos que actuaron sobre el área en estudio.

En el sector NE del proyecto Alto Huancane (figura 6): las calizas de la Formación Ferrobamba son puestas en contacto directo con las areniscas-cuarzitas de la Formación Soraya, las areniscas-cuarzitas de la Formación Soraya descansan sobre las calizas de la Formación Ferrobamba y Calizas sobre Calizas de la Formación Ferrobamba por una falla inversa de orientación general N 25° O e inclinación 45° SO. Además está falla parece tener una componente de movimiento dextral con un desplazamiento de varias centenas de metros (figura 6). Mientras en el sector SE del área en estudio, aflora una estructura de dirección N 50° E, 65° NO; se interpreta como una falla de movimiento Normal. Se propone que fue así, por el contacto prácticamente directo entre las formaciones Ferrobamba (calizas) al techo y Soraya (cuarcitas) al piso, separados por un dique de algunos metros de ancho (observado en superficie con calicata), emplazado a través de este plano de falla. Se muestra en las secciones AH 01, AH 01a y AH 02 (figura 7, 8 y 9).

En el sector suroeste del proyecto no se ha registrado estructura mayor alguna, pero se observaron estructuras menores subverticales de dirección N 20° O cortando incluso rocas intrusivas. En el sector NO del área en estudio se ha registrado una estructura falla de dirección N 60° E.

Por otro lado, el proyecto muestra otras estructuras geológicas, aparentemente son estructuras menores, tipo fallas de movimiento normal subvertical al NO de dirección N 35° - 60° E que han controlado el emplazamiento de diques PM 54 y PM 52; fallas normal subvertical al SO de orientación N 30° - 50° O (por ejemplo al noreste de la plataforma 7) controlan el emplazamiento de diques PM 52; estructuras fallas de dirección N 10° a 0° O subvertical estas controlan probablemente el emplazamiento de diques PM 55, y sistemas de fallas de dirección N 78° - 85°E subvertical al sur controlan el emplazamiento de diques PM 56 y probablemente también del PM 55. En asociación a estas fallas se observa un intenso diaclasamiento desarrollado en las rocas intrusivas y secuencias sedimentarias; en las rocas calcáreas la fractura generalmente es rellenada por calcita.

La deformación dúctil heterogénea esta dada por los pliegues que se han desarrollado en las secuencias sedimentarias (figura 6). Estos pliegues se las agrupado en sistemas de ejes de pliegues, por sus orientaciones con que se muestran en el área de estudio. Así, en la vecindad de la plataforma AH 06, las calizas presentan pliegues menores bastante cerrados de dirección N 15° - 45°E y N 45° O. En la cercanía de las plataformas AH 05, AH 07 y AH 01 las calizas son afectadas por pliegues cerrados de dirección N 30° - 40° O. Mientras al suroeste dentro de las calizas el eje del sinclinal es de dirección E-O.

En el dominio de las areniscas los pliegues presentes en las areniscas-cuarcitas son abiertos y cerrados. En el sector NE del Proyecto Alto Huanané al este de la falla inversa se muestra un anticlinal de dirección N 15° E y más al este un anticlinal volcado con la traza de su eje arqueada. En el sector sur se observó pliegues volcado de dirección N 25° O localizada al oeste y al techo de la falla inversa, más hacia el oeste se tiene un eje de sinclinal volcado de orientación N 25° O, y más al oeste otro sinclinal volcado de dirección N 20° E.

La geometría de las estructuras mostrada en el plano geológico (figura 6) nos permite inferir que existió una deformación muy intensa de ruptura y dúctil. Y estas son el resultado de diferentes eventos tectónicos que actuaron durante el tiempo geológico en el área de estudio. El comportamiento del dominio litológico de las calizas resultó fuertemente plgado y fallado que la del dominio de la arenisca-cuarcita.

A continuación en las figuras 34, 35 y 36, fotos de galletas de testigos, se muestra la deformación frágil de las rocas presentes en el proyecto Alto Huanane e indica un incremento alto de la porosidad y una probable permeabilidad alta:

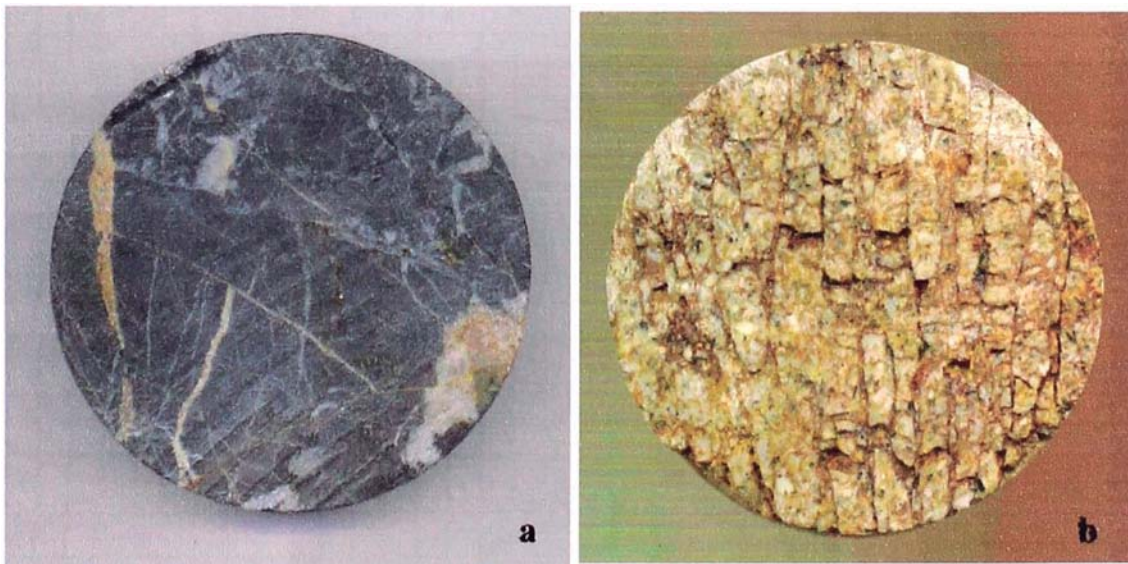


Figura 34a: DDH AH 03, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 40.60 mts mármol gris con fracturas irregulares rellenas de calcita y tapizada de óxido de hierro. Nótese el fuerte fracturamiento.

Figura 34b: DDH AH 06, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 31 mts pórfido monzonita PM 52 craquelada y tapizada de limonita meteórica.

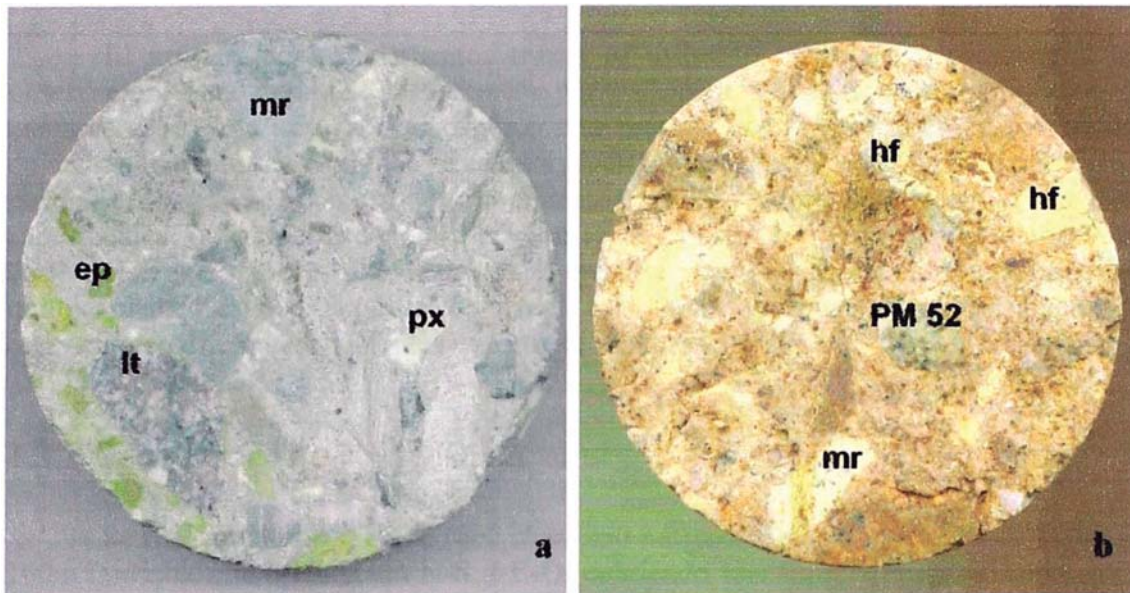


Figura 35a: DDH AH 03, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 108.45 mts zona de brecha polimíctica con su matriz constituido por fragmentos finos y playas de epidota diseminada soportando clastos de mármol (mr), hornfels (hf) de piroxeno, latita (lt) y hornfels piroxeno-biotita. Sugiere zona de falla.

Figura 35b: DDH AH 06, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 29.15mts zona brechada en el contacto rocas carbonatadas y PM 52. Clastos de mármol (mr), hornfels (hf) y PM 52 en matriz calcáreo tapizada de óxido que le da un color blanco amarillo a parda. Sugiere zona de falla.



Figura 36: DDH AH 07, línea HQ (diámetro 6.35 cms) a la profundidad de 135.60 mts caliza gris claro con oquedades producto del proceso cárstico.

4.3 Exploración geoquímica

El análisis de los elementos trazas es utilizado como un suplemento a la observación visual durante la prospección por yacimientos de minerales no aflorantes o enmascarados. Este método de prospección se practica por lo general en las campañas de reconocimiento inicial donde se reúnen muestras de gran variedad de materiales que pueden corresponder a: rocas de afloramientos, suelos, sedimentos de arroyos, aguas superficiales y subterráneas, vegetación y el aire. En un estudio avanzado corresponderán a rocas obtenidas por la perforación. Las muestras son analizadas químicamente para determinar la abundancia relativa de los elementos, su distribución y migración en diferentes ambientes terrestres (Novitzky, 1978).

4.3.1 Geoquímica de roca y suelo

Se realizó un muestreo de *rock chip* (250 muestras), según una malla de 100m x 100m (variable) de orientación N-S y E-O, cubriendo una superficie aproximada de 3 km x 1 km, donde la malla de muestreo adoptó la forma del área de investigación. Las muestras se tomaron en forma de fragmentos de roca con un tamaño aproximado de una pulgada asociado a un área de diámetro igual a 5 metros, excepcionalmente si el punto de muestreo correspondía a alguna estructura se tomaron muestras por canal perpendicular a la estructura. Estas muestras corresponden a fragmentos de calizas, mármoles, areniscas, monzonitas, skarns, jasperoides y venas (figura 6 y 37). Procesado los resultados del análisis químico estas dieron un fondo para el cobre de 50 ppm (figura 37); con zonas anómalas, en la parte central este del proyecto, de valores desde 231 a 420 ppm Cu y algunos valores altos puntuales que van de 661 ppm hasta inclusive algo mayor a 9000 ppm de cobre. También se tomaron muestras de suelos (un total de 336) siguiendo la misma malla y que cubrió en el proyecto un área de 6 km² (figura 38). Para esto se construyeron pozos de poca profundidad que ponía al descubierto el horizonte B del suelo, se tomó muestra directamente de este horizonte con un peso aproximado de 2,5 kg. y en el laboratorio de análisis fueron pasadas por la malla -80. Sus resultados permitieron definir un fondo para el cobre de 75 ppm, zonas anómalas débil, moderada y algunos valores puntuales altos que van de 321 a 600 ppm de cobre. Está información más la geología observada en el campo fueron elementos de soporte para proponer sondajes de perforación diamantina.

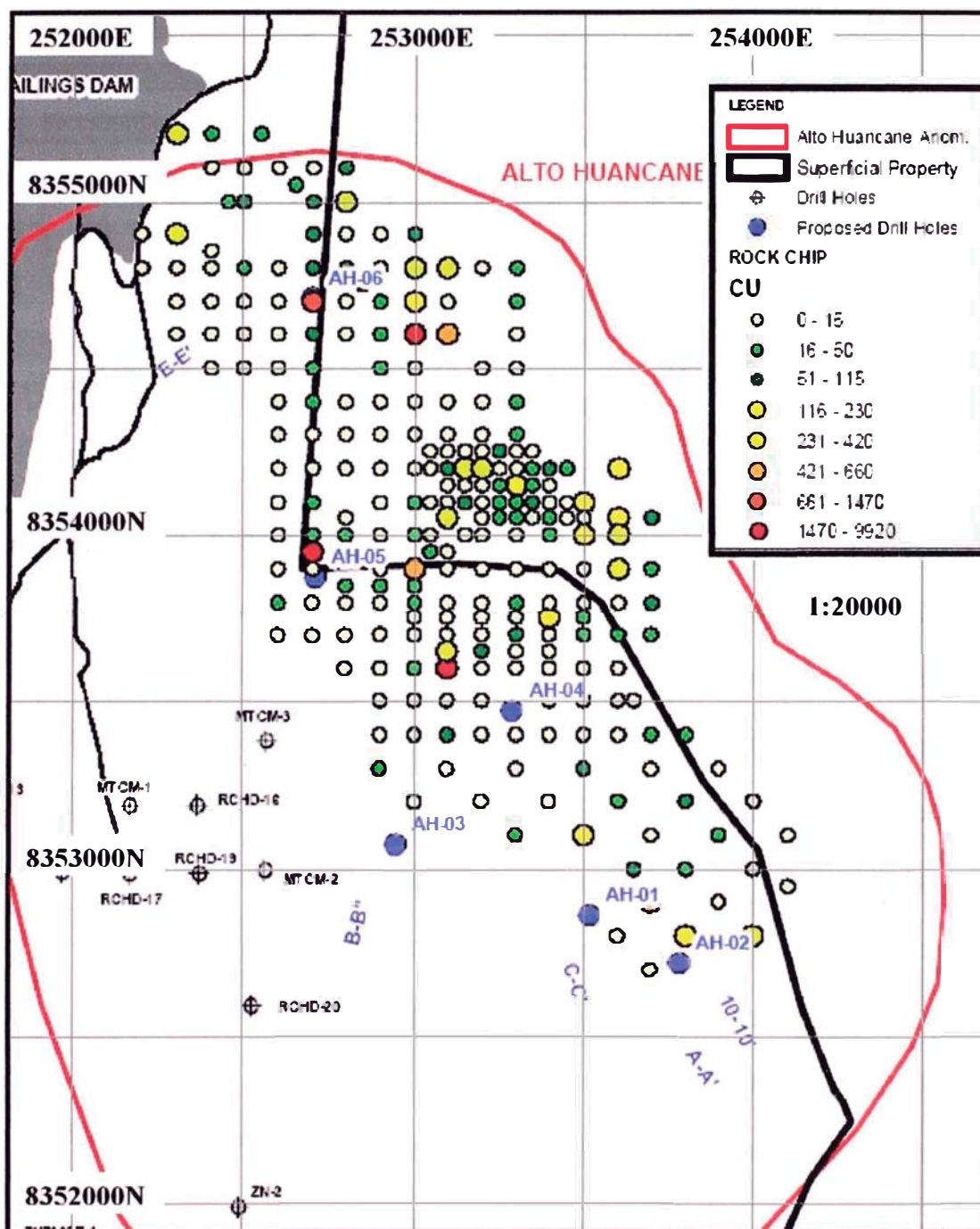


Figura 37: Plano geoquímico de roca por cobre en el Proyecto Alto Huancané, para un número total de 250 muestras (Tomado de Brownfield BHPBilliton, 2002).

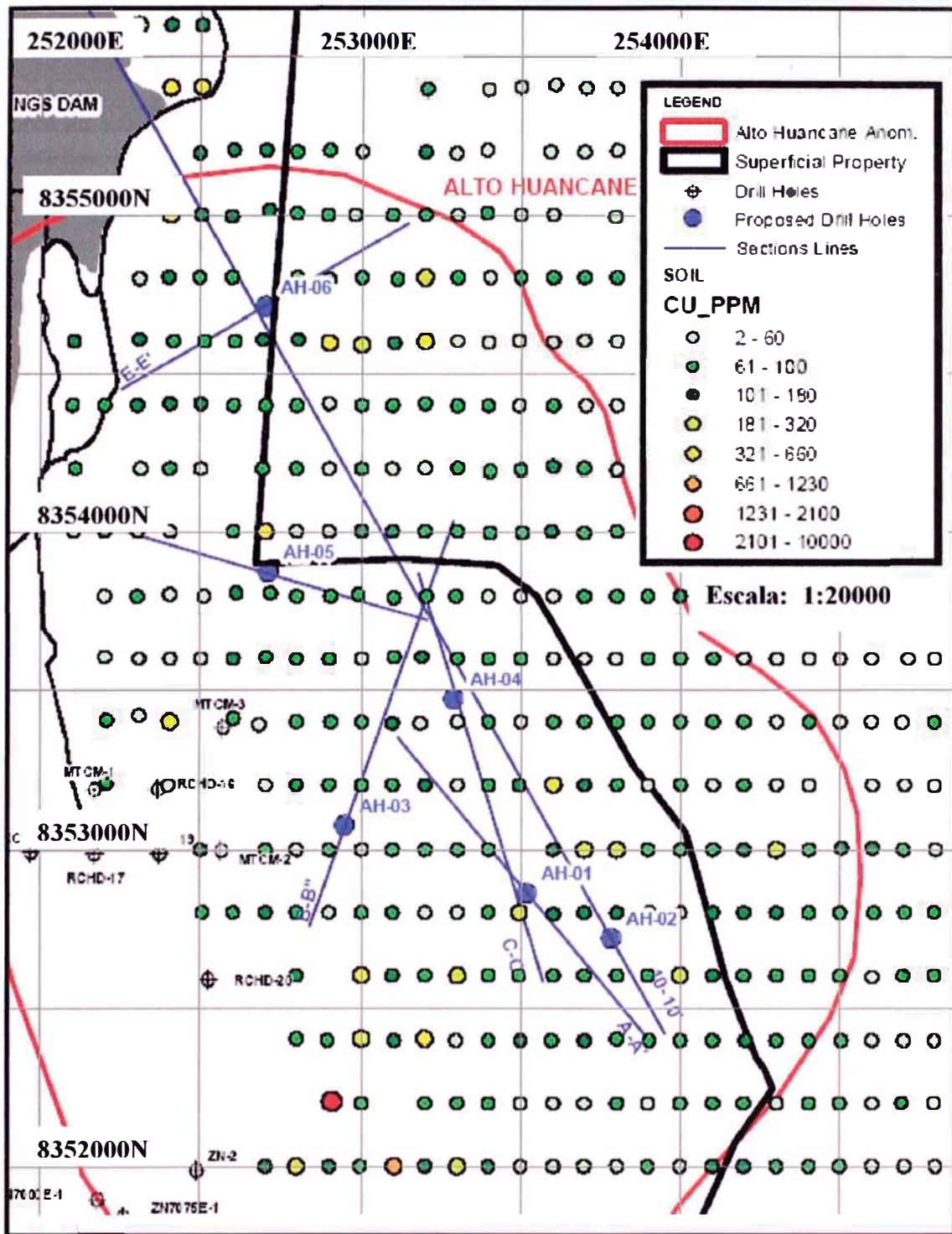


Figura 38: Plano geoquímico de suelo por cobre en el Proyecto Alto Huancané, se tomaron 336 muestras en total (Tomada de Brownfield BHPBilliton, 2002).

4.3.2 Perforación diamantina

En el proyecto Alto Huancané, hasta mayo 2005, se realizó una campaña de perforación diamantina de ocho (8) taladros que hicieron un total de 2301.75 mts. en un área de 1.0 x 2.5 km² dentro de la propiedad superficial de BHPBilliton Tintaya S.A. para ese tiempo.

Esta campaña de perforación consistió en sondajes diamantinos largos (169 a 447 mts) e inclinados (-45° a -65°) con un promedio de 287 mts y un alcance vertical en profundidad hasta de 343 metros (tabla 6); blancos que fueron localizados en el terreno basado en la interpretación geológica desde el mapeo geológico superficial, geoquímica superficial (rock chip y suelo), estructural y el límite de la propiedad superficial de los terrenos pertenecientes a BHPBilliton Tintaya S.A. (2005); teniendo como objetivo:

- Localizar un sistema de mineralización tipo skarn de cobre o pórfido de cobre, justificado por las características geológicas registradas durante el mapeo geológico superficial. Más la presencia de pequeños cuerpos de skarn en la vecindad del contacto del intrusivo con las rocas carbonatadas y evidencias de actividad hidrotermal.
- Confirmar la inferencia de cuerpos mineralizados de cobre asociado a *skarn* o tipo pórfido en profundidad somera.
- Si existiera el cuerpo o los cuerpos mineralizados definir la magnitud, vertical y lateral.
- Entender los parámetros que controlan la mineralización.

La figura 6 y 32 muestran los sondajes realizados en una vista en planta.

DDH	Este	Norte	Cota (m)	Azimut	Inclinación	Longitud (m)
AH-01	253520	8352860	4134	140°	-55°	169.10
AH-01A	253523	8352859	4134	95°	-45°	210.10
AH-02	253785	8352719	4204	330°	-65°	330.60
AH-03	252963	8353075	4096	0°	-50°	447.40
AH-04	253297	8353476	4187	145°	-45°	300.70
AH-05	252709	8353880	4083	315°	-50°	291.80
AH-06	252700	8354709	4100	240°	-50°	340.75
AH-07	253034	8353592	4156	40°	-45°	211.30
Longitud total						2301.75

Tabla 6: Sondajes ejecutados en el Proyecto Alto Huancané

4.3.2.1 Geoquímica de testigos

Simultáneamente al desarrollo de la perforación diamantina se fueron almacenando los núcleos en las cajas de testigos, especialmente preparadas para ello, y se realizó el logueo geológico rápido y detallado (geomecánico y geológico). Para que luego, el personal de preparación de muestras proceda con el corte de muestras de acuerdo a los intervalos marcados por el geólogo en los testigos con la ayuda de unos tacos de color.

Así, las muestras fueron analizadas por los elementos de cobre, oro, plata, molibdeno, plomo, zinc, aluminio, arsénico, boro, bario, berilio, bismuto, calcio, cadmio, cobalto, cromo, hierro, galio, mercurio, potasio, lantano, magnesio, manganeso, sodio, níquel, fósforo, azufre, antimonio, escandio, estroncio, titanio, talio, uranio, vanadio y tungsteno (oro más 34 elementos); en los laboratorios de SGS para el oro aplicaron el método de ensaye fusión al fuego de 50 gramos y lectura del espectro de absorción atómica (Au-AA23) y el resto de los elementos por el método de digestión con solución nítrica, agua regia y lectura de la espectroscopia de plasma inductivamente acoplada (ICP) (ME-ICP41).

El tratamiento de los resultados de los ensayos se agrupó por el tipo de litología intrusiva muestreada y se procedió a determinar el background y treshold para cada caso. Se justifica este agrupamiento de las muestras para conocer si existe alguna asociación entre la mineralización, el tipo de intrusivo y eventos tardío de cristalización del magma. A continuación se presenta los resultados procesado con la ayuda del software SPSS versión 11.

Litología	Diorita	código 51
N	88	
Media	50.59	ppm Cu
Mínimo	2.00	ppm Cu
Máximo	305.00	ppm Cu
Background	40.05	ppm Cu
Treshold	144.03	ppm Cu

Esta litología se intersectó en los sondajes DDH AH 04 y DDH AH 06 y de acuerdo al treshold local determinado para el cobre se tendría tres muestras puntuales con valores anómalos. Estos valores parecen estar asociados a una débil alteración de la diorita (intersectada en el DDH AH 06) debido a la intrusión en forma de dique de la PM 55 (figura 18).

Litología	Pórfido diorita (roca fluidal)	código 60
N	44	
Media	244.57	ppm Cu
Mínimo	09.00	ppm Cu
Máximo	936.00	ppm Cu
Background	109.87	ppm Cu
Treshold	383.53	ppm Cu

La roca fluidal fue cortada principalmente con los sondajes DDH AH 01, DDH AH01A, DDH AH 03 y DDH 07 (figura 7, 8, 16 y 21). Los resultados del muestreo de esta litología indican una mineralización en cobre incipiente, asociada a la alteración potásica y argílica débil a moderada de la roca, y a la presencia cercana de la monzonita tipo PM 52, PM 55 y PM 54. Mientras el treshold local del cobre determinado en esta litología indica el agrupamiento de ocho muestras a ser consideradas anómalas e intersectadas con el sondaje DDH AH 01 y DDH AH 01a (figura 7 y 8).

Litología	Pórfido monzonita tipo PM 52		código 52	
N	161		76	
Media	271.48	ppm Cu	436.90	ppm Cu
Mínimo	04.00	ppm Cu	76.00	ppm Cu
Máximo	3890.00	ppm Cu	3890.00	ppm Cu
Background	67.85	ppm Cu	321.35	ppm Cu
Treshold	935.35	ppm Cu	1025.13	ppm Cu

Para N=76: son muestras agrupadas (parte de las 161 muestras) por presentar cierto grado de alteración (desde débil hasta fuerte) y están asociadas a resultados de leyes relativamente altas (>50 ppm Cu).

El pórfido monzonita tipo PM 52 fue cortada en los ochos sondajes diamantinos, interpretándose en las secciones geológicas como stocks y diques (figura 7, 8, 9, 16, 17, 18 y 21). Los resultados de los ensayos de las muestras tomadas en esta litología indican una mineralización débil en cobre, asociada a una monzonita con cierto grado de alteración (débil a fuerte). Mientras los valores mayores al treshold local determinado (quince muestras) están asociados a una alteración argílica fuerte, a la sílica más parches con argilización, potásica-sílice y albitización.

Por otro lado, del grupo de muestras tomadas de roca con alteración y asociada a leyes relativamente altas arrojan un treshold de 1025.13 ppm Cu esto reduce a diez muestras con valores anómalos.

Litología	Pórfido monzonita tipo PM 55		código 55	
N	107	ppm Cu		
Media	71.64	ppm Cu		
Mínimo	4.00	ppm Cu		
Máximo	1150.00	ppm Cu		
Background	25.42	ppm Cu		
Treshold	97.64	ppm Cu		

El pórfido monzonita tipo PM 55 fue intersectada en seis sondajes con excepción en el DDH AH 03 y DD AH 07 (figura 7, 8, 9, 17 y 18), los valores mayores al treshold local determinado corresponden a quince (15) muestras de está litología asociada a una alteración argílica débil, silicificación moderada a fuerte, y cortando al pórfido monzonita tipo PM 52.

Litología	Pórfido monzonita tipo PM 54		código 54	
N	44	ppm Cu		
Media	1090.95	ppm Cu		
Mínimo	47.00	ppm Cu		
Máximo	4930.00	ppm Cu		
Background	772.56	ppm Cu		
Treshold	2457.28	ppm Cu		

La monzonita tipo PM 54 fue intersectada por los sondajes DDH AH 01, DDH AH 01A y DDH AH 02 (figura 7, 8 y 9); interpretándosele como diques delgados a

amplios cortando al stock PM 52. Los resultados del análisis de las muestras tomadas en esta litología dan un background para el cobre de 772.56 ppm y un Treshold de 2457.28 ppm Cu resultando cinco muestras con valores anómalos asociados a la roca con alteración argílica y silicificación.

Litología	Pórfido monzonita tipo PM 56	código 56
N	69	ppm Cu
Media	43.94	ppm Cu
Mínimo	2.00	ppm Cu
Máximo	517.00	ppm Cu
Background	16.76	ppm Cu
Treshold	98.10	ppm Cu

La monzonita tipo PM 56 fue intersectada con los sondajes DDH AH 02, DDH AH 03, DDH AH 04, DDH AH 05 y DDH AH 07, de acuerdo al treshold local determinado para el cobre en esta litología son cuatro muestras con valores anómalos que corresponden a la litología con cloritización débil, argílica y venillas de piritita.

Litología	Pórfido andesita	código 58
N	7	
Media	27.29	ppm Cu
Mínimo	15	ppm Cu
Máximo	40	ppm Cu
Background	26.02	ppm Cu
Treshold		

Esta litología se reconoció en el sondaje DDH AH 03 (figura 16), y se ha interpretado como diques, que son producto de uno de los últimos pulsos magmáticos. Las muestras correspondientes a esta litología muestran una cloritización débil desarrollado en algunos minerales máficos componente, argílica moderada y se ha determinado un background referencial local de 26.02 Cu ppm. para siete muestras.

4.3.2.2 Matriz de correlación

Una correlación simple entre dos variables es definida como “la cantidad de similitud en dirección y grado, en variaciones de parejas correspondientes en observaciones de dos variables”. Surge un problema principal de la correlación simple cuando se quiere determinar el grado de asociación entre estas parejas de observaciones.

Así, el estadístico inglés Karl Pearson creó la expresión matemática:

$$r = \frac{1}{N} \sum \left(\frac{x - \bar{x}}{S_x} \right) \left(\frac{y - \bar{y}}{S_y} \right)$$

Donde:

- \bar{x} = Media de la variable x
- \bar{y} = Media de la variable y
- S_x = Desviación estándar de x
- S_y = Desviación estándar de y
- N = Número total de pares.

A la expresión de la derecha se la llama momento-producto o covarianza, y “r” el coeficiente de correlación momento-producto de Pearson. Luego r es la media aritmética de los productos de los valores correspondientes de los dos conjuntos de variantes expresadas como desviados estándar (Mode, 1972).

Mediante procesos matemático y gráfico se demuestra que “r” puede tomar valores desde -1 a +1; el valor de 1 indica que las variables son fuertemente correlacionable, el signo + si lo son en forma proporcional directa, el signo – si lo son inversamente, y mientras el valor de cero indica que no existe correlación alguna.

Haciendo uso de esta herramienta estadística y la facilidad de interactuar con el software estadístico SPSS versión 11 se genera las tablas de correlación matricial para determinar la correlación entre los resultados de los elementos agrupandolos por el tipo de litología intrusiva al que corresponden las muestras ensayadas.

Para el par de elementos usaremos los siguientes rangos de correlación así:

$0.85 \leq r \leq 1$	correlación muy fuerte.
$0.70 \leq r < 0.85$	correlación fuerte.
$0.55 \leq r < 0.70$	correlación moderada.
$0.35 \leq r < 0.55$	correlación débil.
$0.20 \leq r < 0.35$	correlación muy débil.
$0.00 \leq r < 0.20$	correlación nula.

Y además es de interés para este estudio interpretar los coeficientes de correlaciones mayores a 0.55 y positivas (la correlación moderada, fuerte y muy fuerte).

Matriz de correlación de los elementos presente en la diorita (tabla 7):

Molibdeno	- Cromo	correlación muy fuerte.
Cobalto	- Vanadio	correlación fuerte.
Magnesio	- Vanadio	correlación moderada.
Zinc	- Manganeso	correlación débil.
Cobre	- Plomo	correlación muy débil.
Cobre	- Bario	correlación muy débil.

La correlación muy fuerte entre el Molibdeno y el Cromo esta se explicaría por la asociación del Cromo con rocas de composición básica y su baja movilidad mientras el Molibdeno por ser siderófilo tiende a estar presente en rocas básicas (abundancia relativa de minerales máficos), mientras el Cobalto y Vanadio son elementos asociados a minerales máficos lo cual explica la correlación fuerte entre ellos en esta litología, el magnesio también suele estar presente en los minerales máficos lo cual también explica la correlación moderada con el Vanadio.

La correlación débil entre el Zinc y Manganeso se explica por la tendencia del Zinc a ser adsorbido por el óxido de manganeso además la movilidad del manganeso es baja por el contexto de medio no ácido (presencia de carbonatos).

El cobre y plomo presentan una correlación muy débil a pesar de ser ambos elementos calcófilos. Por otro lado el cobre y bario muestran una correlación muy débil esto se explica por que el bario suele acompañar a los sulfuros de plomo y zinc.

Matriz de correlación de los elementos presente en el pórfido diorita fluidal (tabla 8):

Zinc	- Manganeso	correlación fuerte.
Bario	- Manganeso	correlación fuerte.
Magnesio	- Vanadio	correlación fuerte.
Cromo	- Niquel	correlación fuerte.
Bario	- Vanadio	correlación moderada.
Oro	- Molibdeno	correlación moderada.
Plomo	- Zinc	correlación moderada.
Zinc	- Bario	correlación moderada.
Magnesio	- Manganeso	correlación moderada.
Manganeso	- Vanadio	correlación moderada.
Plomo	- Arsénico	correlación débil.
Cobre	- Molibdeno	correlación débil.
Oro	- Cromo	correlación débil.

La correlación fuerte entre los pares de elementos: Zinc y Manganeso se explicaría por la tendencia del Zinc a ser adsorbido por el óxido de manganeso, Bario y Manganeso por la asociación del bario con el Zinc, Magnesio y Vanadio por la afinidad de ambos elementos a minerales máficos, Cromo y Niquel por la afinidad de estos elementos a minerales máficos. Mientras la correlación moderada entre los pares de elementos: Bario y Vanadio por la asociación del vanadio con minerales máficos de la roca, Oro y Molibdeno probablemente se deba a que ambos elementos son siderófilo, Plomo y Zinc por que son elementos calcófilos, Zinc y Bario por que suelen asociarse, Magnesio y Manganeso estos elementos suelen asociarse a silicatos (ambos son litófilos), Manganeso y Vanadio por ser ambos litófilos.

La correlación débil entre los pares de elementos: Plomo y Arsénico por ser estos elementos calcófilos, Cobre y Molibdeno por ser ambos elementos también calcófilos aunque el segundo elemento es menos, Oro y Cromo porque el Cromo se asocia a rocas básicas y el Oro presenta una afinidad menor al Cobre.

Matriz de correlación de los elementos presente en el pórfido monzonita tipo PM 52 (tabla 9):

Cromo	- Niquel	correlación muy fuerte.
Molibdeno	- Cromo	correlación fuerte.
Molibdeno	- Niquel	correlación fuerte.
Fósforo	- Estroncio	correlación fuerte.
Fósforo	- Vanadio	correlación fuerte.
Estroncio	- Vanadio	correlación fuerte.
Manganeso	- Estroncio	correlación moderada.
Magnesio	- Manganeso	correlación débil.

La correlación muy fuerte entre el Cromo y Níquel se explicaría porque la roca debe tender a una composición básica. En un estudio de clasificación geoquímica de las rocas en Tintaya se les asigna Cuarzo monzo diorita (Brooks, 1998). Mientras la correlación fuerte entre los pares de elementos: Molibdeno y Cromo se explicaría por que el primer elemento esta presente en depósitos diseminado tipo pórfido y a *skarn*, Molibdeno y Níquel por ser ambos siderófilo, Fósforo y Estroncio por su afinidad a material calcáreo (Ca), Fósforo y Vanadio por tendencia del Vanadio asociarse con minerales máficos, Estroncio y Vanadio por lo indicado líneas arriba ambos son litófilos. Por otro lado, la correlación moderada entre el par de elementos: Manganeso y Estroncio por ser ambos litófilos y asociados a material calcáreo, Magnesio y Manganeso se debería a la asociación de estos elementos con minerales silicatos de la roca.

El cobre esta presente en el pórfido monzonita PM 52 pero no presenta un grado de afinidad importante con los otros elementos, indicado en la tabla 9.

Matriz de correlación de los elementos presente en el pórfido monzonita tipo PM 55 (tabla 10):

Cromo	- Níquel	correlación muy fuerte.
Cobre	- Molibdeno	correlación fuerte.
Plomo	- Zinc	correlación fuerte.
Zinc	- Manganeso	correlación fuerte.
Plomo	- Arsénico	correlación moderada.
Zinc	- Arsénico	correlación moderada.
Arsénico	- Manganeso	correlación débil.

La correlación muy fuerte entre Cromo y Níquel se explica por la asociación de estos elementos a minerales máficos. Mientras la correlación fuerte entre los pares de elementos: Cobre y Molibdeno se explicaría por su asociación a depósitos pórfidos de cobre y *skarn*, Plomo y Zinc por ser elementos calcófilos, Zinc y Manganeso por la tendencia del Zinc a ser adsorbido por el óxido de manganeso. Mientras que la correlación moderada entre pares de elementos: Plomo y Arsénico también por ser elementos calcófilos, Zinc y Arsénico ambos elementos son calcófilos.

Matriz de correlación de los elementos presente en el pórfido monzonita tipo PM 54 (tabla 11):

Plomo	- Arsénico	correlación fuerte.
Zinc	- Arsénico	correlación fuerte.
Cromo	- Níquel	correlación fuerte.
Molibdeno	- Cromo	correlación moderada.
Estroncio	- Vanadio	correlación moderada.
Plata	- Zinc	correlación moderada.
Plata	- Arsénico	correlación débil.
Plomo	- Zinc	correlación débil.
Estroncio	- Titanio	correlación débil.

La correlación fuerte entre el par de elementos: Plomo y Arsénico se explicaría por que son elementos calcófilos, Zinc y Arsénico también por ser ambos elementos

calcófilos, Cromo y Níquel se explicaría por la composición geoquímica de la roca (cuarzo monzo diorita). Mientras la correlación moderada entre el par de elementos: Molibdeno y Cromo se fundamentaría por que el segundo elemento tiende asociarse a minerales máficos (cuarzo monzo diorita) y el Molibdeno es siderófilo, Estroncio y Vanadio por ser elementos litófilos asociados a un contexto de roca carbonatada e ígnea, Plata y Zinc se explica porque son elementos calcófilos. Mientras la correlación débil entre el par de elementos: Plata y Arsénico son también elementos calcófilos, Plomo y Zinc por ser ambos elementos calcófilos, Estroncio y Titanio ambos elementos son litófilos donde el segundo elemento suele presentarse en forma de óxido de titanio (esfena).

En esta litología esta presente el cobre con afinidad débil a la Plata y el Zinc, mientras que con el Magnesio y el Manganeso es de correlación muy débil pero de proporción inversa es decir mientras el cobre aumenta el Magnesio se hace menor, lo mismo sucede con el Manganeso.

Matriz de correlación de los elementos presente en el pórfido monzonita tipo PM 56 - Latita (tabla 12):

Cromo	- Níquel	correlación muy fuerte.
Cobalto	- Vanadio	correlación fuerte.
Molibdeno	- Níquel	correlación moderada.
Molibdeno	- Cromo	correlación moderada.
Plomo	- Zinc	correlación moderada.
Zinc	- Manganeso	correlación moderada.
Magnesio	- Vanadio	correlación moderada.
Cobre	- Molibdeno	correlación débil.

Entre el Cromo y Níquel la correlación es muy fuerte por la afinidad del Níquel con los minerales máficos y el Cromo se asocia a roca Monzo Diorita. La correlación fuerte entre el par de elementos: Cobalto y Vanadio por ser elementos que se asocian a minerales máficos. La correlación moderada entre el par de elementos: Molibdeno y Níquel se explica por ser ambos siderófilos, Molibdeno y Cromo por el carácter geoquímico de la roca (cuarzo-monzo-diorita), Plomo y Zinc por ser ambos elementos calcófilos, Zinc y Manganeso por ser el Zinc adsorbido por el óxido de manganeso, Magnesio y Vanadio son elementos asociados a minerales máficos. Mientras existe una correlación débil entre el Cobre y Molibdeno el cual se explica por ser ambos elementos calcófilos.

Matriz de correlación de los elementos presente en el pórfido Diorítico (código 58) (tabla 13):

Cobre	- Estroncio	correlación muy fuerte.
Molibdeno	- Cromo	correlación muy fuerte.
Molibdeno	- Níquel	correlación muy fuerte.
Zinc	- Titanio	correlación muy fuerte.
Zinc	- Vanadio	correlación muy fuerte.
Cobalto	- Magnesio	correlación muy fuerte.
Magnesio	- Manganeso	correlación muy fuerte.
Magnesio	- Fósforo	correlación muy fuerte.

Magnesio	- Titanio	correlación muy fuerte.
Magnesio	- Vanadio	correlación muy fuerte.
Manganeso	- Fósforo	correlación muy fuerte.
Manganeso	- Titanio	correlación muy fuerte.
Manganeso	- Vanadio	correlación muy fuerte.
Fósforo	- Titanio	correlación muy fuerte.
Fósforo	- Vanadio	correlación muy fuerte.
Titanio	- Vanadio	correlación muy fuerte.
Zinc	- Magnesio	correlación muy fuerte.
Cromo	- Níquel	correlación muy fuerte.
Zinc	- Manganeso	correlación fuerte.
Zinc	- Fósforo	correlación fuerte.
Cobalto	- Manganeso	correlación fuerte.
Cobalto	- Titanio	correlación fuerte.
Cobalto	- Vanadio	correlación fuerte.
Plomo	- Estroncio	correlación fuerte.
Zinc	- Cobalto	correlación moderado.
Cobalto	- Fósforo	correlación moderado.

La correlación muy fuerte entre el par de elementos: Cobre y Estroncio se explicaría por que es característico la presencia de estroncio en los halos de alteración de pórfido de cobre; Molibdeno y Cromo, Molibdeno y Níquel por que los segundos elementos se asocian a minerales máficos de la roca básica y el Molibdeno es siderófilo; Zinc y Titanio la presencia de esfena en la roca explicaría esta fuerte correlación, Zinc y Vanadio se explicaría por la presencia del Vanadio en minerales máficos, Cobalto y Magnesio son elementos asociados a minerales máficos de roca básica, Magnesio y Manganeso son elementos que tienen afinidad a minerales máficos de rocas de composición básica, Magnesio y Fósforo se explicaría porque son elementos presente en rocas ígneas, Magnesio y Titanio ambos elementos son litófilos, Magnesio y Vanadio se explicaría por ser ambos elementos litófilos y se asocian a minerales máficos, Manganeso y Fósforo se explica por la asociación del Fósforo en rocas ígneas, Manganeso y Titanio ambos son elementos litófilos, Manganeso y Vanadio son elementos asociados a minerales máficos, Fósforo y Titanio son elementos que se asocian a está litología, Fosforo y Vanadio son elementos que se asocian a minerales máficos en roca de composición básica, Titanio y Vanadio se explicaría por su asociación con rocas de composición básica, Zinc y Magnesio se explica por la afinidad del Zinc a silicatos de Magnesio, Cromo y Níquel porque estos elementos tienen afinidad a la roca de composición básica. La correlación fuerte entre pares de elementos: Zinc y Manganeso se explica por el óxido de Manganeso que tiende adsorber al Zinc, Zinc y Fósforo son elementos asociados al contexto litológico (Carbonato-Roca ígnea básica), Cobalto y Manganeso son elementos asociados a minerales máficos, Cobalto y Titanio por ser ambos elementos asociado a este tipo de litología, Cobalto y Vanadio porque ambos elementos se asocian a minerales máficos, Plomo y Estroncio porque estos elementos tienden asociarse a está litología por encontrarse próximos a depósitos pórfido de cobre. La correlación moderada se da entre el par de elementos: Zinc y Cobalto son elementos calcófilo, Cobalto y Fósforo se explica por la asociación del Fósforo en este tipo de litología.

Matriz de correlación para elementos en Diorita (51), N=88

	CU_PPM	MO_PPM	PB_PPM	ZN_PPM	AS_PPM	BA_PPM	CO_PPM	CR_PPM	Mg_%	MN_PPM	NI_PPM	P_PPM	SR_PPM	TL_PPM	V_PPM
CU_PPM	1.000														
MO_PPM	.067	1.000													
PB_PPM	.328	.139	1.000												
ZN_PPM	-.022	.262	.149	1.000											
AS_PPM	.096	-.038	.092	.000	1.000										
BA_PPM	.320	.090	.194	.143	1.000	1.000									
CO_PPM	-.170	-.434	-.074	-.053	-.007	-.012	1.000								
CR_PPM	.031	.953	.147	.351	1.000	1.000	-.509	1.000							
Mg_%	-.238	-.457	.197	.147	-.077	-.077	.135	1.000	1.000						
MN_PPM	.073	.397	.139	.544	.324	.092	-.249	1.000	1.000	1.000					
NI_PPM	-.135	.408	-.022	.031	-.041	.031	.477	-.134	-.276	1.000	1.000				
P_PPM	-.238	-.375	-.223	-.351	-.058	-.254	.489	-.428	.403	.118	1.000	1.000			
SR_PPM	.048	.418	.092	.080	-.029	.209	-.175	.437	-.333	.418	-.431	1.000	1.000		
TL_PPM	-.147	-.178	-.139	-.058	.126	.238	.149	-.193	.064	.089	-.058	.015	1.000	1.000	
V_PPM	-.137	-.534	-.147	-.418	-.187	-.018	.703	-.566	.635	-.630	.372	-.274	-.098	1.000	1.000

$$\left[\begin{array}{l} \text{CU PPM} \\ N \\ 88 \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \text{Minimum} \\ \frac{2}{2} \\ \text{Maximum} \\ 305 \end{array} \right]$$

Tabla 7: Matriz de correlación para elementos en la diorita (código 51)

Matriz de correlación para elementos en pórfido diorita fluidal (60), N=44

	CU_PPM	AU_PPB	MO_PPM	PB_PPM	ZN_PPM	AS_PPM	BA_PPM	CO_PPM	CR_PPM	Mg_%	MN_PPM	NI_PPM	P_PPM	SR_PPM	Ti_%	V_PPM
CU_PPM	1.000	.097	.393	-.253	-.235	-.315	-.402	-.072	-.025	.183	-.293	.174	.046	.238	-.465	-.169
AU_PPB	.097	1.000	.569	-.235	-.259	-.055	-.322	.062	.468	-.405	-.194	.303	.216	.084	.231	-.428
MO_PPM	.393	.569	1.000	-.204	-.219	-.297	-.256	.171	.710	-.303	-.197	.496	.399	.367	-.059	-.453
PB_PPM	-.253	-.204	-.204	1.000	.590	.540	.445	.089	-.157	.342	.383	-.110	.056	-.036	-.130	.421
ZN_PPM	-.235	-.259	-.219	.590	1.000	.380	.618	.273	-.169	.484	.726	-.075	.074	-.273	-.327	.393
AS_PPM	-.315	-.055	-.297	.540	.380	1.000	.335	-.086	-.184	.329	.365	-.206	-.029	-.083	-.083	.340
BA_PPM	-.402	-.322	-.256	.445	.618	.335	1.000	.352	-.019	.446	.802	.043	.071	-.449	-.046	.656
CO_PPM	.072	.062	.171	.089	.273	-.086	.352	1.000	.116	.280	.404	.336	.096	-.183	-.110	.257
CR_PPM	-.025	.468	.710	-.157	-.169	1.000	-.019	.116	1.000	-.421	-.075	.761	.390	.096	.209	-.316
Mg_%	.183	-.405	-.303	.342	.484	.329	.446	.280	-.421	1.000	.585	.030	-.157	-.260	-.502	.744
MN_PPM	-.293	-.194	-.197	.383	.726	.365	.802	.404	-.075	.585	1.000	.075	.022	-.344	-.280	.582
NI_PPM	.174	.303	.496	-.110	-.075	-.206	.043	.336	.761	.030	.075	1.000	.230	-.093	.056	.009
P_PPM	.046	.216	.399	.056	.074	-.029	.071	.096	.390	-.157	.022	.230	1.000	.011	-.046	-.191
SR_PPM	.238	.084	.367	-.036	-.273	-.015	-.449	-.183	.096	-.260	-.344	-.093	.011	1.000	-.190	-.418
Ti_%	-.465	.231	-.059	-.130	-.327	-.083	-.046	-.110	.209	-.502	-.280	.056	-.046	-.190	1.000	-.109
V_PPM	-.169	-.428	-.453	.421	.393	.340	.656	.257	-.316	.744	.582	.009	-.191	-.418	-.109	1.000

CU_PPM

N	Minimum	Maximum
44	9	936

Tabla 8: Matriz de correlación para elementos en el pórfido diorita 60 (código 60) de textura fluidal

Matriz de correlación para elementos en PM_52, N=161

	CU_PPM	MO_PPM	PB_PPM	ZN_PPM	AS_PPM	BA_PPM	CO_PPM	CR_PPM	Mg_%	MN_PPM	NI_PPM	P_PPM	SR_PPM	V_PPM
CU_PPM	1.000													
MO_PPM	-.058	1.000												
PB_PPM	.280	.250	1.000											
ZN_PPM	.089	.204	.403	1.000										
AS_PPM	.137	-.041	.343	.069	1.000									
BA_PPM	-.138	.097	.106	.091	-.140	1.000								
CO_PPM	.244	-.107	.042	.001	.259	.060	1.000							
CR_PPM	-.225	.804	.331	-.098	.261	-.084	1.000							
Mg_%	-.044	-.347	.046	.253	.300	-.085	.202	1.000						
MN_PPM	.055	-.282	.014	.344	.040	.309	.331	.138	1.000					
NI_PPM	-.155	.742	.280	-.027	.264	.138	.902	.138	.501	1.000				
P_PPM	.199	-.358	.223	-.066	.114	.420	.128	.290	.314	.089	1.000			
SR_PPM	.135	-.421	.761	-.286	.713	1.000						1.000		
V_PPM	.008	-.333	.741	-.132	.713	.741	.206	.116	.338	.338	.741	1.000	1.000	

CU_PPM

N	Mínimo	Máximo
161	4	3890

Tabla 9: Matriz de correlación para elementos en el pórvido monzonita 52 (código 52)

Matriz de correlación para elementos en PM_55, N= 107

	CU_PPM	MO_PPM	PB_PPM	ZN_PPM	AS_PPM	BA_PPM	CO_PPM	CR_PPM	Mg_%	MN_PPM	NI_PPM	P_PPM	SR_PPM	V_PPM
CU_PPM	1.000	.723	.141	.032	-.036	-.075	.032	-.109	-.168	-.075	.070	-.383	-.239	-.130
MO_PPM	.723	1.000	-.041	-.134	-.076	-.126	-.085	.209	-.024	-.189	.321	-.487	-.150	.019
PB_PPM	.141	-.041	1.000	.733	.677	.046	.306	-.058	.188	.436	.067	.107	-.122	-.304
ZN_PPM	.032	-.134	.733	1.000	.641	.011	.212	-.210	.304	.723	-.051	.340	.212	-.215
AS_PPM	-.036	-.076	.677	.641	1.000	.222	.234	-.098	.307	.501	-.013	.167	.107	-.354
BA_PPM	-.075	-.126	.046	.011	.222	1.000	.007	-.079	.153	.158	-.187	.154	.198	-.228
CO_PPM	.032	-.085	.306	.212	.234	.007	1.000	.105	.248	.238	.219	.162	.040	-.058
CR_PPM	-.109	.209	-.058	-.210	-.098	-.079	.105	1.000	-.118	-.155	.881	-.328	-.107	-.186
Mg_%	-.168	-.024	.188	.307	.307	.153	.248	-.118	1.000	.375	-.085	.330	.414	.059
MN_PPM	-.075	-.189	.436	.723	.501	.158	.238	-.155	.375	1.000	-.081	.403	.384	-.324
NI_PPM	.070	.321	.067	-.051	-.013	-.187	.219	.881	-.085	-.081	1.000	-.282	-.135	-.121
P_PPM	-.383	-.487	.107	.340	.167	.154	.162	-.328	.330	.403	-.282	1.000	.392	.361
SR_PPM	-.239	-.150	-.122	.212	.107	.198	.040	-.107	.414	.384	-.135	.392	1.000	.175
V_PPM	-.130	.019	-.304	-.215	-.354	-.228	-.058	-.186	.059	-.324	-.121	.361	.175	1.000

CU_PPM

N	Minimum	Maximum
107	4	1150

Tabla 10: Matriz de correlación para elementos en el pórfido monzonita 55 (código 55)

Matriz de correlación para elementos en PM_54, N=44

	CU_PPM	AG_PPM	MO_PPM	PB_PPM	ZN_PPM	AS_PPM	BA_PPM	CO_PPM	CR_PPM	Mg_%	MN_PPM	NI_PPM	P_PPM	SR_PPM	Ti_%	V_PPM
CU_PPM	1.000	.409	.018	-.064	.409	.136	.062	.226	-.289	-.328	-.383	.005	-.136	-.262	-.226	-.197
AG_PPM	.409	1.000	.047	.393	.589	.529	.152	.365	-.049	-.030	.093	.188	-.012	.065	-.114	-.050
MO_PPM	.018	.047	1.000	-.116	-.063	-.117	.275	-.056	.553	-.277	-.087	.451	.088	-.247	-.333	-.220
PB_PPM	-.064	.393	-.116	1.000	.512	.703	.082	-.045	-.089	.130	.194	.038	-.277	.007	-.168	-.200
ZN_PPM	.409	.589	-.063	.512	1.000	.741	.137	.425	.029	-.100	.084	.213	-.013	-.093	-.147	-.253
AS_PPM	.136	.529	-.117	.703	.741	1.000	.123	.231	-.038	.026	.275	.116	-.194	.001	-.314	-.100
BA_PPM	.062	.152	.275	.082	.137	.123	1.000	-.113	.012	-.045	.002	.109	-.100	-.102	-.180	-.021
CO_PPM	.226	.365	-.056	-.045	.425	.231	-.113	1.000	-.085	-.258	.106	-.122	.428	.332	.264	.343
CR_PPM	-.289	-.049	.553	-.089	.029	-.038	.012	-.085	1.000	-.130	.168	.752	.213	-.209	-.285	-.202
Mg_%	-.328	-.030	-.277	.130	-.100	.026	-.045	-.258	-.130	1.000	.400	.142	-.238	.388	.207	.271
MN_PPM	-.383	.093	-.087	-.089	.084	.275	-.045	.400	.168	.400	1.000	.251	.035	.295	.021	.369
NI_PPM	.005	.188	.451	.038	.213	.116	.109	-.122	.752	.142	.251	1.000	-.116	-.297	-.340	-.250
P_PPM	-.136	-.012	.088	-.277	-.013	-.194	-.100	.428	.213	-.238	.035	-.116	1.000	.123	.195	.095
SR_PPM	-.262	.065	-.247	.007	-.093	.001	-.102	.332	-.209	.388	.295	-.297	.123	1.000	.511	.673
Ti_%	-.226	-.114	-.333	-.168	-.147	-.314	-.180	.264	-.285	.207	.021	-.340	.195	.511	1.000	.436
V_PPM	-.197	-.050	-.220	-.200	-.253	-.100	-.021	.343	-.202	.271	.369	-.250	.095	.673	.436	1.000

CU_PPM

N	Minimum	Maximum
44	47	4930

Tabla 11: Matriz de correlación para elementos en el pórvido monzonita 54 (código 54)

Matriz de correlación para elementos en PM_56, N=69

	CU_PPM	MO_PPM	PB_PPM	ZN_PPM	AS_PPM	BA_PPM	CO_PPM	CR_PPM	Mg_%	MN_PPM	NI_PPM	P_PPM	SR_PPM	V_PPM
CU_PPM	1.000	.514	.116	-.007	-.019	-.138	.195	.036	.139	-.112	.208	-.055	-.085	.164
MO_PPM	.514	1.000	-.010	-.247	.145	.041	.139	.611	-.173	-.339	.660	-.273	-.236	.156
PB_PPM	.116	-.010	1.000	.556	.455	.025	.158	.128	.158	.268	.196	-.073	.044	.027
ZN_PPM	-.007	-.247	.556	1.000	.190	-.029	.197	-.191	.195	.623	-.090	.204	.022	.075
AS_PPM	-.019	.145	.455	.190	1.000	.386	.128	.398	-.254	.003	.340	-.415	-.055	-.082
BA_PPM	-.138	.041	.025	-.029	.386	1.000	-.098	.278	-.132	-.036	.190	-.440	.023	-.193
CO_PPM	.195	.139	.158	.197	.128	-.098	1.000	.301	.479	.094	.499	.335	-.289	.796
CR_PPM	.036	.611	.128	-.191	.398	.278	.301	1.000	-.133	-.288	.925	-.327	-.221	.307
Mg_%	.139	-.173	.158	.195	-.254	-.132	.479	-.133	1.000	.040	.111	.168	.341	.570
MN_PPM	-.112	-.339	.268	.623	.003	-.036	.094	-.288	.040	1.000	-.250	.320	.085	-.096
NI_PPM	.208	.660	.196	-.090	.340	.190	.499	.925	.111	-.250	1.000	-.264	-.205	.522
P_PPM	-.055	-.273	-.073	.204	-.415	-.440	.335	-.327	.168	.320	-.264	1.000	-.254	.289
SR_PPM	-.085	-.236	.044	.022	-.055	.023	-.289	-.221	.341	.085	-.205	-.254	1.000	-.248
V_PPM	.164	.156	.027	.075	-.082	-.193	.796	.307	.570	-.096	.522	.289	-.248	1.000

CU_PPM

N	Minimum	Maximum
69	2	517

Tabla 12: Matriz de correlación para elementos en el pórfido monzonita 56 (código 56)

Matriz de correlación para elementos en pórfido diorítico (58), N=7

	CU_PPM	MO_PPM	PB_PPM	ZN_PPM	AS_PPM	BA_PPM	CO_PPM	CR_PPM	Mg_%	MN_PPM	NI_PPM	P_PPM	SR_PPM	Ti_%	V_PPM
CU_PPM	1.000														
MO_PPM	-.446	1.000													
PB_PPM	.435	-.400	1.000												
ZN_PPM	.039	-.441	-.061	1.000											
AS_PPM	-.537	.411	-.573	1.000											
BA_PPM	.129	.516	-.528	-.065	1.000										
CO_PPM	-.140	-.021	-.597	.356	1.000										
CR_PPM	-.541	.966	-.339	1.000	.022	1.000									
Mg_%	.239	-.274	1.000	.892	1.000	.892	1.000								
MN_PPM	.355	-.348	-.206	.912	.912	1.000	1.000								
NI_PPM	-.447	.933	-.267	1.000	.904	.904	1.000								
P_PPM	.463	-.654	-.563	1.000	.276	.276	1.000								
SR_PPM	.869	-.328	1.000	.095	.095	.095	1.000								
Ti_%	.168	-.516	-.434	1.000	.894	.894	1.000								
V_PPM	.319	-.422	-.371	.930	.930	.930	1.000								

CU_PPM

N	Minimum	Maximum
7	15	40

Tabla 13: Matriz de correlación para elementos en el pórfido diorítico 58 (código 58)

5 DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En los siguientes párrafos se discutirá el tipo de depósito al cual corresponde el Proyecto Alto Huancané, soportado en sus características geológicas y al contrastar con el depósito de cobre de la Mina Tintaya, para luego determinar un modelo de mineralización para los futuros trabajos de prospección minera por cobre asociado al *skarn* dentro del Distrito Minero de Tintaya y en el Cinturón Magmático de Andahuaylas – Yauri.

En la discusión se tocara secuencialmente los diversos conocimientos y resultados presentado en este texto, desde la geología regional, geología distrital, geología del proyecto, alteración hidrotermal, estructural y geoquímica.

5.1 Geología regional

Una observación rápida e interpretativa desde el plano geológico regional (figura 2 y 3) podemos mencionar que los sedimentos del Cretáceo se distribuyen circundando a las rocas intrusivas del Batolito de Andahuaylas – Yauri, otras veces el intrusivo circunda a las rocas sedimentarias del Cretáceo y todo este conjunto litológico se muestran en formas alargadas según la dirección Andina (desde la zona de Yauri a Cotabambas). Así mismo, las estructuras como los ejes de pliegues, fallas del tipo sobreescurreamiento y otras fallas muestran la misma orientación andina. Conforme nos aproximamos a las ciudades de Andahuaylas, Abancay y Cuzco las estructuras exhiben una dirección predominante este - oeste, seguido de noreste y noroeste. Mientras, los cuerpos extensos del Batolito muestran su parte elongada en la dirección este – oeste. Lo cual implica un control estructural en el emplazamiento de estos cuerpos ígneos.

El afloramiento de las rocas ígneas del batolito mencionado y las secuencias sedimentarias del Cretáceo inferior son restringidas por el material que las cubre como la secuencia de areniscas y conglomerados del Grupo Puno (Eoceno temprano), volcánicos subáereos de la Formación Ichocollo (Mioceno al Plioceno) y del Grupo Barroso (Plioceno al Pleistoceno), sedimentos de la Formación Descanso-Yauri (Plioceno) y depósitos recientes.

Por otro lado, la ubicación de los depósitos (proyectos en estudio) mineralizados parecen seguir la dirección noroeste desde la vecindad de Yauri, pasando por Livitaca hasta Cotabambas; mientras en la vecindad de Chalhuanca a Cotabambas los proyectos parecen ubicarse según la dirección este – oeste. También habría un control estructural en la distribución de los yacimientos.

5.2 Geología distrital

Apoyado en la geología de los Cuadrángulos Geológicos, del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), de escala 1/100000: Velille - 30s (N de la Cruz & O de la Torre, 1995), Yauri - 30t (O Palacios Moncayo, 1995), Condorama - 31t (B Klinck & O Palacios Moncayo, 1991) y Cailloma – 31s (D Davila M, G Diaz H y M Montoya R, 1988). Muestran, en la vecindad del Proyecto Alto

Huancané, una distribución de las rocas del Cretáceo (rocas sedimentarias calcáreas) circundando a cuerpos irregulares de intrusivos y otras veces el intrusivo rodeando o conteniendo a las rocas sedimentarias, este arreglo litológico tiene la forma de un segmento alargado de orientación noroeste, con estructuras (ejes de pliegues, fallas y rumbo de estratos) de dirección aproximada andina, son las que predominan. El afloramiento de las litologías mencionadas es limitado por los materiales de edad más joven. Así éstas, son circundadas y cubiertas por sedimentos de la Formación Descanso-Yauri (Mioceno medio a Plioceno). En la prolongación de este segmento al sur este (hoja Condorama, 31t) está cubierto por material volcánico del Grupo Tacaza (Mioceno) y conglomerado del Grupo Puno (Paleoceno). Mientras que al noroeste (hoja Velille, 30s) está cubierto por las rocas volcánicas del Grupo Tacaza (Mioceno) y Grupo Barroso (Plioceno), y conglomerados del Grupo Puno (Paleoceno). Por otro lado, hacia el NE de este segmento (al sur oeste de la hoja de Yauri, 30t) está cubierto por sedimentos de la Formación Descanso-Yauri, volcánicos del Plioceno, sedimentos del Grupo Puno, volcánicos del Grupo Tacaza con pequeñas ventanas de rocas sedimentarias del Cretáceo inferior. Mientras al sur oeste del segmento es cubierto por sedimentos de la Formación Descanso-Yauri, material volcánico del Grupo Barroso (tobas), Grupo Tacaza y volcánicos Senca (hoja Cailloma, 31s).

Los depósitos y proyectos, conocidos en el Distrito Minero de Tintaya, muestran una distribución de dirección andina (ver figura 2 y 3) por lo tanto estas tendrían un control estructural NO.

Las unidades litológicas en los prospectos son de similar composición cuarzo monzonita a diorita, pero la granulometría y el contenido porcentual de matriz y fenos son diferentes en el caso del intrusivo, y en las rocas sedimentarias predominan las calizas del Ferrobamba, limolitas-lutitas y areniscas de grano fino del Mara y areniscas de la Formación Soraya.

5.3 Geología local

Las unidades litológicas identificadas en el Proyecto Alto Huancané son similares a las que se han descrito para La Mina Tintaya. Por ejemplo, las unidades intrusivas registradas se han emplazado a modo: de grandes sills probablemente la diorita (de código 51), de stocks pequeños la cuarzo monzonita tipo PM 52 y monzonita tipo PM 54, de diques el pórfido diorita textura fluidal (de código 60), el pórfido diorita (de código 58) y las monzonitas tipo PM 52, PM 54, PM 55 y PM 56. Con respecto a las unidades sedimentarias son las mismas: las calcáreas que corresponden a la Formación Ferrobamba, las clásticas de grano fino a arcillas son de la Formación Mara y ortocuarcitas de la Formación Soraya.

5.3.1 Alteración hidrotermal y mineralización

En el Proyecto Alto Huancané los fluidos de origen magmático e hidrotermal asociados al emplazamiento de los intrusivos provocaron en el intrusivo y en las rocas sedimentarias un conjunto de nuevos ensambles de minerales que reemplazaron a los minerales primarios componentes de la roca protolito. Así en las zonas inmediatas al contacto entre la roca carbonatada y el intrusivo se desarrolló una alteración del tipo skarn de cobre (endoskarn y exoskarn). Caracterizada por la presencia de calcosilicatos, magnetita y cobre (por el registro de valores anómalos en cobre).

El *Skarn* caracterizado por el ensamble de granate, piroxeno, magnetita y calcita sobre la roca calcárea es la zona del exoskarn y el ensamble de granate, piroxeno y epidota presentes en las rocas intrusivas (PM 52, PM 55, diorita 51 y pórfido diorita fluidal) otras veces asociados a la alteración temprana del intrusivo corresponde al endoskarn, desarrollados inmediatamente a la vecindad del contacto entre las rocas sedimentarias calcáreas e intrusivas (PM 52, PM 55, diorita y pórfido diorita fluidal).

Por otro lado, la alteración hidrotermal temprana observada y asociadas a las rocas intrusivas como: la alteración potásica de temperatura entre 400° C a 600° C (Gustafson y Hunt, 1975) presente en la cuarzo monzonita 52 y monzonita 54 es caracterizada por el feldespatos potásico, la sílice (reemplazan a las plagioclasas y se muestran en venillas), y la biotita secundaria (metasomatismo de la biotita primaria o anfíbol); la alteración albitización de escaso desarrollo, caracterizada por la albita, epidota, biotita secundaria y clorita registradas en las rocas diorita, pórfido diorita fluidal, pórfido monzonita 52, pórfido monzonita 54 y pórfido monzonita 55; la alteración sericita presente en el pórfido monzonita 54 y en la arenisca cuarzosa; y la alteración argílica, también escasa, asociada al pórfido monzonita 52, 54 y el pórfido diorita. Son las alteraciones hidrotermales típicas de un sistema de pórfido y perteneciente a la raíz de este sistema.

El blanqueado de las calizas grises en forma alternada también implica una actividad hidrotermal pero selectiva, asociado a la laminación, porosidad y permeabilidad del material calcáreo. Esta característica también está presente en la Mina Tintaya.

El registro de ensambles de alteración hidrotermal ortosa-cuarzo-biotita secundaria, albita-biotita secundaria-epidota-clorita, sericita-caolín-cuarzo, albita-epidota-ortosa, caolín-illita-montmorillonita y calcita-clorita-pirita reemplazando a los minerales primarios componentes de las rocas intrusivas implica que existió una actividad hidrotermal asociada a la fase final de la actividad magmática correspondiente a cada pulso magmático.

La presencia de cuerpos de sílice elongados (jasperoides), con una relativa concordancia a los planos de estratificación indican pulsos tardíos de actividad hidrotermal de baja temperatura emplazadas a través de ciertos niveles de planos de estratificación (permeables) de los estratos calcáreos.

La identificación y caracterización de minerales hidratados como cloritas, serpentina (material negro), y epidota principalmente relleno de fracturas o tapizando planos de fracturas, son productos del reemplazo de los minerales primarios componentes de las rocas, de la alteración temprana y progradada. Como resultado de la interacción de las aguas meteóricas o aguas de procedencia freática profunda (puesta en circulación convectiva por la anomalía térmica vinculada a la masa plutónica) con los minerales mencionados, o la removilización de los minerales iniciales y redepositadas en los espacios abiertos de la roca como minerales hidratados.

Es evidente el control estructural, sobre la circulación de fluidos magmáticos e hidrotermal, crean las zonas de alta permeabilidad. Esto es reflejado en la forma espacial como se distribuye la alteración hidrotermal: bandas de alteración paralelas al plano de estratificación, aureolas de alteración a las venas. Banda de reacción en los

frentes de contacto entre intrusivos, intrusivos con rocas sedimentarias y franjas de alteración inmediata a planos de fallas.

La mineralización metálica es dada por el cobre, presentandose en forma de calcopirita, muy escasa, está asociada a las áreas con alteración hidrotermal del tipo pórfido y al skarn. También a tramos con abundancia de pirita fina y escasa calcopirita formando venas muy delgadas y de desarrollo longitudinal del orden de decenas de milímetros.

5.3.2 Estructuras

Las direcciones de los lineamientos interpretados desde la imagen satélite (figura 32 y 33) y las registradas en el Proyecto Alto Huancané guardan cierta semejanza con las estructuras descritas para la Mina Tintaya. Por lo tanto, se puede hacer una primera inferencia preliminar local: los regímenes tectónicos y la orientación de los componentes principales de esfuerzos que estuvieron presentes fueron común a ambas áreas.

Del resultado de la deformación frágil-dúctil local, registrado en el plano geológico (figura 6), relacionandolo temporalmente con las estructuras de la Mina Tintaya y los eventos tectónicos andinos, se puede inferir:

La fase tectónica Peruana de Steiman ocurrido en el Cretáceo superior es definida por el cambio de sedimentación marino a continental (Dalmayrac et al., 1988). Esta facie sedimentaria continental es caracterizada por la estratificación de conglomerados y areniscas del Grupo Puno, está descansa en forma discordante sobre el material del Mesozoico. Una fase tectónica compresiva en el área de estudio estaría asociada a esta fase tectónica dando lugar a pliegues abiertos con ejes de dirección NO-SE más frecuente, variando a E – O, y fracturas menores tensionales de orientación NE-SO.

La Fase Incaica I de edad 41Ma e Incaica II de edad 40.5 Ma (Dalmayrac et al., 1988) ambas de naturaleza compresiva ocasionan nuevos plegamientos de la secuencia sedimentaria, los pliegues de dirección NO-SE se hacen más apretados, e interrumpen la sedimentación continental del Grupo Puno y aceleró la actividad magmática resultando en un inicio el emplazamiento de cuerpos extensos de roca intrusiva en la región Andahuaylas-Yauri.

Tempranamente ascienden varios pulsos magmáticos de composición diorítica de grano fino a grueso y se emplazaron relativamente concordantes a planos de estratificación de la roca calcárea. Ejemplo son las dioritas localizadas en la Mina Tintaya, en el Proyecto Coroccohuayco y en el Proyecto Alto Huancané (intersectado en el sector norte con el sondaje DDH AH 06). Seguidamente o coetaneamente al pulso diorítico también se producen otros pulsos magmáticos de la misma composición estas se emplazaron en las rocas sedimentarias formando diques y sills. Son de textura porfírica y los fenos de feldespatos orientados.

Una siguiente fase tectónica afecta a las litologías presentes y son afectadas por esfuerzos de tensión menor local de orientación N – S (Fierro, 1997). El esfuerzo

principal compresivo de dirección E – O origina una apertura en la misma dirección y un sistema de fallas conjugadas de orientación NO y fallas normales NE. Por estas estructuras se emplazaron las monzonitas del tipo PM 52, PM 55, PM 54 y PM 56 acompañados de actividad hidrotermal y mineralización de cobre incipiente.

En este evento, se crea probablemente la falla inversa de dirección NNO que coloca a las calizas de la Formación Ferrobamba sobre las areniscas de la Formación Soraya y algunos sistemas de pliegues tempranos son rotadas hacia la dirección NE y otras son cortadas por fallas de dirección NE normal y venas de calcita de rumbo E-O.

Posterior a este evento se dio un evento local tectónico compresivo de dirección Norte-Sur, reactivando a la falla inversa de orientación NNO temprana en falla de corrimiento dextral: pone en contacto directo las rocas calcáreas sobre las areniscas, las calizas sobre las calizas, las areniscas sobre las calizas y las areniscas sobre las areniscas. Al mismo tiempo se generaron fracturas de dirección N-S, por las que se han emplazado diques pórvido monzonitas 55 (sector norte del proyecto) y además se produjeron pliegues volcados en la arenisca y caliza.

Las fallas de dirección NO inversa-dextral pueden haber desplazado los cuerpos mineralizados.

Por otro lado, es de destacar la predominancia de estructuras mayores (fallas y pliegues) en la dirección NO, seguida por las de orientación NE (fallas, pliegues) y recordar la dirección preferencial NO a nivel distrital, lo cual nos lleva a inferir que al cambio de escala se conserva la orientación preferencial andina de las estructuras.

La intensa deformación frágil local, más los planos de discontinuidad dada por los contactos litológicos, plano de estratificación de las rocas sedimentarias y el cambio volumétrico de los nuevos ensambles de minerales han permitido el incremento de la porosidad y un incremento relativo de la permeabilidad de las rocas en el proyecto.

5.4 Geoquímica

Justificado en la anomalía geoquímica superficial del cobre, el afloramiento de pequeños cuerpos de skarn con sulfuros, el contexto litológico e interpretación de secciones geológicas con mineralización inferidas se programó una campaña de sondajes diamantinos con fines de confirmar los cuerpos mineralizados inferidos en el Proyecto Alto Huancané.

Los resultados del análisis de las muestras de los testigos por multielementos (34 elementos) y oro hace posible determinar el background local del cobre por unidades intrusivas y una interpretación de los otros elementos presente.

También, es de mencionar en una revisión rápida de los resultados del análisis de las muestras de los testigos, la presencia muy escasa del oro, la plata, boro, bismuto, cadmio, galio, lantano, mercurio, antimonio, talio, uranio y wolframio a excepción de algunos valores puntuales o intervalos cortos para el oro y la plata.

Ahora prosigo, realizando una interpretación de los resultados geoquímicos por cobre agrupado por el tipo de litología:

Para la diorita (88 muestras) se determinó un background local de 40 ppm Cu. y un treshold de 144 ppm Cu. Los valores mayores están asociados a una diorita alterada débilmente como consecuencia de la intrusión por monzonitas tipo PM 52 y PM 55. Mientras el índice de correlación para el cobre - plomo y cobre - bario es muy débil.

En el caso de la roca fluidal o pórfido diorita (fenos de feldespatos orientados) (44 muestras) se obtuvo un background de 109.8 ppm Cu. y un treshold de 383.5 ppm Cu. Los valores altos están asociados a la roca con alteración hidrotermal del tipo potásica y argílica débil, debido a la inyección de la monzonita tipo PM 52 y PM 55 en la roca fluidal. Mientras el índice de correlación del cobre – molibdeno es débil, para el par de cobre – plomo y cobre – zinc es muy débil e inversa.

Para la monzonita tipo PM 52 (161 muestras) se determinó localmente un background de 67.85 ppm Cu y treshold de 935.35 ppm Cu, los valores altos y anómalos están asociada a esta litología con alteración argílica, sílica, potásica-sílica y albitización débil. El índice de correlación entre el cobre – plomo es débil, para el molibdeno – cromo y molibdeno – níquel es fuerte; esto permite inferir que el cobre es un elemento prácticamente que no tiene afinidad con los elementos oro, plata, plomo y zinc.

Para la monzonita tipo PM 55 (107 muestras) se calculó un background de 25.42 ppm Cu y un treshold de 97.64 ppm Cu, con valores altos de cobre que están asociados a una cloritización débil de los minerales máficos y argilización débil de los feldespatos. El índice de correlación del cobre – molibdeno es fuerte lo cual marca la diferencia con respecto del fluido que circulo en la monzonita tipo PM 52.

Para la monzonita tipo PM 54 (44 muestras) se estimó un background local de 772.56 ppm Cu. y un treshold de 2457.28 ppm Cu. Es de indicar que gran parte de esta litología presenta alteración hidrotermal del tipo potásica-sílice débil, y argílica; más un contexto litológico de venciencia por la monzonita PM 52 y arenisca compacta. La correlación en esta litología entre el cobre – plata, cobre – zinc es débil; molibdeno – cromo es moderada; luego se puede inferir que la solución mineralizante debe diferir de las soluciones mineralizantes presente en las monzonita PM 52, y PM 55.

Para la monzonita tipo PM 56 (69 muestras) se determinó un background de 16.76 ppm Cu y treshold de 98.10 ppm Cu. Los valores anómalos de cobre que están asociados a esta litología contienen alteración argílica débil. La correlación entre el par de elementos cobre – molibdeno es débil.

Para el pórfido diorita de código 58 (7 muestras) se estimó un fondo de cobre, mediante el cálculo de la media aritmética de las leyes de cobre, así es 26.02 ppm Cu, con una ley máxima de 40 ppm Cu por lo tanto no se tiene valores altos en esta litología. El índice de correlación entre el cobre – estroncio y molibdeno – cromo es muy fuerte.

De acuerdo a lo descrito líneas arriba nos lleva a inferir que los fluidos mineralizantes con cobre en el Proyecto Alto Huancané, estarían principalmente

asociado al emplazamiento de la monzonita tipo PM 52, seguido de la monzonita tipo PM 54 y monzonita tipo PM 55 (todas de textura porfírica) y estas al intruir a la diorita o pórfido diorita (la roca fluidal) las mineralizaron en forma incipiente. Por otro lado las soluciones mineralizantes difieren entre sí por ser unas asociadas a la monzonita PM 52, PM55 y PM 54. Así mismo, la afinidad del cobre con otros elementos en este contexto litológico es en general nula. Pero si existe una afinidad fuerte a los ensambles de alteración desarrollados en los intrusivos y rocas sedimentarias.

El cobre presenta valores relativamente altos (mayor a 70 ppm Cu) asociados al skarn con preferencia en el exoskarn y en el entorno inmediato de la roca caja intrusiva con alteración hidrotermal.

Valores anómalos en cobre se registraron en los testigos de los sondajes DDH AH 06, DDH AH 01, DDH AH 01a, DDH AH 02 y DDH AH 03 asociado a niveles litológico que experimentaron cambios en su mineralogía original.

Los valores altos por cobre en el exoskarn o la roca calcárea con calcosilicatos y en el endoskarn son del orden de hasta cuatro cifras en parte por millón. Así mismo también en las areniscas-cuarcitas se registraron valores del cobre hasta del orden de cuatro cifras en parte por millón cuando son próximos a la monzonita tipo PM 52, PM 55 y PM 54.

La ley hipógena promedio de cobre es baja en general, por ejemplo para el exoskarn del sondaje DDH AH 06 es de 0.16 % Cu en una longitud (suma de tramos) de 36.25 mts y en el endoskarn del pórfido monzonítico 52 (34.45 mts) es de 0.13% Cu.

5.5 Modelo de Depósito de Cobre en Skarn asociado a un Pórfido de Cobre en el Distrito Minero de Tintaya

Se alcanza un modelo geológico predictivo para la exploración por Cobre en Skarn asociado a un Pórfido de Cobre fundamentado en las características geológicas ya descritas para el Proyecto Alto Huancané, La Mina Tintaya y Coroccohuayco, observación de campo, e interpretación:

- 1.- Las características geológicas del depósito de cobre, con valores muy escasos en cobre, en el Proyecto Alto Huancané son similares al tipo de depósito de cobre de la Mina Tintaya. Es decir es un depósito de Cobre en Skarn asociado a un Pórfido de Cobre (figura 18).
- 2.- Entonces surge la pregunta ¿porqué no se desarrollaron cuerpos de skarn conteniendo valores importantes (económico) de cobre? Pues la respuesta esta en la forma de la distribución de las litologías y alteraciones, asociadas a la mineralización, en el tiempo y espacio.

Tempranamente ascienden varios pulsos magmáticos de composición diorítica de grano fino a grueso, emplazándose relativamente concordante al plano de estratificación de las rocas calcáreas de la Formación Ferrobamba (esto parece haber ocurrido en el área del cinturón del batolito de Andahuaylas-Yauri). Estas masas ígneas han formado grandes sills o lacolitos de regular extensión, ejemplo es la diorita

localizada al sur del tajo Chabuca Este y Chabuca Sur (figura 4, 39 y 40), es un lacolito diorítico, de grano fino, en el contacto con la roca calcárea (inmediatamente debajo del Lacolito) formó cuerpos de skarn de magnetita-piroxeno discontinuos de espesor 0.5 a 1 metro. Mientras en el Proyecto Alto Huancane la diorita es mayormente cubierta por las rocas del cretáceo inferior (se intersectó una diorita de grano medio con los sondajes DDH AH 06 y DDH AH 04) y en el proyecto Coroccohuayco la diorita es de grano fino a medio se emplazó como un gran sill o un conjunto de sills (Maher, 1999).

Esta masa diorítica de grano fino a medio aparentemente creó un medio físico-químico local por debajo de ella (o debajo del skarn masivo de magnetita-piroxeno si está presente) para que cuando ingresaran fluidos hidrotermales con cobre a través de conductos permeables precipite el cobre como sulfuro principalmente.

Contemporáneo a la diorita se inyectaron fluidos magmáticos de composición diorítico, formando diques-sills de textura porfirítica con sus fenos de feldspatos orientados (roca fluidal), esta litología se intersectó en los sondajes DDH AH 01, DDH AH 01a, DDH AH 03 y DDH AH 07 del Proyecto Alto Huancane (también esta presente en la Mina Tintaya). En el entorno de estas, otras veces, como la intersectada con el sondaje DDH AH 03 (figura 16), formó una aureola delgada en las calizas con minerales de calcosilicatos que han reemplazado a la calcita.

Posteriormente, se dieron otros pulsos magmáticos más ácido de composición monzonítico, formando principalmente cuerpos de stocks de formas irregulares y diques (apófisis del stock cuarzo monzonita) que intruyeron a la secuencia sedimentaria del Cretáceo (Formación Soraya, Formación Mara y Formación Ferrobamba) y a la roca ígnea temprana (la diorita). En el Proyecto Alto Huancané y la Mina Tintaya esta monzonita es la cuarzo monzonita tipo PM 52, al emplazarse originó un gradiente térmico que afectó a las rocas sedimentarias de origen clásticos y no clásticos, formándose la cuarcita, hornfels y mármol. Mientras al solidificarse el magma cuarzo monzonítico, se desarrolló la alteración potásica y silicificación del stock monzonítico. En el caso de la Mina Tintaya, coetáneamente a lo largo del contacto E-O subvertical inclinado al norte (tajo Chabuca Este, figura 4) entre la monzonita PM 52 (al norte) y las secuencias calcáreas en bancos delgado a mediano (al sur) se dió la alteración progradada de *skarn* producto del proceso metasomático, reflejada en los cuerpos de exoskarn de granate-piroxeno-magnetita de regulares dimensiones y continuos en los diferentes niveles de estratificación limitada hacia arriba por el lacolito diorítico que cubre las rocas calcáreas (figura 39). Mientras el exoskarn localizada hacia el este y oeste del tajo Chabuca Este, se hacen de menor dimensión, más irregulares y discontinuos, al alejarnos de la cubierta diorítica dada sobre las rocas calcáreas. Así mismo, en el tajo inflexión se observaron *skarn* de granate-magnetita en las calizas englobadas por la monzonita del tipo PM 52. Posterior a este evento probablemente muy inmediato a la formación del *skarn* se produce la mineralización con minerales de calcopirita, bornita, oro y pirita. Fracturas muy delgadas de dirección Este-Oeste, subvertical; son rellenadas de calcita, cuarzo, pirita, esfalerita, galena y especularita.

En el Proyecto Alto Huancane en el sondaje DDH AH 06 (figura 18) el *skarn* zonado de granate (escaso)-piroxeno-mármol se expone en el material calcáreo, controlado por los planos de estratificación, limitado hacia la parte superior del testigo de la perforación por el pórfido cuarzo monzonita 52 y limitada hacia la parte inferior por la diorita e inmediatamente (probablemente) se produjo la mineralización de cobre incipiente, representada por la calcopirita.

Por otro lado, también en la Mina Tintaya, en el tajo Chabuca sur el lacolito diorítico tempranamente formó *skarn* de piroxeno-magnetita-actinolita en las rocas calcáreas (figura 40). Los sedimentos calcáreos consisten en secuencias de calizas intercaladas con niveles de material calcáreos-clásticos finos distribuidos en bancos delgados a gruesos. Mientras el frente térmico producto del ascenso magmático de composición monzonítico generó rocas del tipo hornfels y mármol. Posterior a esto, la monzonita PM 52 se emplazó en forma de diques - apófisis del stock monzonítico tipo 52 - cortando la secuencia sedimentaria y el lacolito diorítico. Estos diques de orientación noreste en el contacto con las rocas calcáreas dio lugar a la alteración progradada formando cuerpos de exoskarn de granate, piroxeno y magnetita relativamente concordantes a los planos de estratificación y otras veces se sobreimpuso al *skarn* de magnetita temprano (figura 40). Así mismo se desarrolló el endoskarn en la monzonita, y los fluidos hidrotermales ricos en cobre, asociados a estos diques, precipitan como sulfuros principalmente en el exoskarn de piroxeno-magnetita y en menor proporción sobre el *skarn* de granate-piroxeno. Aparentemente, después ascienden fluidos hidrotermales tardíos, que alteraron selectivamente al endoskarn, desarrollándose el endoskarn argilizado. En esta alteración y en el hornfels precipitan los sulfuros de molibdeno a modo de un agregado de granos finos.

En Corocchohuayco, la fuente de calor transforma a los sedimentos clásticos finos y calcáreos de la Formación Mara y Ferrobamba, debajo del sill diorítico, en Hornfels de biotita, Hornfels de piroxeno y Mármol. El ascenso de fluidos hidrotermales a través de fallas de inclinación fuerte y el emplazamiento de diques monzonítico (tipo F y H) forman lateralmente, concordante al plano de estratos y en forma zonada *skarn* de granate-piroxeno-mármol (figura 41). Y es seguido por la mineralización de sulfuros diseminado y en venillas (Maher, 1999)

Retomando, en el tajo Chabuca Este de la Mina Tintaya; las litologías presentes fueron posteriormente afectadas por esfuerzos de tensión menor local de dirección N-S (Fierro, 1997). El esfuerzo principal compresivo E-O originó un sistema de fallas conjugadas. Por estas se emplazaron la monzonita del tipo PM 55, PM 54 y PM 56 acompañadas de actividad hidrotermal y mineralización de cobre. Y también este evento se da en el Proyecto Alto Huancane.

En Corocchohuayco, la alteración retrogradada permite la precipitación de magnetita masiva. Posteriormente se emplazaron diques monzonítico tipo Z (figura 41). Las monzonitas presentan alteración albítica y el desarrollo de endoskarn (Maher, 1999).

En el tajo Chabuca Este se dio un evento local tectónico compresivo de dirección Norte-Sur, formando fallas normales y fracturas de orientación Norte-Sur. El pórfido diorítico se emplazó a través de estas nuevas fracturas en partes de su trayecto ha sido argilizada moderadamente. Esta litología corta a las litologías indicadas anteriormente y es uno de los últimos pulsos magmáticos reconocidos en el área de la Mina Tintaya. También esta presente en el Proyecto Alto Huancane se la ha intersectó con el sondaje DDH AH 03 (figura 16).

Mientras en Corocchohuayco, pulsos tardíos magmático del tipo latita y andesítico cortan al *skarn* y a la mineralización (Maher 1999).

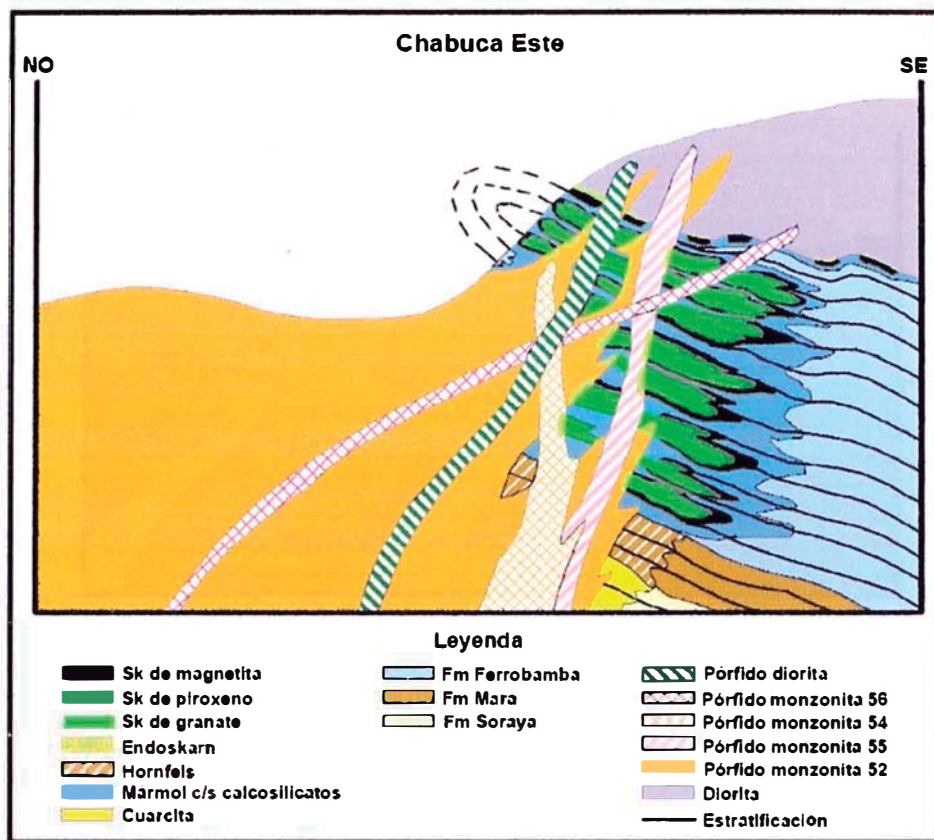


Figura 39: Sección transversal-croquis del tajo Chabuca Este, Mina Tintaya

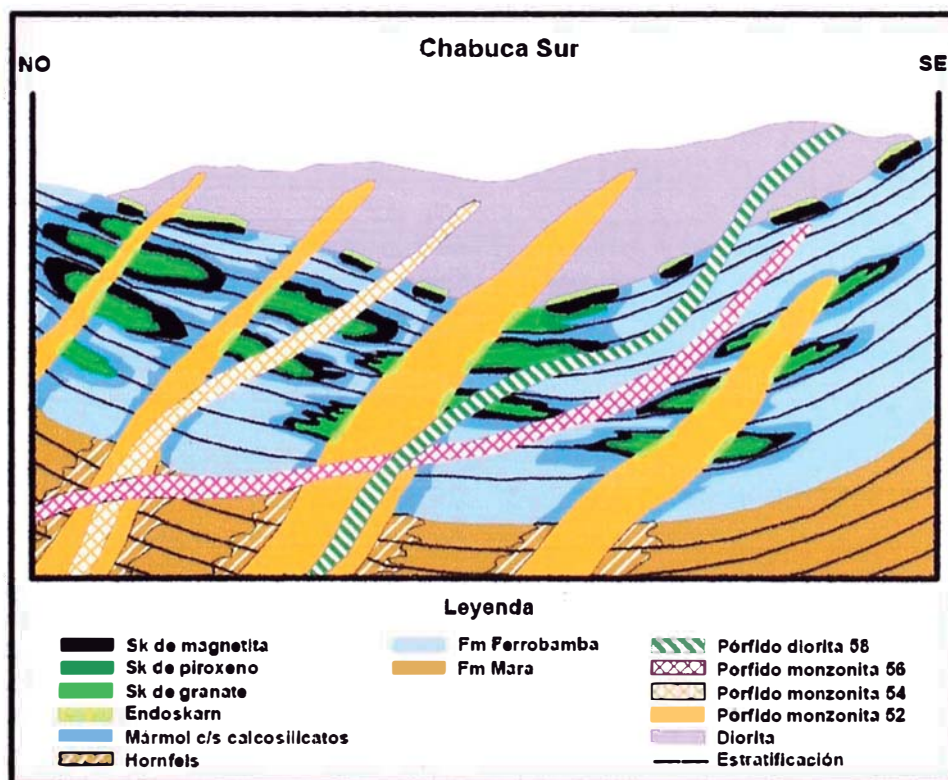


Figura 40: Sección transversal-croquis del tajo Chabuca Sur, Mina Tintaya

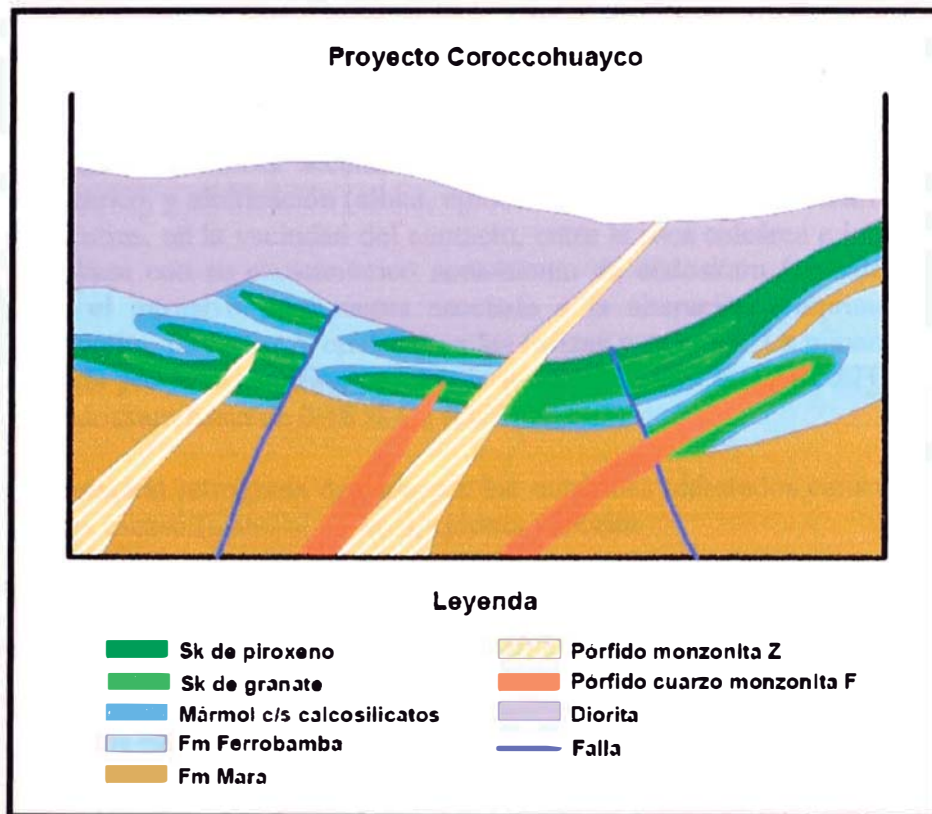


Figura 41: Sección transversal-croquis del Proyecto Corocchohuayco (Maher, 1999).

6 CONCLUSIONES

Las características geológicas del Proyecto Alto Huancané son semejantes a un sistema de tipo skarn de cobre asociado a la raíz de un sistema de pórfido de cobre, que presenta una alteración temprana caracterizada por un metasomatismo potásico (feldepatos potásico y biotita secundaria), venillas de feldespatos potásicos, cuarzo-feldepatos potásico, y albitización (albita, epidota, clorita y piroxeno) desarrollado en el intrusivo. Mientras, en la vecindad del contacto, entre la roca calcárea e intrusiva se ha formado el Skarn con su característico zonamiento de endoskarn (granate, epidota y piroxeno) en el intrusivo otras veces asociada a la alteración temprana, exoskarn (granate, magnetita, piroxeno, y epidota) en las calizas y mármol. La mineralización es incipiente, dada por la calcopirita, con ley hasta de 0,72 % Cu (DDH AH 01A) en el exoskarn y endoskarn hasta de 0,38 % Cu (DDH AH 06).

La alteración retrograda es dada por los minerales hidratados caracterizado por serpentina muy escaso (material oscuro), epidota y clorita.

La zona de oxidación es muy superficial consisten en óxidos de cobre, limonita, goethita, cuprita, crisocola y malaquita en forma escasa sobre los minerales calcosilicatos del exoskarn.

El sistema estructural registrado e interpretado en el Proyecto Alto Huancané es semejante al de la Mina Tintaya. Se caracteriza por un sistema de falla normal de dirección próximo al E-O, un sistema de falla normal de orientación NE que es cortada por un sistema de falla inversa de dirección NO, y otras menores de orientación aproximada NS. La tectónica que controló estos sistemas de estructuras también originó sistemas de ejes de pliegues de dirección NE, NO, E-O e incluso pliegues volcado.

La intensa deformación frágil-dúctil y la alta densidad de las estructuras discontinuas permite inferir el incremento alto de la porosidad y entonces la alta probabilidad del incremento en la permeabilidad de las rocas.

La disolución de la roca carbonatada debido a la acidez inicial del fluido hidrotermal y el desarrollo de skarn en las rocas calcáreas también incrementan la porosidad de la roca, en algunos casos llegan hasta formar brechas debido al fuerte cambio volumétrico desde los minerales originales al nuevo ensamble de minerales consistentes en calcosilicatos.

El plano geológico del Proyecto Alto Huancane (figura 6), muestra afloramientos de rocas calcáreas en gran extensión, pero en realidad son grandes bloques y de espesores que van de algunos metros a decenas de metros a manera de *roof pendant* (ver secciones).

El Proyecto Alto Huancane reúne las características litológicas, alteración hidrotermal y geoquímica que la hacen prospectivo por cobre pero la configuración espacial de estas, no cumplen con el modelo de depósito de *skarn* de cobre de la Mina Tintaya, y por lo tanto aparentemente no la hace un blanco de exploración.

Pues, un depósito de *Skarn* Cuprífero modelo Mina Tintaya, como se ha descrito en el capítulo de la discusión e interpretación, de gran extensión y más continuo se dará cuando las litologías involucradas sean distribuidas espacialmente así: una masa ígnea de composición diorítica emplazada relativamente concordante al plano de estratificación de las rocas calcáreas e inmediatamente debajo de ella un skarn temprano de piroxeno-magnetita, debajo de está, la secuencia calcárea de la formación Ferrobamba en bancos delgados a medianos. Un stock cuarzo monzonítico con alteración potásica caracterizada por la ortosa-cuarzo o albitización (albita-biotita secundaria-epidota) cortando la secuencia calcárea de tal modo que la superficie de contacto entre las calizas y el intrusivo sea de inclinación subvertical, y esta superficie límite lateralmente el depósito. Por otro lado, el gradiente térmico del stock monzonítico haya podido ser capaz de metamorfizar parcialmente las rocas sedimentarias de la Formación Mara y el material calcáreo de la Formación Ferrobamba y en la vecindad de la superficie de contacto entre el stock monzonítico y las rocas calcáreas se haya desarrollado el *skarn*, especialmente niveles de exoskarn localizado debajo del skarn temprano. Finalmente la masa litológica encerrada entre la masa ígnea diorítica y el stock pórfido monzonítico sea permeable, debido a la fuerte deformación frágil y haya permitido la circulación del fluido hidrotermal tardío mineralizante en cobre.

Este modelo de depósito cuprífero en *skarn* puede tener algunas variantes como el caso del Tajo Chabuca sur o el Proyecto Corocohuayco pero allí deberá estar la masa ígnea diorítica concordante al plano de estratificación de las calizas, debajo de ella el *skarn* de magnetita temprano presente o no, material calcáreo metamorfizado (a mármol, hornfels calcáreo), el material clástico de la Formación Mara metamorfizada (a hornfels) y ser cortadas por estructuras permeable por donde hizo posible el ascenso de fluidos hidrotermales o emplazarse diques monzonítico que desarrollen *skarn* al contacto con las rocas calcáreas, y finalmente el ingreso del fluido hidrotermal tardío mineralizante con cobre que a la postre pueda precipitar como sulfuro.

En el sector norte del Proyecto Alto Huancané, existen indicios de encontrarse un depósito de skarn cuprífero en profundidad. Porque en el sondaje DDH AH 06 se intersectó en su tramo final la diorita (interpretado como un sill diorítico) y esta no se llegó atravezarla. Por otro lado, los valores anómalos altos de cobre presente en los tramos superiores antes de intersectar la diorita y la presencia de un dique monzonítico (interpretado así) a la cual estaría asociada la mineralización por cobre, invitan a inferir que debajo de la diorita probablemente se tenga un skarn cuprífero y de gran extensión.

Un elemento más de gran ayuda en la exploración, para determinar posibles áreas (o terrenos parecidos a la parte norte del Proyecto Alto Huancané o están cubiertos por materiales de edades más jóvenes) que puedan albergar mineralización cuprífera, será hacer uso de los métodos geofísicos: la magnetometría y la polarización inducida para caracterizar áreas anómalas. Es decir con la magnetometría se localizará áreas anómalas en susceptibilidad magnética (probable presencia de cuerpos magnéticos, o roca diorítica) y con la polarización inducida nos permitirá identificar áreas con alta conductividad la cual probablemente este asociado a minerales metálicos del tipo sulfuro (pórfido de cobre y/o skarn de cobre).

Las areniscas-cuarcitas intersectadas en los sondajes DDH AH 01, DDH AH 01a y DDH AH 02 contienen valores anómalos en cobre (se registró hasta 0.2 % Cu) que

van asociado a la proximidad de los intrusivos que cortan a la secuencia de la formación Soraya en forma de diques. Ello permite inferir, una litología potencial en albergar mineralización cuprífera son las rocas sedimentarias clásticas, cuando son intruidas por rocas intrusivas del sistema de pórfido de cobre (ejemplos son el Proyecto de Haqaira, al SO de la ciudad del Cuzco y el Proyecto Galeno en Cajamarca).

Valores anómalos por cobre asociados a las rocas intrusivas de composición Pórfido Monzonita tipo PM 52, PM 55 y PM 54, implica el aporte de cobre por los pulsos magmáticos de estos en sus fases tardías de consolidación. Además, la alteración hidrotermal (cuarzo, ortosa-cuarzo, arcillas, calcosilicatos-*skarn*, clorita-epidota - pirita, biotita secundaria y albitización) registradas en estas es el reflejo de esta fase tardía. Mientras que en las rocas sedimentarias es evidente la actividad hidrotermal por las playas de piroxeno, calizas blanqueadas, cuarcitas con playas de piroxeno, hornfels de biotita-piroxeno y *skarn* desarrollados en la roca calcárea.

La correlación del cobre con el plomo, molibdeno, zinc, plata en general es muy débil a débil, hospedados en los intrusivos del Proyecto Alto Huancané.

Se determinó la no existencia de una gran mineralización de importancia próxima a la superficie en el Proyecto Alto Huancané.

Se reconoció un incremento de cobre hacia el norte del proyecto (DDH AH 06) pero no de gran importancia (económico) en leyes, asociado a un *skarn* por tramo brechado, y de contexto litológico parecido al de la Mina Tintaya.

7 RECOMENDACIONES

Se sugiere cubrir la zona norte del Proyecto Alto Huancané con la prospección geofísica, haciendo uso de dos métodos geofísicos la magnetometría y la polarización inducida. Objetivo identificar anomalías de susceptibilidad magnética y cargabilidad (conductividad). Para luego evaluar las nuevas áreas anómalas identificadas y de acuerdo a ello diseñar, si lo amerita, un programa de sondajes diamantinos con la finalidad de verificar lo interpretado e identificar la fuente que produce estas anomalías.

Durante los trabajos de prospección superficial prestar atención al afloramiento de las rocas de composición diorítica, pórfido monzonita asociada a rocas carbonatadas porque estas pueden tener la distribución espacial del modelo de depósito cuprífero de la Mina Tintaya. En la vecindad misma de la mina Tintaya afloran grandes cuerpos de Diorita, pero de grano grueso, serian probables zonas de prospección.

Realizar trabajos de prospección sobre las areniscas de la formación Soraya especialmente donde muestra valores anómalos por cobre, porque estas pueden estar asociadas a un pórfido de cobre localizado a una profundidad relativa cercana, pues esta litología también puede albergar al cobre, ejemplos de este tipo de yacimientos son el proyecto Haqira en el Cuzco y Galeno en Cajamarca, Perú.

Un trabajo de importancia para entender mejor como contribuyó y afectó la evolución tectónica a los depósitos de cobre, es hacer un estudio de la deformación frágil en el distrito minero de Tintaya. Con la visión de aplicar a la prospección minera, buscándose particularidades locales que dieron condiciones favorables para el emplazamiento de cuerpos mineralizados.

Un segundo estudio muy importante es hacer una investigación geoquímica de las inclusiones fluidas para entender porque en la configuración litológica espacial dada se dió un ambiente para que se desarrollen cuerpos relativamente grandes y continuos de skarn. Y posteriormente porque los fluidos mineralizante precipitaron en estos cuerpos. Es decir que condiciones físico-químicos se dieron para entrapar o concentrar el cobre presente en el fluido mineralizante.

8 BIBLIOGRAFÍA

AUDEBAUD, E. (1973): "Geología de los cuadrángulos de Ocongate y Sicuani" Servicio Geológico y Minero. Lima, boletín N° 25 serie A.

CABRERA LA ROSA, A. y PETERSEN, G. (1936): "Reconocimiento geológico de los yacimientos petrolíferos del departamento de Puno" Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú. Lima, boletín N° 115.

CARLOTTO, V. et. al., (1996): "Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca" Instituto Geológico Minero Metalúrgico. Lima, boletín N° 65 serie A.

CASQUET, C. (1990): "Skarns" en Yacimientos minerales por LUNAR, R & OYARZUN, R. Editorial centro de estudios Ramón Areces, S.A., Madrid, pp. 265-286.

CERPA, Luis et. al., (2004): "Paleografía y evolución de la cuenca miocena de Descanso-Yauri (Cusco)" en Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú. Sociedad Geológica del Perú. Lima, Publicación especial N° 5, pp. 175-182.

DALMAYRAC, B.; LAUBACHER, G. y MAROCCO, R. (1988): "Caracteres generales de la evolución geológica de los Andes Peruanos" en Estudios especiales, Instituto Geológico Minero Metalúrgico. Lima, boletín N° 12 serie D.

DAVILA, D. (1988): "Estudio geológico del cuadrángulo de Cailloma" Instituto Geológico Minero Metalúrgico. Lima, boletín N° 40 serie A.

DE LA CRUZ, N. (1995): "Geología de los cuadrángulos de Vellile, Yauri, Ayaviri y Azangaro" Instituto Geológico Minero Metalúrgico. Lima, boletín N° 58 serie A.

EVANS, Anthony (1995): Introduction to mineral exploration. Blackwell Science Ltd. Great Britain.

FIERRO, J. et. al., (1997): "Chabuca este Cu- (Au, Ag) skarn deposit at Tintaya, Peru" en Publicación especial N° 1, IX Congreso Peruano de Geología. Lima. Pp 37-40.

GAGLIUFFI ESPINOZA, Pedro (1998): "Alteraciones Hidrotermales" en Actualización de aptitud profesional, Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias geográficas. UNMS, Lima.

GANS, Phillips. (2005): Structural Framework of the Tintaya District, a preliminary assessment. Informe interno Brownfield BHPBilliton.

GUSTAFSON, L. and HUNT, J. (1975): "The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile" en Economic Geology. Volumen 70 pp 857-912.

JAILLARD, Etienne et. al., (2002): "Andean geodynamics: main issues and issues and contributions from the 4th ISAG, Göttingen" en Tectonophysics. Volumen 345 pp 1-15.

- JENKS, W. (1948): "Geología de la hoja de Arequipa, escala 1:200000" Instituto Geológico del Perú. Lima, boletín N° 9.
- KANEOKA, I. y GUEVARA, C. (1984): "K-Ar determination of Late Tertiary and Quaternary Andean volcanic rock, southern Peru" *Geochemical Journal*, Volumen 18.
- KLINCK, B. & PALACIOS MONCAYO, P. (1991): Cuadrángulo geológico de Condorama. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima.
- MAHER, Kierran (1999): *Geology of the Cu-Skarn at Corocochuayco, Perú*. No publicado, tesis para el grado de master of science in geology, Washington, 133 p.
- MAROCCO, R. (1975): "Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas" Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima, boletín N° 27.
- MAROCCO, R. y DEL PINO, M. (1966): "Geología del cuadrángulo de Ichuña" Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima, boletín N° 14.
- MC LAUGHLIN, D. (1924): *Geology and Physiography of The Peruvian Cordillera, departments of Junin and Lima*. B.G.S.A. 35.
- MERCIER, Jacques y VERGELY, Pierre (2001): *Tectónica*. Editorial Limusa, México.
- MODE, Elmer (1972): *Elementos de Probabilidad y Estadística*. Editorial reverte mexicana, S.A. México.
- NEWELL, D. (1949): "Geology of the Lake Titicaca region Peru, and Bolivia" *Geology Society American*. Mem.36.
- NOBLE, Donald et. al., (1984): Age and regional tectonic and metallogenic implication of igneous activity and mineralization in the Andahuaylas-Yauri Belt of southern Peru. *Economic Geology*, volumen 79, pp 172-176.
- NOVITZKY, Alejandro (1978): *Prospección exploración y evaluación*. Edición del autor, Buenos Aires.
- PALACIOS, Oscar et. al., (1993): "Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al oeste del Lago Titicaca, Sur del Perú" Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima, boletín N° 42, serie A.
- PERELLÓ, José et. al., (2003): Porphyry-Style Alteration and Mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region, Peru. *Economic Geology*, volumen 98, pp 1575 – 1605.
- PERELLÓ, José et. al., (2002): Porphyry Cu-Au mineralization at Cotabambas, Cuzco region, Peru. *Resúmenes XI Congreso Peruano de Geología*. Sociedad Geológica del Perú. Lima.
- ROSE, Arthur; HAWKES, Herbert y WEBB, John (1979): *Geochemistry in mineral exploration*. Second edition. Academic Press INC. Limited, London.

SÁEZ, Jorge (1996): Skarn and ore parageneses in the Cu (-Fe) Tintaya deposit, southern Peru. Ph.D. dissertation, Ruprecht-Karls Universitat, Heidelberg, 205 p. Sociedad Geológica del Perú.

VAL D'OR Geofísica: Manual de servicios geofísicos.

ZWENG, Paul et. al., (1997): "The Cu-(Au, Ag) skarn deposits at Tintaya, Peru" en Publicación especial N° 1, IX Congreso Peruano de Geología. Lima. Pp 237-242.