

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA



“CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, MINERALÓGICAS Y GEOQUÍMICAS DE LOS YACIMIENTOS DE Zn-Pb(\pm Ag) DE SAN GREGORIO Y COLQUIJIRCA EMPLAZADOS EN UNIDADES SEDIMENTARIAS EN LOS BORDES DEL SISTEMA EPITERMAL DE ALTA SULFURACIÓN DE MARCAPUNTA”.

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

RONNER ABEL BENDEZÚ JUÁREZ

LIMA – PERÚ

1997

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

1. OBJETIVOS Y CONSIDERACIONES GENERALES... 1

1.1 OBJETIVOS...1

1.2 MÉTODOS DE TRABAJO...2

1.3 UBICACIÓN Y ACCESO...3

1.4 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS, TRABAJOS PREVIOS...4

2. GEOLOGÍA DEL DISTRITO... 5

2.1 ESTRATIGRAFÍA.. 5

2.1.1 GRUPO EXCÉLSIOR 5

2.1.2 GRUPO MITU...5

2.1.3 GRUPO PUCARÁ.. 6

2.1.4 FORMACIO POCOBAMBA .7

2.1.4.1 Miembro inferior: Capas rojas de Sacra Familia. 7

2.1.4.2 Conglomerado Shuco...7

2.1.4.3 Miembro Calera 8

2.2 CENTROS VOLCÁNICOS ..9

2.2.1 VOLCÁNICO MARCAPUNTA. 9

2.3 EVOLUCIÓ TECTÓNICA.. 9

3. SAN GREGORIO... 11

3.1 UNIDADES LITOLÓGICAS.. 12

3.1.1	GRUPO MITU	12
3.1.2	GRUPO PUCARÁ	12
3.1.2.1	Brecha Basal	13
3.1.2.2	Dolomías Basales	13
3.1.2.3	Brechas dolomíticas de disolución	14
3.1.2.4	Sulfide Rock (Roca Sulfurada)	15
3.1.2.5	Dolomías Intermedias	17
3.1.2.6	Horizontes silicificado y alunitizado-caolinizado	18
3.1.3	BRECHA SAN JUAN	19
3.1.4	SEDIMENTOS LACUSTRES	19
3.1.5	CUBIERTA CUATERNARIA	20
3.2	ALTERACIONES	20
3.2.1	DOLOMITIZACIÓN	21
3.2.2	DECARBONATIZACION	21
3.2.3	SILICIFICACIÓN	22
3.2.4	ALUNITIZACIÓ CAOLINIZACIÓN	24
3.3	MINERALIZACIÓ	26
3.3.1	Zn - Pb	27
3.3.2	Fe (pirita)	30
3.3.3	Ag	30
3.4	GUALQUEPAQUI	31
3.5	DISTRIBUCIÓ VERTICAL HIPÓGENA GENERAL DE ELEMENTOS TRAZA	33
3.6	DISTRIBUCIÓN A ESCALA DEL YACIMIENTO DE LA MINERALIZACIÓN Y ALTERACIONES	36

4. COLQUIJIRCA... 38

4.1 GENERALIDADES...38

4.2 GEOLOGÍA LOCAL. 38

4.3 MIEMBRO CALERA...39

4.4 ALTERACIONES 40

4.4.1 SILICIFICACIÓN .41

4.4.2 ARGILIZACIÓN...42

4.4.3 DOLOMITIZACIÓN 42

4.4.4 DECARBONATIZACIÓN...43

4.5 MINERALIZACIÓN...44

4.5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS GANGAS 45

4.5.2 DESCRIPCIÓN DE LAS MENAS 46

5. DISTRIBUCIÓN METÁLICA GENERAL Y SU ASOCIACIÓN A ELEMENTO TRAZA SEGÚN DIRECCIÓN NORTE-SUR (COLQUIJIRCA - MARCAPUNTA - SAN GREGORIO).. 49

6. ALGUNOS ELEMENTOS DE COMPARACIÓN ENTRE LOS YACIMIENTOS DE SAN GREGORIO Y COLQUIJIRCA 53

CONCLUSIONES.. 56

RECOMENDACIONES 58

BIBLIOGRAFÍA. 59

APÉNDICE...63

LISTA DE LÁMINAS

- Lámina 1 : Plano de ubicación de la mina Colquijirca.
- Lámina 2.1 : Plano geológico regional de Colquijirca.
- Lámina 2.2 : Columna volcanoestratigráfica del Distrito Minero de Colquijirca.
- Lámina 2.3 : Sección transversal este-oeste del Distrito Minero de Colquijirca.
- Lámina 3.2 : Columna generalizada del Proyecto San Gregorio.
- Lámina 5.1 : Mapa de distribución metálica general según dirección Norte-Sur.
- Lámina 5.2 : Sección Longitudinal Norte-Sur del Distrito Minero de Colquijirca.

LISTA DE LÁMINAS INCLUIDAS EN EL APÉNDICE

- Lámina 3.1 : Area del Proyecto San Gregorio. Ubicación de sondajes diamantinos, secciones y el afloramiento de Gualquepaqui.
- Lámina 3.3 : Sección Transversal 263.
- Lámina 3.4 : Sección Oblicua A12.
- Lámina 3.5 : Sección Oblicua CC'.
- Lámina 3.6 : Sección Longitudinal.
- Lámina 3.7 a : Plano Geológico del Cerro Gualquepaqui.
- Lámina 3.7 b : Mapa de alteraciones del Proyecto San Gregorio.
- Lámina 3.8 : Mapa de Intensidades de Silicificación.
- Lámina 3.9 : Mapa de Intensidades de Alunitización-Caolinización.
- Lámina 3.10 : Mapa de intensidad total.
- Lámina 3.11 : Mapa de Contornos de Máxima Mineralización.
- Lámina 9.1 : Ubicación de muestras en el Sondaje Diamantino 22G.
- Lámina 9.2 : Ubicación de muestras en el Sondaje Diamantino 34F.

LISTA DE FIGURAS

- Figuras 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4, 3.5.5 y 3.5.6 : Distribución vertical hipógena de elementos traza según el Sondaje Diamantino 22G.
- Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 : Columnas de Mineralización tomadas del Tajo Principal.

ADEMÁS :

Una selección de diagramas de difracción de rayos X.

LISTA DE TABLAS INCLUIDAS EN EL APÉNDICE :

Tabla 1 : Descripción de muestras tomadas y tipos de análisis por cada una.

Tabla 2 a : Resultados de análisis de elementos mayores por fluorescencia de rayos X.

Tabla 2 b : Resultados de análisis de elementos traza por fluorescencia de rayos X.

Tabla 3 : Resultados de análisis por ICP.

Tabla 4 : Intensidades de Silicificación y Alunitización-Caolinización.

Tabla 5 : Resultados de análisis por absorción atómica de algunas muestras tomadas de la Brecha San Juan.

Tabla 6 : Cuadro de reservas de los Proyectos de San Gregorio y Tajo Norte.

RESUMEN

El presente trabajo enmarca casi exclusivamente la parte descriptiva de los yacimientos de San Gregorio y Colquijirca de Zn-Pb(+ Ag), el primero de los cuales fue recientemente descubierto y constituye quizás el yacimiento de zinc y plomo más grande del Perú; el segundo, una mina en expansión que antaño constituyó una de las principales productoras de plata de Sudamérica.

Sobre el yacimiento de San Gregorio se trató de establecer las bases geológicas hasta hace poco desconocidas, encontrándose similitud con el yacimiento de Colquijirca, con el cual fue finalmente comparado. Se concluyó que ambos presentan características típicas provocadas por fluidos hidrotermales de gran acidez especialmente en San Gregorio, como fuerte alunitización (sólo en San Gregorio) y caolinización, además de extrema disolución y decarbonatización. Ambos yacimientos están emplazados en rocas sedimentarias carbonatadas, San Gregorio en la secuencia del Grupo Pucará y Colquijirca en calizas Terciarias de la serie Calera, determinándose probables edades de la mineralización no mayores al Mioceno Inferior, edad que es concordante con el evento magmático-volcánico de Marcapunta situado entre ambos yacimientos y a distancias bastante próximas (menos de 5 Km,) y en el cual se ha determinado un sistema epitermal de alta sulfuración (Vidal et al., 1997), el trabajo señala las evidencias por las cuales el evento magmático-volcánico de Marcapunta estaría relacionada a la mineralización de ambos yacimientos.

1 OBJETIVOS Y CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es ofrecer una descripción y comparación de características geológicas, mineralógicas y geoquímicas del yacimiento recientemente descubierto de San Gregorio en comparación con el de Colquijirca. Los dos yacimientos se encuentran dentro de las propiedades de Sociedad Minera el Brocal S.A.

Se abordan los temas siguientes:

- Marco geológico regional basado esencialmente en trabajos previos
- Posición estratigráfica de San Gregorio basado en nuevos trabajos realizados por el Departamento de Geología de Sociedad Minera El Brocal S.A.
- Descripción de las menas y las alteraciones hidrotermales de San Gregorio y de Colquijirca en base a observaciones de terreno, sondajes, secciones delgadas y pulidas, difracción y fluorescencia de RX y análisis por absorción atómica. Una selección de muestras de mena se ha analizado también por ICP.
- Comparación de los resultados obtenidos en San Gregorio y en el antiguo yacimiento de Colquijirca, teniendo en cuenta la simetría posicional en referencia al centro volcánico Marcapunta.

El presente trabajo forma parte de un proyecto más amplio que se está realizando en colaboración con la Universidad de Ginebra, Suiza (Prof. L. Fontboté) y que cuenta con financiamiento del Swiss National Science Foundation y de la Sociedad Minera el Brocal S.A.

El objetivo final que con lleva todo lo anteriormente referido, es obtener un modelo geométrico y genético de los yacimientos en el distrito que en futuro ayude a enmarcar las exploraciones.

1.2 METODOS DE TRABAJO

Inicialmente se optó por la evaluación de la información existente del área en estudio, acompañada de un reconocimiento de los principales afloramientos ya establecidos geológicamente.

San Gregorio tuvo un tratamiento especial, ya que casi el total de la información obtenida procedió exclusivamente de los cores de perforación diamantina, en vista que todo el depósito se halla cubierta por material cuaternario. Se describieron y estudiaron más de 40 sondajes diamantinos para la elaboración de secciones transversales, longitudinales y oblicuas, de los que se eligió dos, representativos tanto de la zona mineralizada como la de alteraciones (Sondajes diamantinos 22G y 34F); de estas se tomaron 34 y 9 muestras respectivamente, de manera que integrasen la totalidad de las unidades y tipos de roca establecidas, de las que se hizo petrografía microscópica, acompañado de un análisis paralelo por fluorescencia de rayos X además de difracción de rayos X para las muestras más típicas y problemáticas, finalmente se hizo los análisis de elementos traza multielemental por ICP 80, para las muestras especialmente ricas en sulfuros, así como de las muestras de roca típicas. De algunas muestras escogidas se hicieron ensayos por oro y plata por cianuración CY 210. El resto de la información se obtuvo del mapeo del cerro Gualquepaqui, así como de algunos análisis de muestras tomadas aquí, por ICP 80 y cianuración CY 210.

De Colquijirca se afinó el conocimiento de la distribución mineralógica, las alteraciones y la relación de estas últimas con la roca caja, mediante levantamientos de columnas de mineralización en el Tajo Principal, ayudado de los numerosos estudios minerográficos previos existentes.

Los análisis efectuados en Colquijirca también incluyen ICP 80 en muestras distribuidas longitudinal y transversalmente, a partir tanto de sondajes diamantinos como de los tajos Principal y Mercedes- Chacayoc.

Es necesario indicar que los análisis por ICP 80 (Multi Acid Digestion), es de tipo multielemental y simultáneo por 32 elementos, mientras que los análisis por cianuración

CY210 es por oro y plata. Ambos tipos de análisis fueron realizados por SGS Canadá Laboratories.

Los análisis por fluorescencia y difracción de rayos X se efectuaron en la Universidad de Ginebra.

1.3 UBICACIÓN Y ACCESO

El proyecto San Gregorio, se sitúa en los Andes Centrales del Perú, en el distrito minero de Colquijirca (Ver lámina 1), a 2 Km. al sur del centro volcánico Marcapunta. El proyecto está limitado por los intervalos de coordenadas UTM siguientes:

8 803 000 ó 8 806 000 Km. N
359 000 ó 361 000 Km. E

Magnitudes que corresponden al límite septentrional de la Pampa de Junín, a una altitud promedio de 4,180 m.s.n.m.

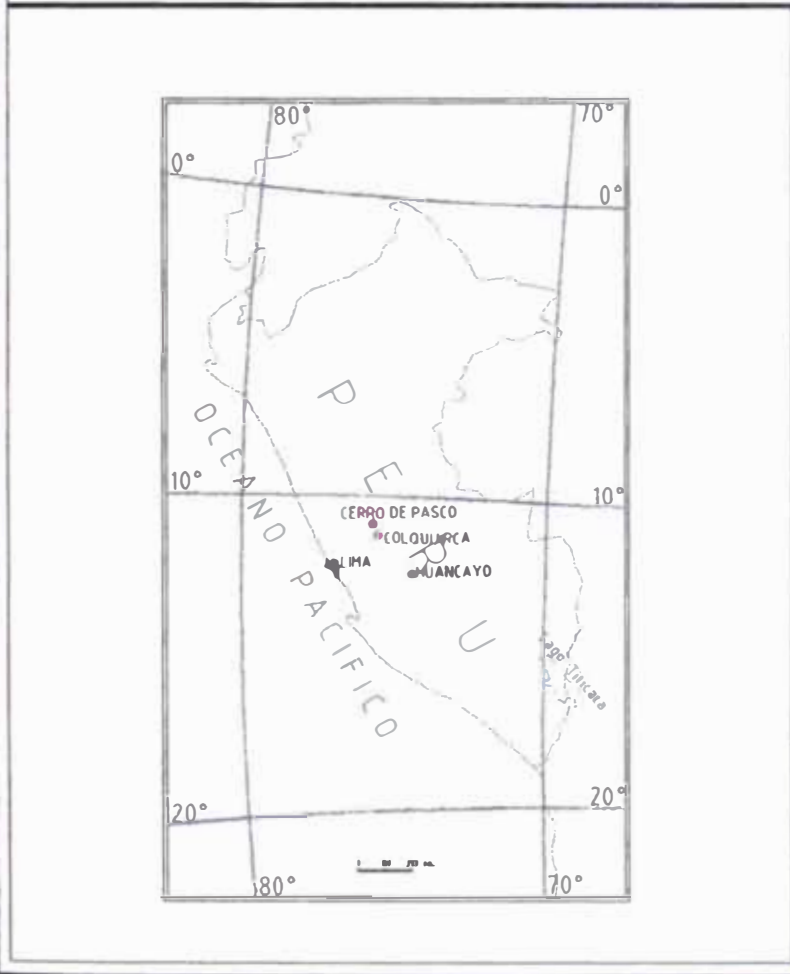
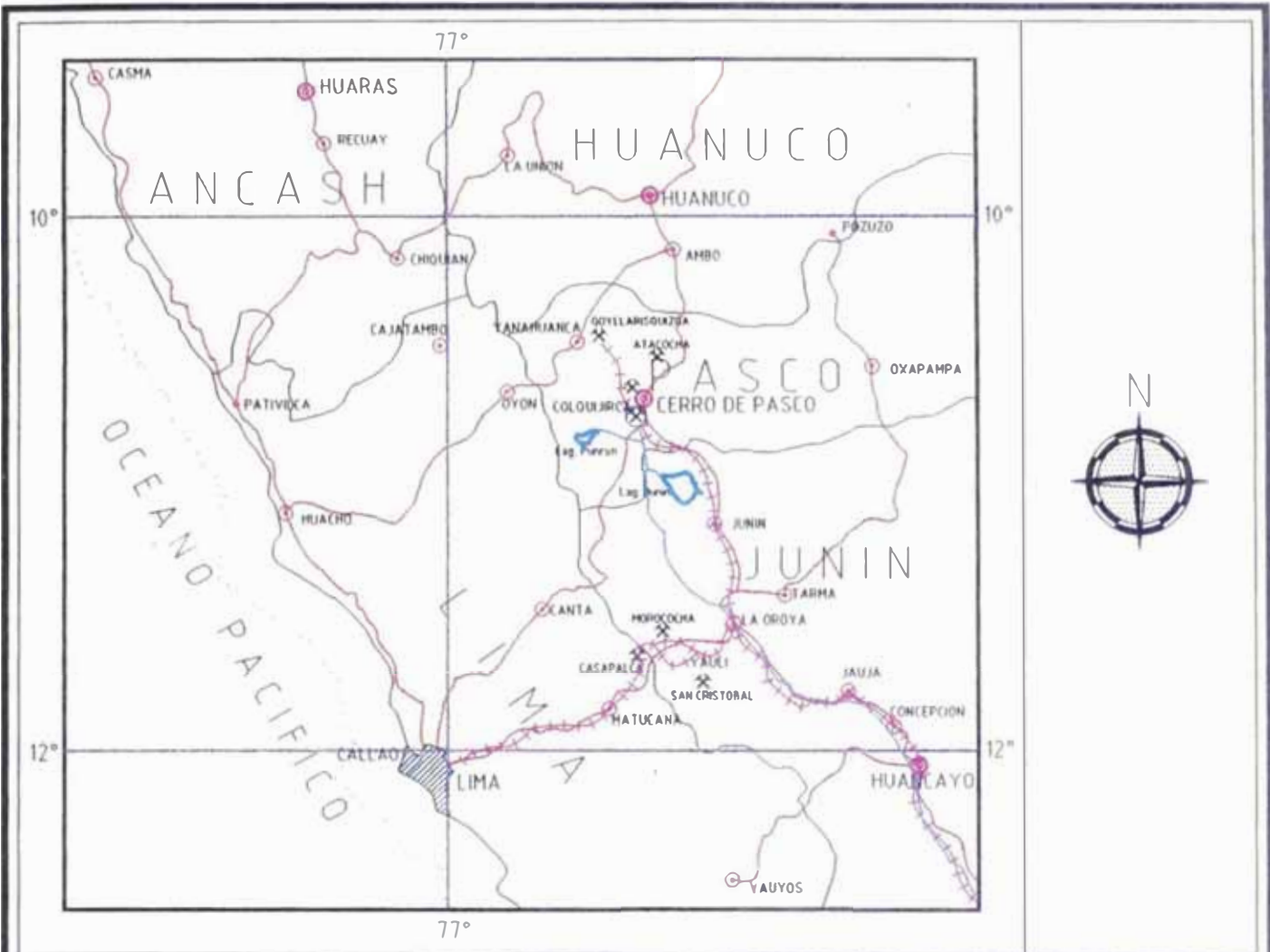
La mina de Colquijirca, actualmente en operación, se ubica 3 Km. al norte del centro volcánico Marcapunta, en la intersección de coordenadas siguientes:

8 812 000 ó 8 811 000 Km. N
361 000 ó 362 000 Km. E

Dichas coordenadas corresponden, a las primeras estribaciones del norte de la Pampas de Junín, a una altitud promedio de 4 300 m.s.n.m.

Políticamente, San Gregorio y Colquijirca corresponden al distrito de Tinyahuarco, provincia y departamento de Pasco.

El acceso al área en conjunto; la facilita la carretera asfaltada Lima - La Oroya- Cerro de Pasco en un recorrido aproximado de 290 Km. A partir de la que bifurcan carreteras afirmadas hacia ambos yacimientos.



LEYENDA

- CAPITAL DE REPUBLICA
- CAPITAL DE DEPARTAMENTO
- CAPITAL DE PROVINCIA
- CAPITAL DE DISTRITO
- LIMITE DEPARTAMENTAL
- YACIMIENTOS MINEROS
- CARRETERA
- FERROCARRIL

ESCALA GRAFICA

SOCIEDAD MINERA "EL BROCAL" S A
MINA COLOQUIRCA

PLANO DE UBICACION MINA COLOQUIRCA

RESOLUCION PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO DE MINAS AUTOR: DOMINGO NUNEZ SUAREZ	Escala: Gráfica Fecha: Agosto de 1997 Lámina N° 1
---	---

1.4 ANTECEDENTES GEOLOGICOS, TRABAJOS PREVIOS

La información geológica existente del distrito es considerable. Mencionaremos los trabajos realizados por J. Noble (1931) quien estableció las bases de la geología del sector, lo sucedió W. Jenks (1951) quien elaboró un estudio mucho mas completo, complementó la estratigrafía B. Boit (1962-1966) en especial paleontológicamente lo mismo que O. Haas (1953). El trabajo realizado por C. Angeles (1993) para SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A. integró los anteriormente realizados, y aportó más detalle tanto en los aspectos estratigráficos como estructurales. Existe un mapa geológico distrital a la escala 1 : 20000 de Noble (1931). Datos adicionales sobre la geología del distrito se encuentran también en los trabajos de índole metalogenético que se citan a continuación.

Existe una abundante bibliografía sobre el yacimiento de Colquijirca desde los trabajos clásicos de Ahlfeld (1932), Lindgren (1935) y McKinstry (1936). Otras aportaciones son las de Arroyo (1983), Lehne (1977), Lehne y Amstutz (1982), Lehne (1990), así como varios informes inéditos que se citan en el capítulo 4.

Sobre el centro volcánico de Marcapunta y las mineralizaciones asociadas se pueden mencionar a Vidal et al., (1984 y 1997). También fueron útiles los reportes de B. I. S. A. a través de trabajos efectuados por G. Barba (1992) y C. Vidal (1984 y 1992).

Sobre San Gregorio existe menos información, ya que solo se dispone del reporte de B.I.S.A. por C. Vidal (1992) y antiguos informes internos de la Empresa realizados por B.A.Johnston (1929) y E.A.Baertl (1933,1935), en la que reportan sondajes diamantinos de ese entonces. Una historia del descubrimiento del yacimiento así como un resumen de los datos principales conocidos hasta la fecha ha sido publicado por Yaringaño et al.,(1997).

2 GEOLOGIA DEL DISTRITO

Los afloramientos existentes en el distrito revelan una geología histórica de más de 400 Ma. en una combinación y/o sucesión de eventos deposicionales, tectónicos y volcánicos. La lámina 2.1 muestra la columna estratigráfica, la lámina 2.2 el plano geológico de distrito, y la lámina 2.3 el corte transversal AA' del plano anterior.

2.1 ESTRATIGRAFIA

2.1.1 GRUPO EXCELSIOR. Ordoviciano ?

Sus limitados afloramientos se encuentran hacia el noroeste de Colquijirca donde lo conforman filitas y pizarras gris parduscas con sericita . Una mejor exposición se da más al norte, en el núcleo del anticlinal de Cerro de Pasco donde son comunes delgadas intercalaciones de cuarcitas (Angeles, 1993).

2.1.2 GRUPO MITU. Pérmico superior-Triásico inferior

El Grupo Mitu yace en discordancia sobre el grupo Excelsior (Angeles, 1993). Las 2 unidades en que fue dividido el Mitu, una basal conglomerádica y la suprayacente areniscosa (Newell et al., 1953) también están presentes al oeste y noroeste de Colquijirca.

La unidad conglomerádica la constituyen mayoritariamente clastos subredondeados a subangulosos, centimétricos de cuarcita y cuarzo lechoso; en proporciones algo menores filitas de gran similitud a las del grupo Excelsior, la matriz tiene la misma composición, pero con dimensiones de limos a arenas y que al igual que los clastos muestra mala granoclasificación. Esta unidad hace su aparición al NO de Colquijirca (ver lámina 2.2)

ERA	SISTEMA	SERIE	GRUPO	FORMACION MIEMBRO	LITOLOGIA GRAFICA
	CUATERNARIO	HOLOCENO PLEISTOCENO		MATERIAL FLUVIO-GLACIAR	
CENOZOICO	TERCIARIO	NEOGENO	CENTRO VOLCANICO	VOLCANICO MARCAPUNTA	
				BRECHA SAN GREGORIO	
				TUFO UNISH	
	PALEOGENO	POCOBAMBA	CALIZAS CALERA	SUPERIOR COLQUIJIRCA (MEDIO) INFERIOR	
			CONGLOMERADO SHUCO		
	MESOZOICO	JURASICO	INFERIOR	PUCARA	
TRIASICO		SUPERIOR			
PALEOZOICO	PERMICO	SUPERIOR	MITU		
	DEVONICO		EXCELSIOR		

DISCORDANCIA

Sociedad Minera "El Brocal" S. A.

COLUMNA VOLCANOESTRATIGRAFICA
GENERALIZADA DEL DISTRITO MINERO DE COLQUIJIRCA

TESIS PARA OPTAR EL
TITULO DE INGENIERO GEOLOGO

AUTOR: RONNER BENDEZU JUAREZ

FECHA: Octubre de 1.997

LAMINA: 2.1

conformando un anticlinal con eje de pliegue de dirección NE. Se le atribuye un espesor de 400 m. (Angeles, 1993).

La unidad suprayacente la conforman areniscas rojas con lentes repetitivos de conglomerados, de características litológicas similares a la unidad inferior, la base de esta unidad la constituyen capas rojas de granulometría muy fina (limo a limoarcillosas). Esta unidad confundida con capas rojas Terciarias por Noble (1931) y Haapala (1953), fue posteriormente definida como parte del Grupo Mitu por Jenks (1951). Se calcula para esta unidad, un espesor aproximado de 600 m. (Angeles, 1993).

2.1.3 GRUPO PUCARÁ. Triásico- Jurásico

Angeles (1993) divide al Grupo Pucará, en un sector oeste de la falla Longitudinal denominada informalmente como Pucará Occidental y su contraparte oriental reconocida como la Formación Chambará (Mégard, 1968 ; Rosas, 1995).

El Pucará Occidental conforma las crestas del complejo plegado y erosionado del oeste de Colquijirca (cerros Lachipana, Pumarrín, Sacra Familia, Puca Ingenio, Viscagaga. Huagato y San Cristobal); al Pucará Occidental también corresponde el paquete albergante del yacimiento de San Gregorio como se verá en el capítulo 3.

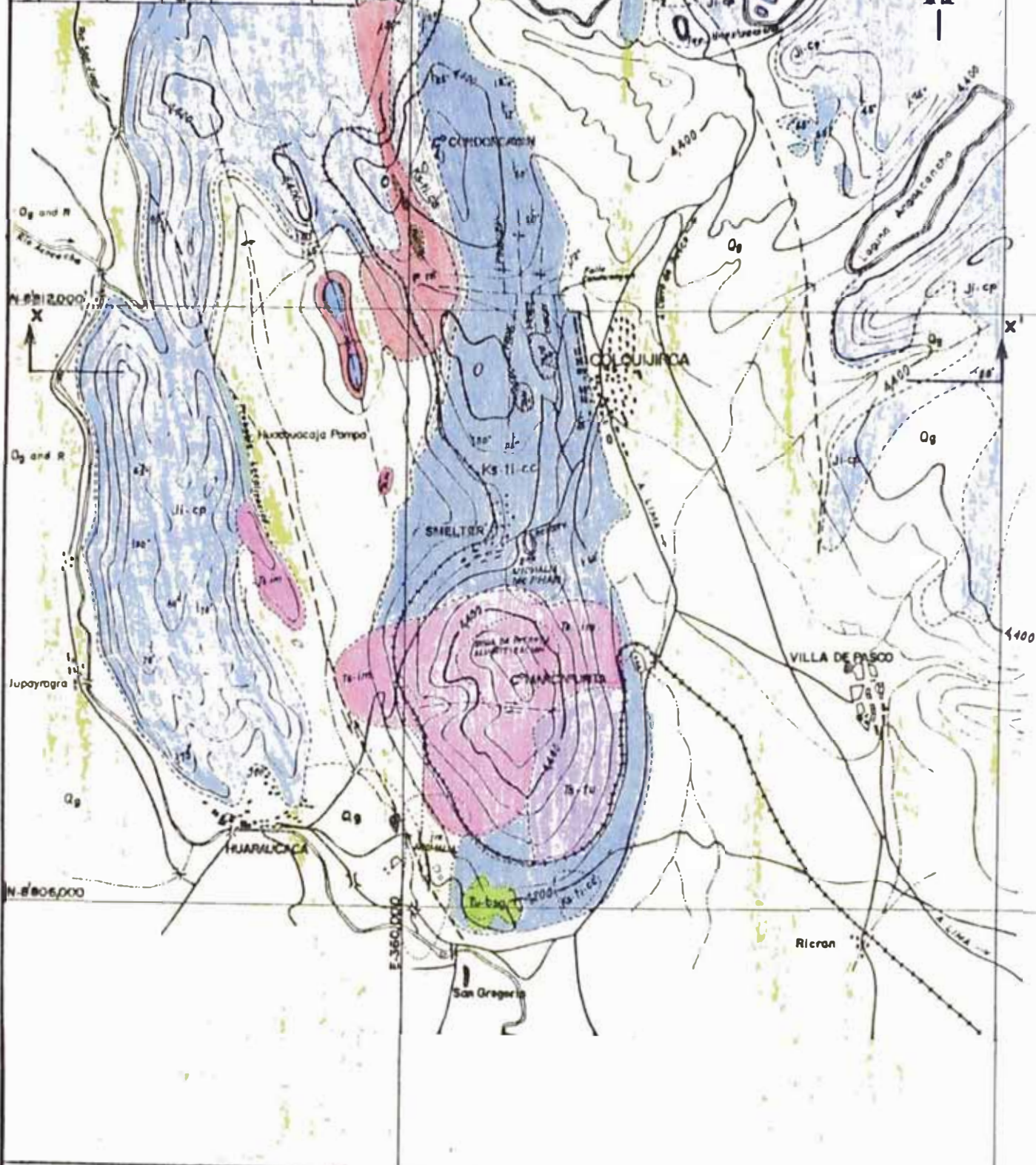
El espesor máximo del Pucará Occidental ha sido medido en 357 m. (Angeles, 1993) y yace con bajo ángulo en discordancia sobre el Mitu (e. g., Cerro Pumarrin). El Grupo Pucará se inicia siempre con un horizonte al que denominan Brecha Basal de color gris claro algo verdoso, con clastos subangulosos de filitas, cuarcitas y cuarzo lechoso en matriz areniscosa fina, se asume a esta unidad como el inicio del Pucará en base a que ocurre en algunas localidades sobre la arenisca Mitu (e. g., Cerro Lachipana) y en otras como al oeste de la laguna Cuchucancha directamente sobre la unidad conglomerádica; San Gregorio respalda esta conjetura, mediante una intercalación de dolomías basales con varios niveles de la Brecha Basal (e.g., sondaje 22 G). Mégard (1979) observó sedimentos similares a la Brecha Basal en la región, en la parte baja del Pucará de Yanahuanca (noroeste de Cerro de Pasco), a los que denominó "Triásico basal terrígeno"

LEYENDA

ERA	SISTEMA	SERIE	GRUPO	FORMAC. MIEMB.	SÍMBOLO
CENOZÓICO	TERCIARIO	Plioceno Pleistoceno	Campa Mariano	Materiales fluvio-glaciales	Qg
				Vale. Maricopa	Ma-2
				B. San Gregorio	Ma-1
				Tubo Unish	Ma-1a
				Collana Superior	Ti-cc
				Collana Inferior	Ti-cc
				Conglomerado Shuco glaciar	Ks-II-cc
				discord.	
				discord.	
				discord.	
MESOZÓICO	URASICO	INFERI.			Ji-cp
TRIÁSICO	SUPERI.				Ji-cp
PALEOZÓICO	PERMIANO	SUPERI.			P-1a
					P-1a
PALEOZÓICO	DEVÓNICO				P-1a
					P-1a

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

Contacto	-----
Rumbo y buzamiento	→ 70°
Anticlinal	↖ ↗
Sinclinal	↗ ↖
Falla	-----
Afloramiento de mantos	-----
Yacimiento	-----



SOCIEDAD MINERA "EL BRICAL" S.A. Mina Colquijirca	PLANO GEOLOGICO REGIONAL DE COLQUIJRCA	GEOLÓG.: BRICAL-CANJELES	ESCALA: 1 / 60,000
		REV.: DPTO. GEOLÓG. BRICAL	FECHA: ENERO 1996
		DIBUJO: S. CALDERÓN C.	LAMINA N° 2.2

Angeles (1993) describe el Pucará Occidental, como dolomías beige con fina laminación plana, probablemente tidalítica para los 20 primeros metros; seguidas de 15 a 20 metros de cineritas, los 226 metros siguientes lo conforman dolomías gris claras tidalíticas, en este tramo pueden observarse en el cerro Lachipana, insistentes intercalaciones de tobas verduscas generalmente de grano fino. Brechas monogénicas intraformacionales se presentan desde la primera intercalación tufácea.

El Pucará Oriental representado por la Formación Chambará, se caracteriza por mudstones gris oscuros en estratos delgados, con intercalaciones de calcarenitas bioclásticas con depósitos piroclásticos distales, en un espesor total no menor a 1500 m (Angeles, 1993), aunque Jenks (1951) lo estimó en 2900 m.

2.1.4 FORMACIÓN POCOBAMBA. Eoceno superior

2.1.4.1 Miembro inferior: Capas rojas de Sacra Familia

Descansa en discordancia angular de bajo ángulo sobre el Pucará Occidental, son argilitas limosas, limolitas, areniscas y brechas conglomerádicas, con un espesor no menor a 100 m. representa a un sistema fluvial torrencial, probablemente entrenzado (Angeles 1993).

2.1.4.2 Conglomerado Shuco

Consiste de clastos calcáreos heterométricos, generalmente menores a 50 cm con pobre matriz detrítica areniscosa pardo rojiza, algunas veces verdusca, presentándose en este último caso, niveles decimétricos de tobas verduscas de grano grueso que, en buen intervalo (e.g., sondaje diamantino # 88), es componente importante de la matriz. Los clastos se atribuyen a la Formación Chambará (Angeles, 1993). El conglomerado Shuco descansa siempre en discordancia sobre cualesquiera que sea la unidad; al Oeste de

Colquijirca descansa cortando tanto a la unidad areniscosa como conglomerádica del Grupo Mitu, también se ha reportado su posición discordante sobre el Grupo Excelsior, al Este de la laguna Quivlacochoa, y sobre la formación Chambará al NE de la laguna Chaquicocha (Noble, 1931).

Se asume que el conglomerado de Shuco tiene una forma acuñada, con convergencia de espesor hacia el oeste, (Angeles, 1993) como lo indica el S.D. # 88 con aproximadamente 72,00 m. mientras que al oeste sobrepasa los 100 m., como lo indican los sondajes efectuados hacia el sector nor occidental del área del proyecto Cobre Marcapunta. Se atribuye un origen aluvial para el Conglomerado Shuco (Jenks, 1951; Angeles, 1993).

2.1.4.3 Miembro Calera

El Miembro Calera esta constituido por una secuencia varvada-carbonatada de ambiente lacustre, tiene un espesor medido máximo de 225 m. en el tajo principal (Angeles,1993). Lo conforman generalmente calizas y dolomías mudstones margosas, con alternancias de niveles arcilíticos pardo claros, grises y verdusco, así como horizontes tobáceos distales (Angeles 1993). Limolitas arenosas están igualmente presentes, las concentraciones bituminosas se dan sobre todo en la parte alta de este miembro.

Basado en la secuencia de facies, Angeles (1993) define la evolución del lago Calera de lagos efimeros tipo playa a lago holomíctico somero y luego a meromíctico ectogénico somero.

2.2 CENTROS VOLCÁNICOS

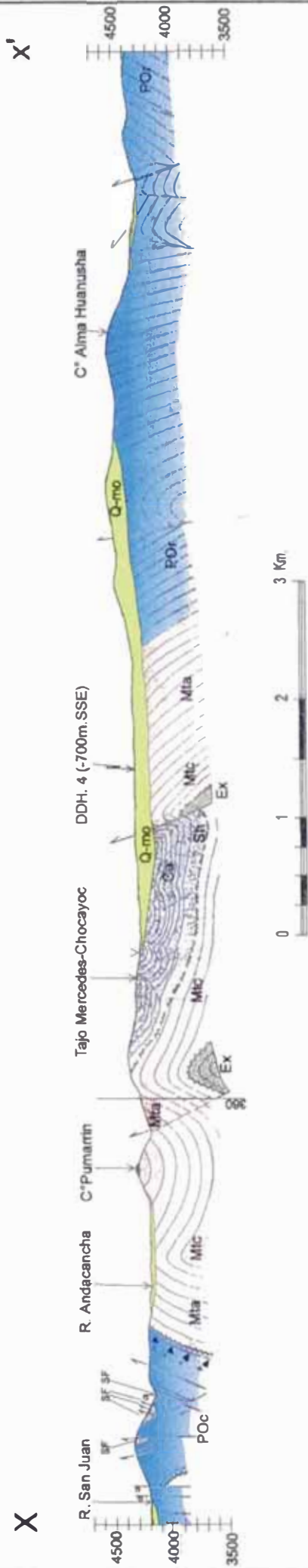
2.2.1 Volcánico Marcapunta

El cerro Marcapunta al sur de Colquijirca, constituye un centro volcánico. Se trata de una diatrema de 650 m de diámetro, (Barba, 1992) conformada por dos unidades litológicas (Vidal et al., 1984). El evento inicial representa una fase piroclástica-lávica (Tufos Unish) y el evento tardío es efusivo tipo domo-lavas de composición cuarzolítica a dacítica, denominado "Intrusivo Marcapunta", estos fueron datados en 11.5 ± 0.4 Ma. (Vidal, 1984)

Existen otros centros volcánicos en el distrito, de edades y características similares, estos son el de Yanamate, Quicay y Cerro de Pasco.

2.3 EVOLUCIÓN TECTÓNICA

Las evidencias del tectonismo más antiguo que afectara al distrito, corresponde a la tectónica en bloques Tardihercínica (Mégard, 1979), con generación de grabens, que controlaron la sedimentación del Grupo Mitu durante el Pérmico superior al Triásico inferior. La tectónica Finihercínica que se produjo al final de la sedimentación Mitu, produjo un basculamiento, con la posterior exposición y erosión del Paleozoico inferior, depositándose consecuentemente la Brecha Basal (Angeles, 1993), que incluye componentes polimícticos probablemente del grupo Excélsior. Ya en el Noriano se estableció una plataforma carbonatada (Grupo Pucará), disectada en dirección NS por la falla Longitudinal que posiblemente tuvo un funcionamiento transtensivo (Angeles, 1993), y que controlaba la sedimentación de un bloque al oeste (Pucará Occidental) poco subsidente, y otro al este mucho más subsidente. Según Angeles (1993) si consideramos el depósito del conglomerado Shuco como sintectónico, y que descansa directamente sobre el Grupo Excélsior (Flanco oriental del anticlinal de Cerro de Pasco) y teniendo en cuenta la edad radiométrica de Eoceno superior del Calera inferior,



LEYENDA

- | | |
|-----------------------|--|
| Cuaternario morrénico | Brechas intraformacionales |
| Miembro Calera | Deagane |
| Conglomerado Shuco | Indica bloque desplazado hacia el observador |
| Sacra Familia | Taladro DDH.4 |
| Pucará Oriental | Discordancia angular |
| Pucará Occidental | (Distancia a la sección expresada al mayor a 100 m.) |
| Mitu areniscoso | |
| Mitu Conglomerado | |
| Grupo Excelsiór | |

SOCIEDAD MINERA "EL BROCAL S.A."
MINA COLQUIJRCA

SECCION TRANSVERSAL XX'
MIRANDO AL NORTE

Geología: C. Angeles

Lámina N° 2.3

entonces la tectónica que generó al anticlinal de Cerro de Pasco, e hizo cabalgar al bloque oriental, debió ser pre Eoceno superior, que corresponde a la fase de deformación mayor de la Cordillera Occidental (Faja imbricada del Marañón) o Fase Inca del Eoceno medio a superior.

La fase mayor de deformación del antiguo alto de antepaís, al que corresponderían ambos bloques al lado de la falla longitudinal (Angeles, 1993) habría tenido lugar bien en la fase Aymara del Oligoceno Superior de 26 - 28 Ma o en la Quechua I del Mioceno Inferior de 15 - 17 Ma (Sébrier et al., 1988 in Angeles 1993).

DE LA SECCION TRANSVERSAL XX' (lámina 2.3) podemos indicar como un delimitador a la falla longitudinal, en cuyo lado oriental se emplazan las dolomías de la formación Chambará, y hacia occidente las calizas de la formación Calera que yace sobre el conglomerado de Shuco, que a su vez lo hace discordante sobre el Grupo Mitu. En un sector mas occidental; el Grupo Pucará descansa en discordancia de bajo ángulo sobre el Mitu y al extremo occidental del corte, infrayace discordantemente a las capas rojas de Sacra Familia. Toda la secuencia Pérmico-terciaria se halla plegada desde el norte de Cerro de Pasco hasta San Gregorio, (Ver lámina 3.3).

3 SAN GREGORIO

Como fuera mencionado antes, San Gregorio se halla en el límite septentrional de La Pampa de Junín, a unos 2,5 Km al sur del centro volcánico Marcapunta. Evidencias paleontológicas que se mencionarán más adelante, indican que el Grupo Pucará alberga la mineralización de San Gregorio.

La descripción del yacimiento se hará en base a 4 secciones geológicas seleccionadas según criterios que toman en cuenta rasgos estructurales y litológicos, así como límites e intensidades de las alteraciones y la mineralización. La posición de las secciones esta indicada en la lámina 3.1 y son las siguientes:

- La sección 263 de orientación E-O, que corta transversalmente los ejes de plegamiento N-S, desde una zona occidental no mineralizada, hasta una oriental totalmente alterada (hasta Cerro Gualquepaqui).
- Debido a que los cuerpos mineralizados, estan abiertos de sureste a suroeste y en razón de observar variaciones en la intensidad de las alteraciones según estas direcciones, se seleccionaron las secciones A12 y CC', de orientaciones N59°W y N28°E respectivamente.
- Para visualizar la distribución de la alteración-mineralización, a la escala del yacimiento, fue tomada la sección longitudinal LL', subparalela, a los ejes de plegamiento N-S, de orientación N09°W y que ilustra además, la relación entre la mineralización y el incremento del espesor del Pucará debido a la profundización del Grupo Mitu.

Además se presenta la cartografía geológica ("mapeo") a escala 1:500 del único afloramiento de San Gregorio (Cerro Gualquepaqui), que ocupa una superficie de más de 2 hectáreas situado a 500 m. al sur de Bohorquez (Ver láminas 3.1, 3.7.a y 3.7.b), este área representa el límite este de la mineralización conocida.

3.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

Los sondajes han interceptado materiales del Pérmico al Terciario (Ver lámina 3.2), que incluyen el Grupo Mitu, el Grupo Pucará y sedimentos Terciarios, según:

3.1.1 GRUPO MITU

La parte del Grupo Mitu interceptado por los sondajes son capas rojas que corresponderían al miembro arenoso, a veces presenta una granulometría muy fina, es común una decoloración a gris muy clara. Presenta comúnmente estratificación. Una aproximación visual a la composición mineralógica es la siguiente (muestras PBR34 y PBR43):

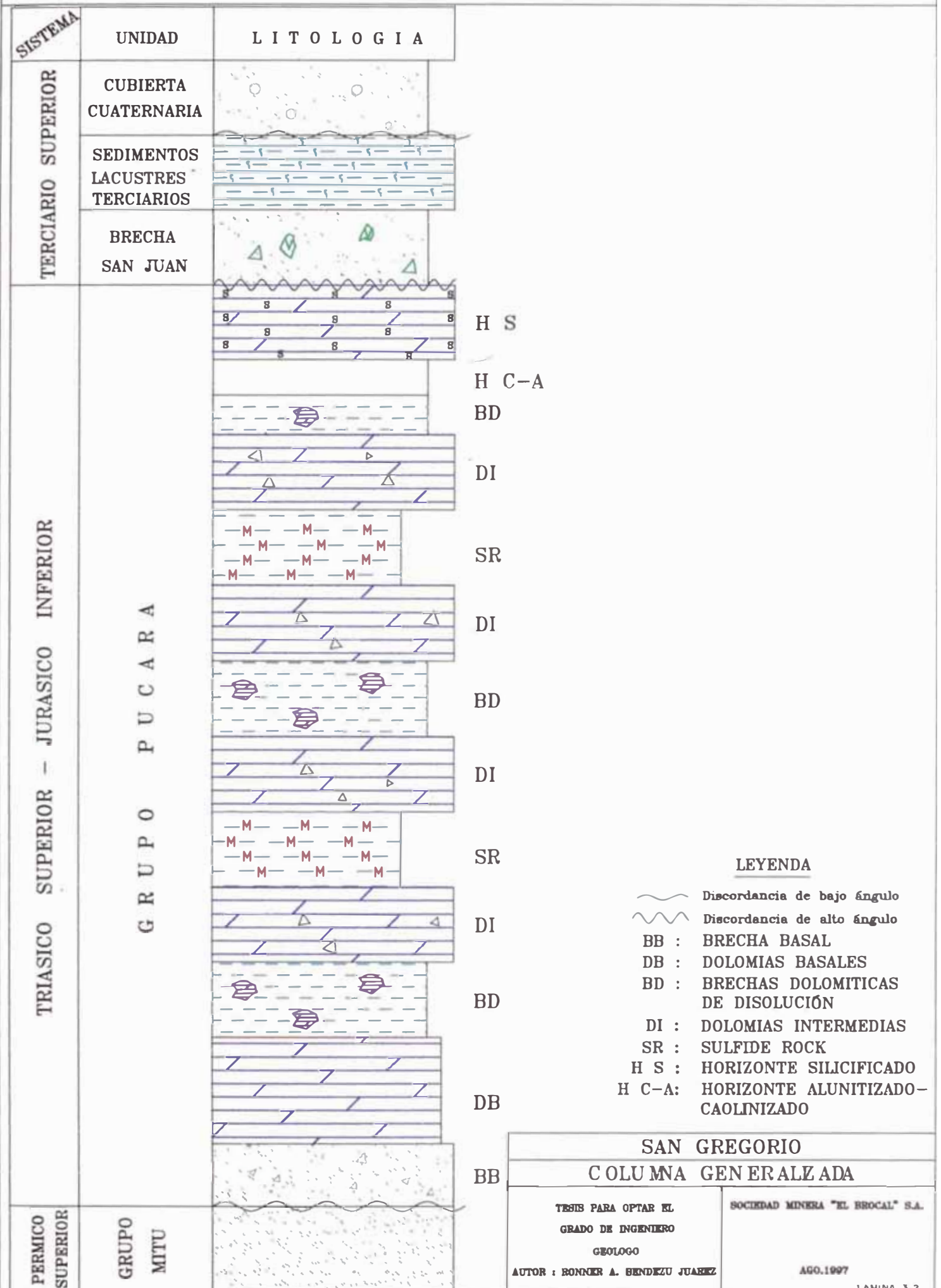
Fragmentos de cuarzo :	70 %
Fragmentos líticos volcánicos :	20 %
Feldespatos :	5 %
Anfiboles, piroxenos y pirita :	5 %

La composición muestra coherencia con los valores de FRX (Ver apéndice, Tabla 2a) que manifiestan su obvio gran componente detrítico, con $\text{SiO}_2 > 67\%$ en peso y $\text{Al}_2\text{O}_3 > 11\%$, lo mismo que el considerable contenido de fragmentos volcánicos que le confieren altos valores de TiO_2 (5700-6400 ppm) y K_2O (1,08- 2,04 % en peso).

3.1.2 GRUPO PUCARÁ

Ha sido establecido apoyado básicamente en evidencias paleontológicas halladas en los sondajes 41G, GN1-260, GN2-260 y GN3-244, y podemos dividirla en Brecha Basal,

COLUMNA LITOSTRATIGRAFICA GENERALIZADA DE SAN GREGORIO



Dolomías Basales y en tres tipos de roca que corresponden esencialmente a diferentes grados de alteración y mineralización.

3.1.2.1 Brecha Basal

La Brecha Basal es una unidad gris clara verdusca de naturaleza también detrítica, se halla siempre sobre el tope del Grupo Mitu. Presenta gradación en el tamaño de grano de la matriz a partir del tope del Grupo Mitu y una aparición también gradual de clastos metamórficos subangulosos a subredondeados de filitas, cuarcitas y cuarzo lechoso de mala clasificación granulométrica (generalmente entre 2 y 30 mm.) .

El espesor de esta unidad no es constante, habiéndose medido potencias generalmente entre 2 y 8 m.

Los análisis de elementos traza por fluorescencia de rayos X de elementos traza (muestras PBR33 y PBR42, tabla 2b) indican que esta unidad ya presenta valores anómalos de zinc y plomo (119-258 ppm y 97-148 ppm respectivamente). Numerosos análisis por absorción atómica realizados internamente por la empresa indican lo mismo.

Los resultados de fluorescencia de rayos X (muestras PBR 33 y PBR42, tabla 2a) señalan también similitud composicional con el Grupo Mitu con típicos enriquecimientos en rocas detríticas de SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 y K_2O .

Ocasionalmente la matriz presenta un componente calcáreo evidenciado por una débil reacción al ácido clorhídrico.

3.1.2.2 Dolomías Basales

El piso del Grupo Pucará, es la unidad que presenta las mayores características de inalterabilidad y esta constituido por dolomías masivas mudstone gris a gris parduscas con pátinas de pirolusita y limonita. Es común observar una estratificación muy definida,

a través de finas laminaciones bituminosas y manteniendo siempre un aparente paralelismo con el Grupo Mitu.

Es común la presencia de estilolitos paralelos a la estratificación acompañados de una intensa recrystalización, parecidos a los que se observan en los afloramientos del Pucará en Lachipana, también existen estilolitos sub perpendiculares, que se explicarían probablemente como resultado de los efectos compresivos de la tectónica Aymara y/o Quechua.

Análisis por fluorescencia de rayos X (muestras PBR31 y PBR32, tabla 3.1), indican una fuerte dolomitización con contenidos de CaO entre 24 % y 27 % en peso y MgO entre 16 % y 19 %, así como valores típicos para rocas calcáreas de SiO₂ (entre 2,7 y 3,5 % en peso) y Al₂O₃ (entre 0,7 y 0,8 % en peso).

Los análisis de elementos traza evidencian al igual que en la Brecha Basal, anomalías en zinc (hasta 588 ppm) y en plomo (hasta 100 ppm), el contenido de azufre es anormalmente alto (entre 2,26 % y 2,24 % en peso), explicado quizás por la presencia de microdiseminaciones de pirita como los observados en esta unidad en el sondaje 41G en un ensamble pirita-sericita-caolinita?

Tabla 3.1.1 Tabla resumen de análisis típicos por FRX para muestras que corresponden a las Dolomías Basales.

Muestra	Sondaje	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Zn (ppm)	Pb (ppm)
PBR31	22G	3,58	0,77	0,97	16,81	24,31	538	100
PBR32	22G	2,74	0,82	1,62	19,07	27,53	173	67
PBR41	34F	3,93	0,67	0,59	16,91	4,29	493	296

3.1.2.3 Brechas dolomíticas de disolución

Normalmente se presentan tres horizontes de Brechas dolomíticas de disolución. Esta constituida por clastos dolomíticos en matriz arcillosa, comúnmente margosa. Los

clastos son calcáreos polimícticos en el sentido de que hay clastos con dolomías de gris claro y oscuro, a veces pardusco. También se han observado brechas monomícticas. Siempre en presentación caótica, los clastos son de geometría subangulosa a angulosa, más raramente subredondeados con dimensiones entre 3 y 20 mm. muchas veces menores, a manera de microbrechas y ocasionalmente conformando bandeamientos; se ha observado que casi siempre presentan recristalización, además de una película oscura de recubrimiento; no es rara la presencia de pirita en finas disseminaciones. Aunque no siempre, es común hallar horizontes arcílicos muy delgados hacia la base de estas unidades, algunos sondajes (e.g., 20G) atestiguan una disminución en el desplazamiento y rotación de los clastos hacia las proximidades de la unidad superior. Las correlaciones indican variabilidad en su espesor habiéndose medido potencias generalmente entre 10 y 40 m.. Las características descritas indicarían un probable origen kárstico generadas por disolución a partir de percolación de aguas meteóricas o relacionadas quizás a los fluidos hidrotermales (queda por evaluar).

En el sector occidental (e.g., sondajes GNI-260,GN2-260) se presenta una matriz muy rojiza pero con la misma presentación de clastos.

Los elevados contenidos en SiO_2 , Al_2O_3 y K_2O (hasta mayores a 33 %, 8 % y 4 % respectivamente, muestras PBR 29 y PBR30) concuerdan con la composición alta en minerales arcillosos de la matriz, las concentraciones de elementos traza siguen mostrando anomalías aunque no muy significativas (menores a 300 y 90 ppm en zinc y plomo respectivamente). Las concentraciones de azufre también son altas (hasta 5,2 % en peso).

3.1.2.4 "Sulfide Rock" (Roca Sulfurada)

Se conoce en la mina como "sulfide rock" (Owens, 1996), una roca con altos contenidos de sulfuros, los testigos en san Gregorio muestran una roca que generalmente contiene bandas oscuras y claras y que tiene una textura deleznable y porosa

habitualmente en disposiciones bandeadas, ondulantes, muchas veces entremezcladas o en texturas brechadas en una variación y alternancia de grises claros y oscuros.

Los niveles oscuros son quienes le confieren su nombre a este tipo de roca, y los componen además de las menas esfalerita y galena, una cantidad importante de pirita así como cuarzo y alunita. Los sulfuros la mayoría de las veces son extremadamente finos y en general sólo la pirita puede visualizarse macroscópicamente.

Las bandas claras que también constituyen la "sulfide rock", muchas veces llegan a formar niveles masivos blancos, frágiles y de fractura concoidal. Los diagramas de difracción de rayos X de muestras que corresponden a la "sulfide rock" señalan que los niveles claros estarían constituidos principalmente por cuarzo - alunita (muestras PBR7, PBR8 y PBR9).

Debe indicarse, de que no se trata de una unidad sedimentaria, sino de un producto de la alteración de rocas carbonatadas preexistentes, es decir de las dolomías y calizas de Grupo Pucará, esto es posible de establecer basados en

- A niveles estratigráficos equivalentes sobre el tope del Mitu y a distancias entre sondajes de 100 m. (e.g., sondajes al sur de Gualquepaqui 29G, 9G, 14G), estas "rocas", la mayoría de las veces con más de 20 m. de espesor, y a distintos niveles, se correlaciona con Dolomías Intermedias ya sean masivas o fracturadas. Por ejemplo el sondaje 39 G, sobre la Brecha Basal, con cerca de 100 m. de espesor es una "sulfide rock", y puede correlacionarse sin problemas con intervalos de dolomías no alteradas de cualquier sondaje circundante (Ver lámina 3.5).
- Estas unidades de "sulfide rock" suele contener a manera de inclusiones, relictos de dolomías que en la mayoría de los casos cambian gradacionalmente, perdiendo dureza y reactividad al ácido clorhídrico, hasta constituir totalmente una "sulfide rock". En ocasiones es incluso hasta posible reconocer la estratificación original. El mismo tipo de gradación se observa entre esta la "sulfide rock" y las "Dolomías Intermedias".

La alteración lo habrían producido los fluidos hidrotermales que mineralizaron San Gregorio, fluidos muy ácidos si nos remitimos a la presencia de las gangas como la alunita y a veces caolinita; estos habrían producido una intensa decarbonatización hipógena de las rocas calcáreas originales resultando en una remoción casi total de los

carbonatos tal como indican los valores de FRX, a veces extremadamente bajos en CaO (e.g., 0,07 % en la muestra PBR15) y MgO (e.g., 0,01 % en PBR15) generando solamente residuos insolubles (e.g., SiO₂ con 44,49 % en PBR14 y Al₂O₃ con 25,58 % en PBR14). En el capítulo 3.2 se describe con más detalle la alteración.

Tabla 3.1.2 Tabla resumen de análisis típicos por FRX para algunas muestras que corresponden a los niveles de "sulfide rock".

Muestra	Prof. (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	% Zn	% Pb
PBR14	218,30	44,49	25,58	5,93	0,22	0,16	2,57	1,42
PBR15	236,15	20,61	7,98	11,20	0,01	0,14	47,52	3,56
PBR26	376,20	49,29	7,70	2,98	0,03	0,15	33,00	4,99
PBR27	383,40	38,23	14,49	2,47	0,08	0,32	25,25	2,82

Microscópicamente existe un cambio brusco de color entre estas unidades (gris a gris oscuro) y unidades infra o suprayacentes, este cambio se refleja en un salto composicional de Fe₂O₃ (hasta 17 % en peso en el "sulfide rock").

3.1.2.5 Dolomías Intermedias

Se consideran como "Dolomías Intermedias" los relictos de dolomías que quedan entre horizontes de "sulfide rock" y que estratigráficamente están encima de las Dolomías Basales. Características muy extendidas son sus presentaciones masivas, intensamente fracturadas, en transición a un brechamiento ("crackle breccia") y brechadas. Las dolomías masivas mudstone pueden estar finamente laminadas y estilolitizadas mientras que las dolomías brechadas se presentan con clastos generalmente angulosos en matriz también dolomítica; muchas veces las podemos encontrar gradando hacia una "crackle breccia", para finalmente hallarla solo fracturada, los clastos pueden o no presentar diseminaciones de pirita , en ocasiones en sus presentaciones incluyen cuarzo detrítico aunque mínimo.

Los análisis efectuados por FRX (e.g., PBR22) indican semejanza composicional con las Dolomías Basales pero con un enriquecimiento en SiO₂ indicando así su condición de poco alteradas respecto a sus vecinos inmediatos tanto superior como inferior.

Tabla 3.1.3 Tabla resumen de análisis típicos por FRX para muestras que corresponden a las Dolomías Intermedias.

Muestra	Prof. (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Zn (ppm)	Pb (ppm)
PBR18	290,45	11,53	2,77	1,78	11,4	27,64	366	71
PBR21	310,85	33,15	0,83	1,39	13,66	19,78	3864	1513
PBR22	324,65	1,14	0,54	1,16	16,2	23,65	2953	37

En uno de estos intervalos en el sondaje 41 G (F4 en láminas 3.6) se localizó a la especie fósil *Lucina Goliat* GOTTSCHE de edad Triásica (Pardo, 1997). Fueron hallados además en el equivalente de estos intervalos carbonatados hacia el sector occidental, (Sección transversal 263, lámina 3.3) los siguientes fósiles:

- F1 (ver lámina 3.3) Sondaje diamantino GN1-260 a 161,85 m.: *Rhynchonella* c. f. *tetraedra* SOWERBY del Liásico (Pardo, 1997).
- F2 (ver lámina 3.6) Sondaje diamantino GN2-260 a 141,80 m. y 143,00 m. Radiolos de *Cidarideos* *Cidaris* sp. Asignadas al Noriano y Liásico (Pardo, 1997).
- Sondaje diamantino GN3-244 a 172,70 m. : *Pentacrinus* cf. *jurensis* QUENSTEDT, que datan la secuencia como Liásico (Pardo, 1997).

3.1.2.6 Horizontes silicificado y alunitizado-caolinizado

La parte superior del Pucará, inmediatamente debajo de una discordancia erosiva y angular (Ver láminas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6) esta afectada en la mayoría de los sondajes

estudiados por una intensa alteración hidrotermal con desarrollo de horizontes semiplanares de silicificación y alunitización-caolinización que se describen y discuten en el capítulo 3.2.

3.1.3 BRECHA SAN JUAN

Se denomina Brecha San Juan a la unidad suprayacente a la secuencia del Grupo Pucará, mediante una discordancia erosional (ver secciones. Láminas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6). Las potencias interceptadas pueden alcanzar los 50 m. aunque algunas veces puede no estar presente. La conforman fragmentos angulosos esencialmente volcánicos, en la mayoría de los casos oxidados en extremo, características que indican y corresponden a los volcánicos Marcapunta (fragmentos alunitizados, de "vuggy silica" o algunas lavas ricas en vidrio volcánico y cuarzo). Son también comunes fragmentos de calizas y/o dolomías silicificadas provenientes del tope de la secuencia Pucará. La matriz al igual que los fragmentos la conforman elementos de pobre clasificación granulométrica, en dimensiones desde limos a arenas gruesas, conformada por la misma composición de los clastos; algunos sondaje solo manifiestan la matriz, pero siempre fuertemente oxidada como verifican los valores altos de Fe_2O_3 y MnO (sobre 21,00 % 28,00 % en peso respectivamente). Los valores anómalos de zinc y plomo lo aportan tanto la matriz como los clastos (Ver apéndice, Tabla 5), es decir provienen de partes ricas de la secuencia descubiertas por la erosión, enriquecidas secundariamente. Esta interpretación es apoyada por los numerosos fragmentos de dolomías silicificadas frescas que conforman la brecha.

3.1.4 SEDIMENTOS LACUSTRES

Sedimentos lacustre de probable edad Cenozoica, se localizan en conjunto con la Brecha San Juan a manera de recubrimientos y/o rellenos sobre la discordancia erosiva los cuales no fueron afectados por la tectónica Quechua (Ver láminas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6).

Conforman estos sedimentos toda una gradación entre arcillas y limos, generalmente de pardo a rojizos, con menos frecuencia gris claros, oscuros y verduscos, no es raro un componente margoso ni detrítico en esta unidad. Una característica muy extendida es la presencia de restos de raíces vegetales. El sector occidental de San Gregorio (p.e., GN4-308) presenta considerables espesores de sedimentos arcilíticos extremadamente bituminosos.

3.1.5 CUBIERTA CUATERNARIA

Su constitución hasta en más de 100 m. de espesor es una combinación de depósitos fluviales, aluviales, coluviales y glaciares, a través de cantos rodados, gravas, guijarros, arenas y limos de variadas litologías como intrusivas, calcáreas y volcánicas.

3.2 ALTERACIONES

La mineralización ha generado hipógenamente, alteraciones muy fuertes, a tal punto que algunas de ellas no han dejado en absoluto, evidencias de las rocas carbonatadas originales.

Para su determinación, han sido útiles, las correlaciones en las distintas secciones y necesarios, los análisis por difracción y fluorescencia de rayos X complementados por microscopía de luz transmitida. Se han definido los siguientes tipos de alteración:

- Dolomitización
- Decarbonatización
- Silicificación
- Alunitización -Caolinización

Además de :

Brechas de disolución y cavidades de lixiviación.

3.2.1 DOLOMITIZACIÓN

La dolomitización afecta casi al total de la secuencia, su presencia se atestigua en las Dolomías Intermedias y Dolomías Basales. A nivel regional la base del Pucará esta frecuentemente dolomitizada (Rosas, 1995) por lo que es posible que una parte de la dolomitización sea de origen diagenético. Sin embargo la presente investigación indica que lo esencial de la dolomitización en San Gregorio es una alteración hidrotermal. Esto esta apoyado por la distribución e intensidad de la dolomitización. El efecto máximo de la dolomitización corresponde a la zona mineralizada, mientras que hacia los límites occidentales de la mineralización, los relictos de calizas van tornándose más insistentes (Ver lámina 3.3). Así los sondajes diamantinos GN1-260 y GN2-260 que son los mas occidentales revelan calizas sólo levemente dolomitizadas y muy pobremente mineralizadas. Otra evidencia es que los relictos de fragmentos carbonatados dentro del "sulfide rock" están totalmente dolomitizados. Estas relaciones permitirían atribuirle a la dolomitización un origen predominantemente hidrotermal.

3.2.2 DECARBONATIZACIÓN

La intensidad máxima de decarbonatización, se reconoce en los horizontes de "sulfide rock" presentes en todo lo ancho del paquete sedimentario y como fuera tratado en el capítulo anterior , directamente asociadas a la mineralización aunque no siempre económica. La extrema decalcificación y dedolomitización habria sido provocado por soluciones hidrotermales muy ácidas que removieron la casi totalidad de carbonatos acumulando solamente residuos insolubles.

La decarbonatización también puede observarse en forma gradual disminuyendo su intensidad desde una unidad de "sulfide rock" hacia una unidad de dolomías intermedias, manifestado macroscópicamente con un incremento en la dureza y consistencia menos arcillosa y más compacta. También son comunes en todos los intervalos de Dolomías Intermedias la presencia de delgados tramos de "sulfide rock".

3.2.3 SILICIFICACIÓN

Prácticamente en la totalidad del área mineralizada, se reconoce una zona de silicificación de potencias generalmente de entre 10 y 50 m. situada hacia el tope del Grupo Pucará. Su posición inmediatamente debajo de la discordancia de erosión y su geometría semiplanar sobreimpuesta y "discordante" a la estratificación del Pucará indican que la silificación tuvo lugar cuando este estaba ya plegado y erosionado (Ver láminas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6). Rasgos de las dolomías originales, como las texturas masivas micríticas, relictos de cuarzo detrítico como son comunes en el Pucará Occidental del Cerro Lachipana, y la estratificación, aun son visibles en algunos puntos. El respaldo más consistente de que se trata de silificación del Pucará, es la presencia de numerosos moldes de *Monotis Subcircularis*, totalmente silicificados reportados por Boit en 1940 (Boit, 1949) en el afloramiento del Cerro Gualquepaqui (ver figura 3.5, 3.7a y 3.7b).

Las características de la silicificación corresponden a un reemplazamiento masivo jaseroide que consiste en sílice rojiza con contenidos variables de óxidos y/o sulfuros de fierro, cuyas texturas más comunes son las de brechamiento muy incipiente ("crackle breccia"). En otros casos como ocurre en los afloramientos del Cerro Gualquepaqui, las estructuras brechadas se hacen más notables, tal que las fracturas del "crackle breccia" se habrían extendido espacialmente hasta constituir una aparente matriz, pero mucho más porosa (sílice blanca pardusca). Las mejores observaciones son hechas directamente

en el Cerro Gualquepaqui, y se mencionaron en la descripción de las unidades mapeadas.

La mayor intensidad (por espesor, grado de reemplazamiento y/o destrucción de la textura calcárea original) converge hacia las proximidades del Cerro Gualquepaqui (Ver láminas 3.8 y 3.5).

El sondaje diamantino 34F, seleccionado para análisis, magnifica la silicificación con mas de 80m. continuos (Ver lámina 3.5), en los que los resultados de fluorescencia de rayos X , confirman la naturaleza jasperoide y masiva de la silicificación, así las muestras PBR 35 y PBR 36 presentan 97,6 y 81,44 % de SiO₂. Además de 12,33 y 10,83 % de F₂O₃ respectivamente que traducidos según DRX corresponden a goethita y pirita, análisis de elementos traza de las mismas revelan algunos valores significativos de Ba y Pb que en las muestras PBR 35 y PBR 36 guardan congruencia con la presencia de baritina y galena, también según DRX.

Existe una silicificación no jasperoide propagada hacia las dolomías intermedias sin la característica textura brechada, y con aparentes menores contenidos de óxidos, pero con la peculiaridad de presentar mayores valores en Zn, Pb e incluso Ag. (Ver apéndice, Tabla 2b, muestras PBR9 y PBR10).

Tabla 3.2.1 Tabla resumen de análisis típicos por FRX para muestras que corresponden al Horizonte silicificado.

Muestra	Prof. (m.)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
PBR35	27,45	79,59	1,99	12,33	0,06	0,18
PBR36	63,90	81,44	1,36	10,83	0,05	0,13

3.2.4 ALUNITIZACIÓN - CAOLINIZACIÓN

Siempre infrayaciendo a las dolomías silicificadas y con la misma posición y geometría, se observa en la mayoría de los sondajes de la zona de máxima mineralización (Ver lámina 3.11) una forma semiplanar y de potencias generalmente entre 10 y 40m. caracterizada macroscópicamente por una textura normalmente deleznable, que según los análisis por DRX y microscopía se ha comprobado está constituida principalmente por cuarzo, alunita y caolinita. El color es blanco a blanco grisáceo teñido en muchos casos a rojizo por cantidades variables de óxidos. Muy ocasionalmente la textura es algo sacaroidea lo que nos permite observar indicios de alunita. No existen rasgos de las dolomías originales, sin embargo un *Monotis subcircularis* hallado en esta unidad, (Panéz, 1995) permite atribuirle tal origen.

De los resultados de DRX (ver diagramas PBR 3, PBR 4, PBR 5 y 6, PBR 37) apoyados en petrografía microscópica de sus correspondientes secciones delgadas pudo determinarse el ensamble de alteración dual, alunitización-caolinización, en el sondaje 22G, a diferencia de los mostrados por otros sondajes, la alunitización-caolinización afectado a una unidad litológica originalmente detrítica, en apariencia una arenisca. De la sección delgada de la muestra PBR5 podemos observar una textura granoclástica constituida por fragmentos de cuarzo subredondeados con cemento fuertemente alunitizado y argilizado (caolinita según DRX) la alunita se presenta en finos cristales lamelares de apariencia plumosa, parcialmente conformando una textura fluidal, mientras que la caolinita rellena los espacios libres entre cristales de alunita (Ver apéndice, Descripción de secciones delgadas y pulidas). Un ensamble similar fue descrito por Sáez (1997) quien también reporta un segundo componente de cuarzo que por su presentación en finos cristales en mosaico, podría ser hidrotermal, esta unidad detrítica a profundidad más bien conforma una "sulfide rock", con la misma presentación de cuarzo detrítico inalterado.

Los análisis por FRX muestran hasta 3,82 % en K_2O (PBR 5) lo que se explica por la presencia de alunita. Los contenidos de Zn y Pb (XRF, análisis traza) son mayores que en la unidad silicificada, con valores de hasta 0,99% de zinc y 0,63% Pb en la muestra

PBR 4. La intensidad de la alunitización como la silicificación decrece con un mayor alejamiento del entorno occidental del Cerro Gualquepaqui (Ver lámina 3.9).

Tabla 3.2.2 Tabla resumen de análisis típicos por FRX para muestras que corresponden al Horizonte alunitizado-caolinizado.

Muestra	Prof. (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
PBR4	139,30	61,78	8,41	13,57	0,02	0,15
PBR5	146,00	43,04	17,46	6,34	0	0,31
PBR6	151,30	54,11	14,12	5,89	0	0,02

El contacto entre la zona de alunitización-caolinización y la de silicificación, en la mayoría de las veces es gradual, así, en menos de un metro puede pasarse de una roca totalmente silicificada a una roca silicificada muy porosa algo deleznable, y finalmente a la zona de alunitización-caolinización.

Cavidades de lixiviación

Dentro de las zonas de silicificación y con una distribución generalizada pero puntual, se observan cavidades de disolución. De composición silícea asemejan estructuras cavernosas, las oquedades no exceden al centímetro de envergadura y son de bordes irregulares y de formas alargadas (e.g., 20G, 293,00 m)

Brechas dolomíticas de disolución

Estos intervalos persisten en toda el área mineralizada y fueron tratadas en más detalle en el capítulo de Unidades de San Gregorio.

3.3 MINERALIZACIÓN

Buena parte de la secuencia del Pucará en San Gregorio, está mineralizada en mayor o menor grado. Tal como se observa en las láminas 3.3, 3.3, 3.5 y .3.6, las leyes más altas están en los intervalos de "sulfide rock", aunque también las Dolomías Intermedias presentan leyes considerables esto se debe en parte a que intercalan insistentes delgados niveles de "sulfide rock".

No es posible una caracterización sólo visual de la mineralogía, ya que el grueso de esta, se presenta en sulfuros de tamaño de grano extremadamente pequeño ($< 50\mu$, incluso 1 a 2 μ), diseminados en una roca porosa y deleznable. Incluso en muestras fuertemente mineralizadas es difícil reconocer la galena y especialmente la esfalerita al ojo desnudo (e.g., PBR27 con Zn $> 25\%$ y Pb $> 2,8\%$ en peso).

Bajo el microscopio y muchas veces a escala macroscópica pueden observarse algunas estructuras:

- Típicas disposiciones bandeadas, entre películas gris claras y gris oscuras (mayor contenido de sulfuros).
- Menos comunes son los hábitos coliformes, que muchas veces se hallan entremezclados y removidos, dando una apariencia caótica, con combinaciones también de fases oscuras y claras.

En intervalos donde la mineralización se hace visible, es una constante las diseminaciones de pirita (e.g., PBR14, PBR25 y PBR26), menos comunes son las manifestaciones de esfalerita-galena en agregados masivos (p.e., PBR16) donde la esfalerita es una blenda muy rubia, al igual que en otras presentaciones puntuales en finas diseminaciones euhedrales (p.e., Sondaje 15G; 202,50m.) en tetraedros truncados por cubos y octaedros.

La descripción (no exhaustiva) que sigue se ha hecho según la ocurrencia de los metales más característicos:

3.3.1 Zn - Pb

El zinc y el plomo están presentes esencialmente por el ensamble esfalerita - galena. Los intervalos mineralizados en el "sulfide rock" (p.e., PBR 11 a PBR 17, PBR 18 a PBR 19 y PBR 23 a PBR 28) muestran una relación promedio de zinc /plomo de 8/1, si bien hay variaciones e incluso inversiones en la proporción (e.g., PBR 9, PBR 10 y PBR 11). La más típica presentación de la mineralización en la unidad de "sulfide rock", representa macroscópicamente a una roca de textura deleznable y porosa, sin indicio visual de sulfuros, salvo un color grisáceo. En sección pulida (PBR 27, con más de 25% de zinc y 2,8% de plomo) esta unidad revela una textura microgranular, conformada por esfalerita, galena, pirita y material que en sección delgada y por DRX se identifica como cuarzo y alunita. La esfalerita se presenta en dimensiones generalmente entre 30 y 100 μ , conformando granos libres en la matriz, la presentación de los granos menores se da en especial como inclusiones en galena. La galena a su vez, tiende a formar cristales euédricos cúbicos, típicos, como los reportados por Saez (1997), las dimensiones de estos suelen sobrepasar los 100 μ , alcanzando incluso el centímetro (e.g., 21G; 390 m.); en otros casos conforman cubos y octaedros truncados (e.g., 11 G; 214, 70 en Saez, 1997). Cuando la tendencia de los granos es más gruesa, la esfalerita y galena se hallan en intercrecimiento simple o en complicado estrecho intercrecimiento. La pirita, (sección pulida PBR 27) como en los intervalos arriba mencionados, suele ser subordinada, conformando la matriz en granos sueltos, generalmente $> 50 \mu$ y como muy pequeñas inclusiones en galena $< 10 \mu$. La presentación habitual del cuarzo es en granos subédricos y anédricos $> 50 \mu$, libres de inclusiones de sulfuros, llegando algunas veces a alcanzar el centímetro (Saez, 1997). Se ha observado que la alunita en la "sulfide rock" se presenta en aislados cristales lamelares o en concentraciones algo considerables de estos (Saez, 1997).

Se ha observado que en otros intervalos mineralizados, ya sea en unidades de Dolomías Intermedias, o en delgados relictos de paquetes de dolomías en los tramos de "sulfide rock", (e.g., PBR 17, PBR 19, PBR 20 y PBR 24, Ver Tabla 3.3.1) no deben su contenido metálico, no al menos el Zn, a sulfuros sino a carbonatos de Zn, Mn y Fe; así por ejemplo en la muestra PBR 24 con contenidos de 11,7 % de Zn, el zinc se encuentra bajo la forma de oligonita $\text{Fe}(\text{Mn}, \text{Zn})(\text{CO}_3)_2$ según indica difracción de rayos X. Los análisis por fluorescencia de rayos X muestran también enriquecimiento en manganeso y fierro, perfectamente coherente con la composición de la oligonita. Acompañan el ensamble, rodocrosita (a la que probablemente se deba también parte del contenido del zinc) y óxidos de manganeso (pirolusita y hausmanita ?).

Tabla 3.3.1 Resumen de los resultados de los diagramas de DRX de las muestras PBR 17, PBR 19, PBR20 y PBR24

Muestra	Prof. (m)	Unidad	% Zn	% Pb	Principales fases
PBR17	264,10	Dolomías intermedias	6,83	0,48	Rodocrosita, pirolusita
PBR19	301,70	Dolomías intermedias	7,89	0,53	Rodocrosita
PBR20	302,25	Dolomías intermedias	6,58	0,06	Oligonita, pirolusita, hausmanita
PBR24	348,55	Brechas de disolución	11,73	1,02	Oligonita, pirolusita, rodocrosita

Si bien la mayor parte de la mineralización de San Gregorio se aloja en la "sulfide rock" y en relictos de carbonatos aledaños donde los sulfuros pueden presentarse cristalizando en vetillas, también hay valores elevados de Zn y Pb en las zonas semiplanares de intensa alteración localizadas en la porción del Pucará situada debajo de la discordancia angular.

La zona de silicificación muestra valores considerables, en especial de plomo, así la muestra PBR 35 presenta hasta 0.78% de Pb y 433 ppm de Zn y la PBR 65 hasta 0.31% de Pb y 137 ppm de Zn. Los diagramas DRX indican también presencia de galena (PBR 36).

La zona infrayacente de alunitización -caolinización, presenta concentraciones algo mayores especialmente en zinc, así, la muestra PBR 37 contiene 0,33 % de Zn y 0,03 %

de Pb, la muestra PBR 4 con 0,09% de Zn y 0,63% de Pb. En sección delgada (PBR 5) los sulfuros son muy escasos, generalmente menores de 30 μ . y aparecen como finas diseminaciones en la matriz.

En las rocas situadas sobre la discordancia angular, es decir sobre la secuencia del Pucará también existen concentraciones significativas de Zn y Pb. Se interpretan estos valores no como primarios, sino como resultado de un enriquecimiento secundario:

Así en la Brecha San Juan, existen altos valores de zinc y plomo (e.g., PBR2 con 19,2% de Zn y 0,68% de Pb, ver apéndice, Tabla 2b). Análisis por absorción atómica indican que tanto los clastos como la matriz arrojan altos contenidos de zinc y plomo (hasta 0,8% de Pb y 11% de Zn, ver apéndice, Tabla 5). A sección pulida (Ver apéndice, Descripción de secciones pulidas, muestra PBR 2), se observa que más del 90 % son minerales secundarios, especialmente óxidos, reconociéndose agregados coloformes de goethita, y óxidos de difícil determinación. El análisis por difracción de rayos X de esta muestra arroja como mineral dominante hetaerolita ($ZnMn_2O_4$), mineral típico de ambientes exógenos, además de woodruffita. El hecho de encontrar comúnmente clastos de dolomías y/o calizas silicificadas, como constituyentes, indicaría erosión de zonas positivas, que habrían resultado en el descubrimiento y erosión de la unidad infrayacente previamente silicificada, alunitizada y/o caolinizada con contenidos metálicos considerables (p.e., PBR 4; con 0,99 % de Zn y 0,63 % de Pb), la erosión y la acumulación de ambas unidades, explicaría el enriquecimiento secundario del zinc.

Los contenidos de zinc y plomo de los sedimentos lacustres Terciarios tardíos post-tectónicos (e.g., PBR1 con 0,14% de Zn y 217 ppm de Pb) se explicarían también por la erosión de zonas con valores anómalos, en los que la considerable cantidad de materia orgánica presente, habrían reducido, precipitado y fijado los cationes metálicos.

3.3.2 Fe (pirita)

La pirita esta ampliamente extendida en toda la secuencia mineralizada de San Gregorio, tanto en tramos con sulfuros económicos como en tramos desprovistos de Zn y Pb. En los primeros, la pirita comúnmente se presenta en finas disseminaciones, formando parte de la matriz, en granos $>50 \mu$, y en menor proporción en granos $< 20\mu$. Otra muy común presentación de la pirita es en agregados framboidales, (Cánepa, 1992; Saez, 1997) por lo general con diámetros $< 20 \mu$. Cuando la pirita ocurre en granos mayores ($> 200 \mu$), es anhedral, porosa y por lo general se halla en estrecho intercrecimiento con la esfalerita, mientras que en la galena se encuentra como microinclusiones $< 10 \mu$.

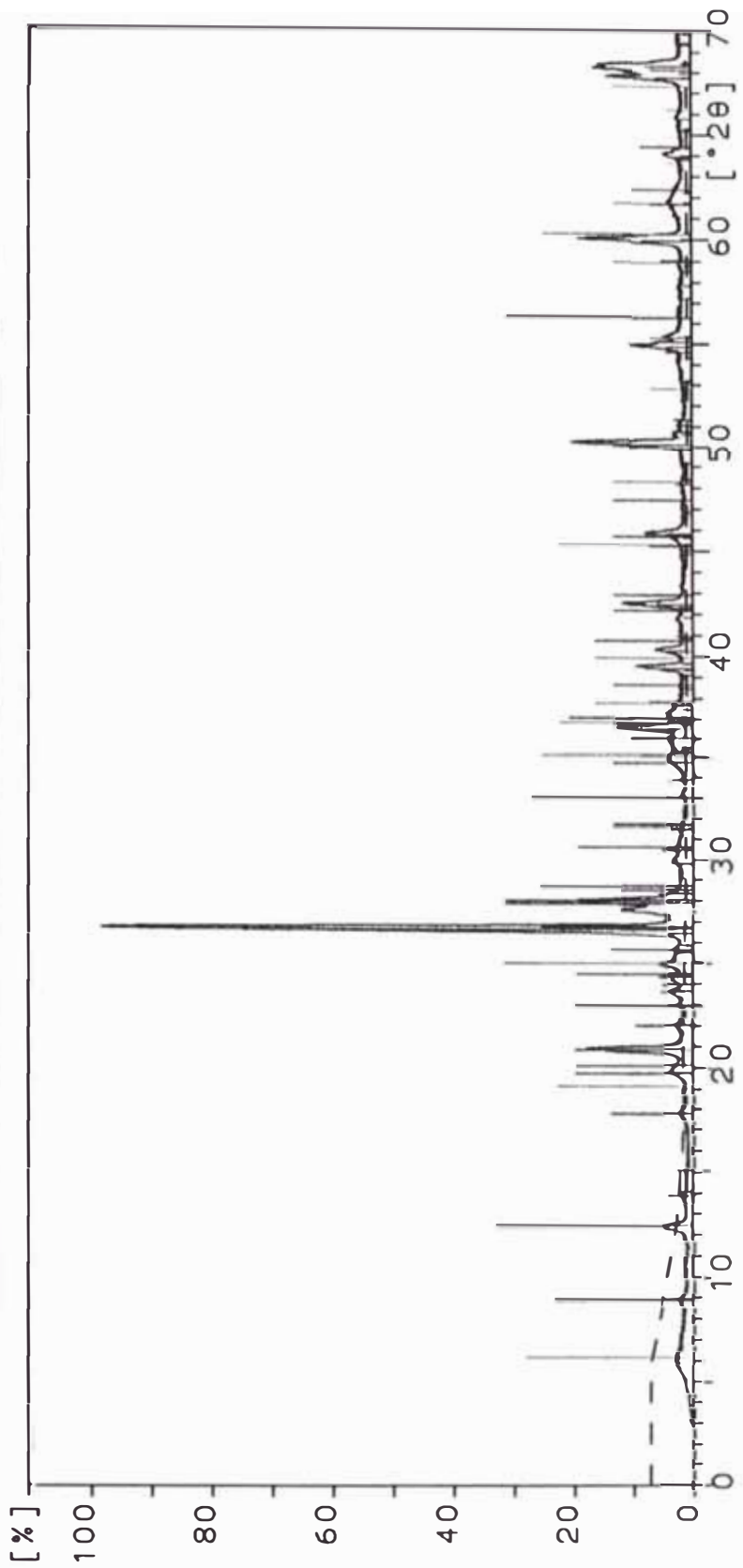
Los intervalos que representan las muestras PBR 9 y PBR 10, caracterizan la relación entre la pirita y pobres concentraciones de Zn y Pb, es decir la independencia de la pirita respecto a la presencia de sulfuros económicos. La pirita se halla incluso, en las áreas de alunitización - caolinización, como ínfimas inclusiones en cuarzo (ver apéndice, Descripción de secciones delgadas y pulidas, sección delgada PBR 5), lo que es apoyado por los diagramas de DRX (Diagramas PBR 5 y PBR 6). En las áreas silicificadas la pirita esta igualmente presente (diagrama DRX de PBR 36).

Como ya vimos, algunos valores altos de fierro no se deben exclusivamente a la presencia de sulfuros sino también a carbonatos (p.e., PBR 20).

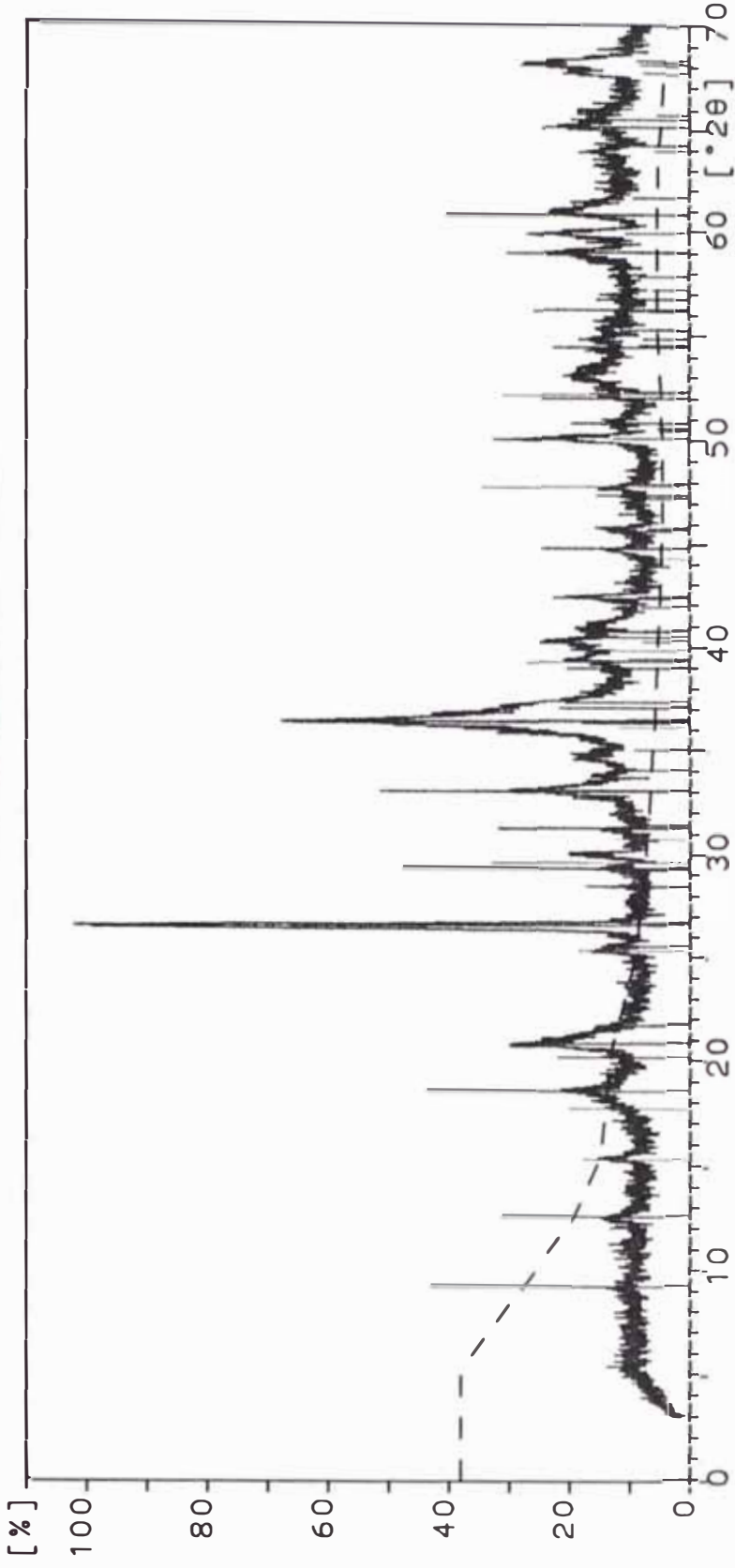
La marcasita, aunque muy subordinada, esta casi siempre presente, en especial en inclusiones muy finas en esfalerita, entre 2 a 10μ (Saez, 1997).

3.3.3 Ag

No se han identificado sulfosales de plata o de cobre en secciones pulidas, que puedan contener plata, al parecer es la galena la portadora de la Ag (PBR 7 con 56 ppm y PBR 15 con mas de 100 ppm, en relación a 0,54 % y 3,5 % de Pb respectivamente).



PBR1	Quartz,
	Albite,
	Kaolinit
	Clinochl
	Pyrite,
	Muscovit

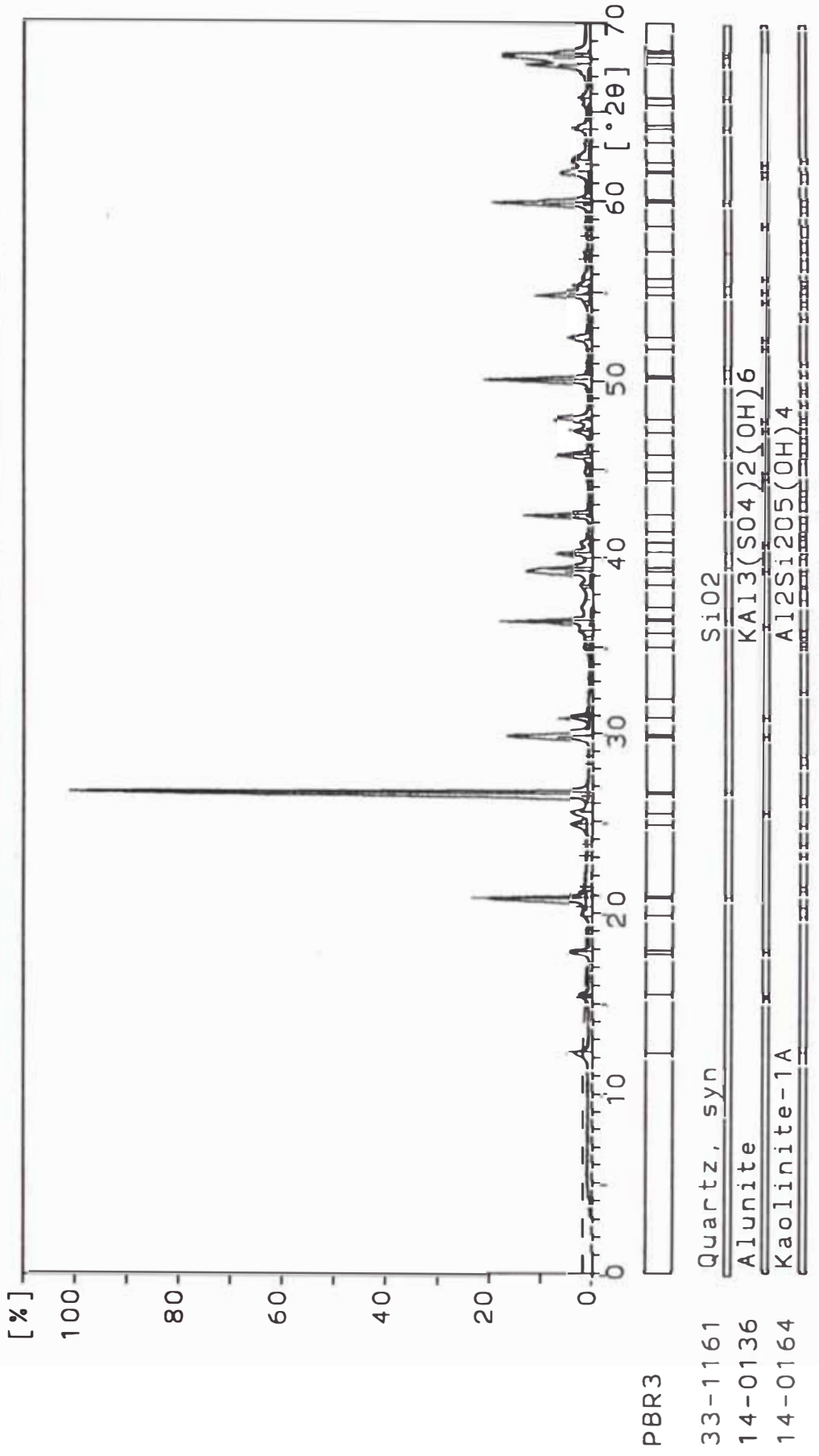


PBR2

- Quartz,
- Hetaerol
- Woodruff
- Alunite
- Pyrite

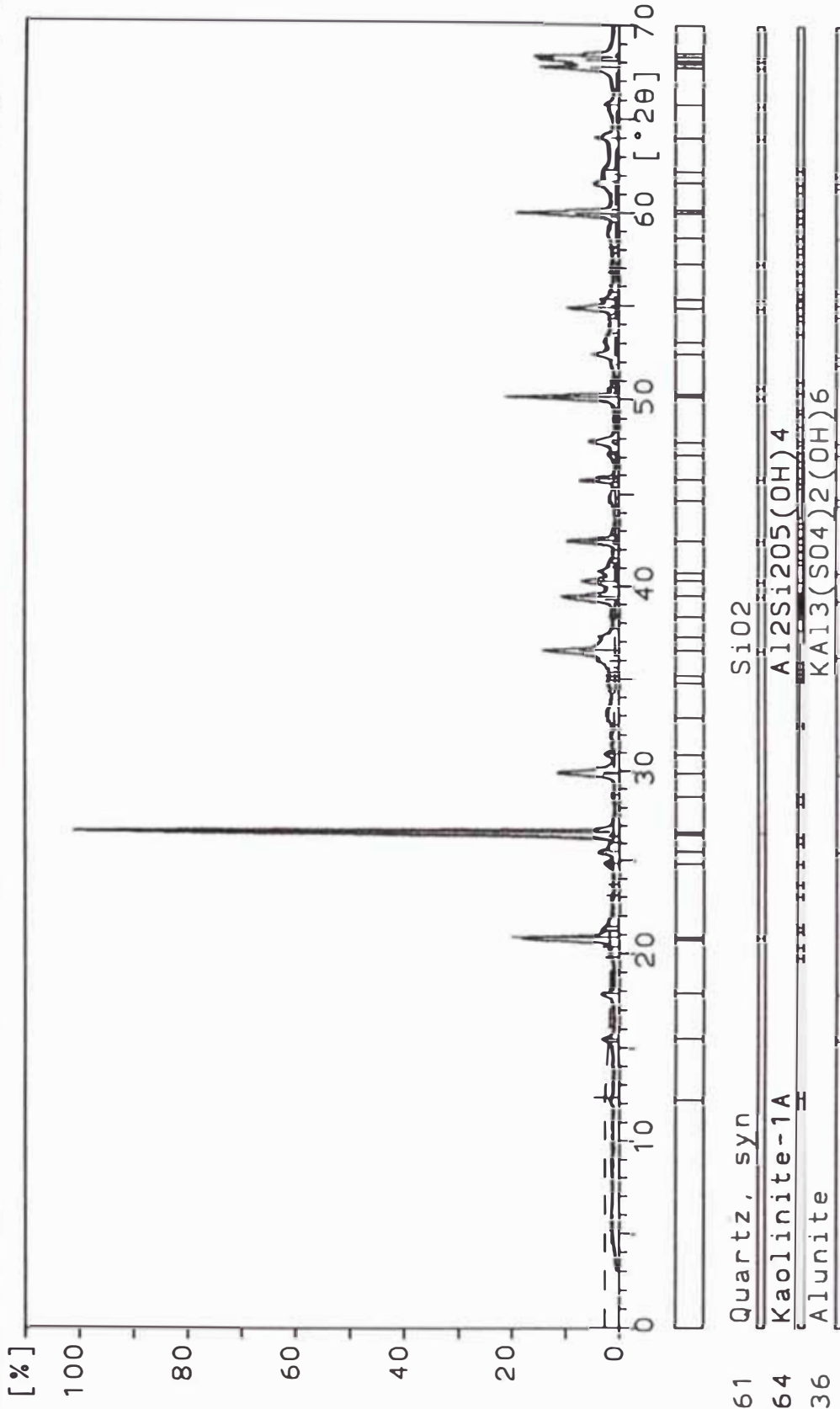
Sample ident.: PBR3

29-Jul-1997 11:28



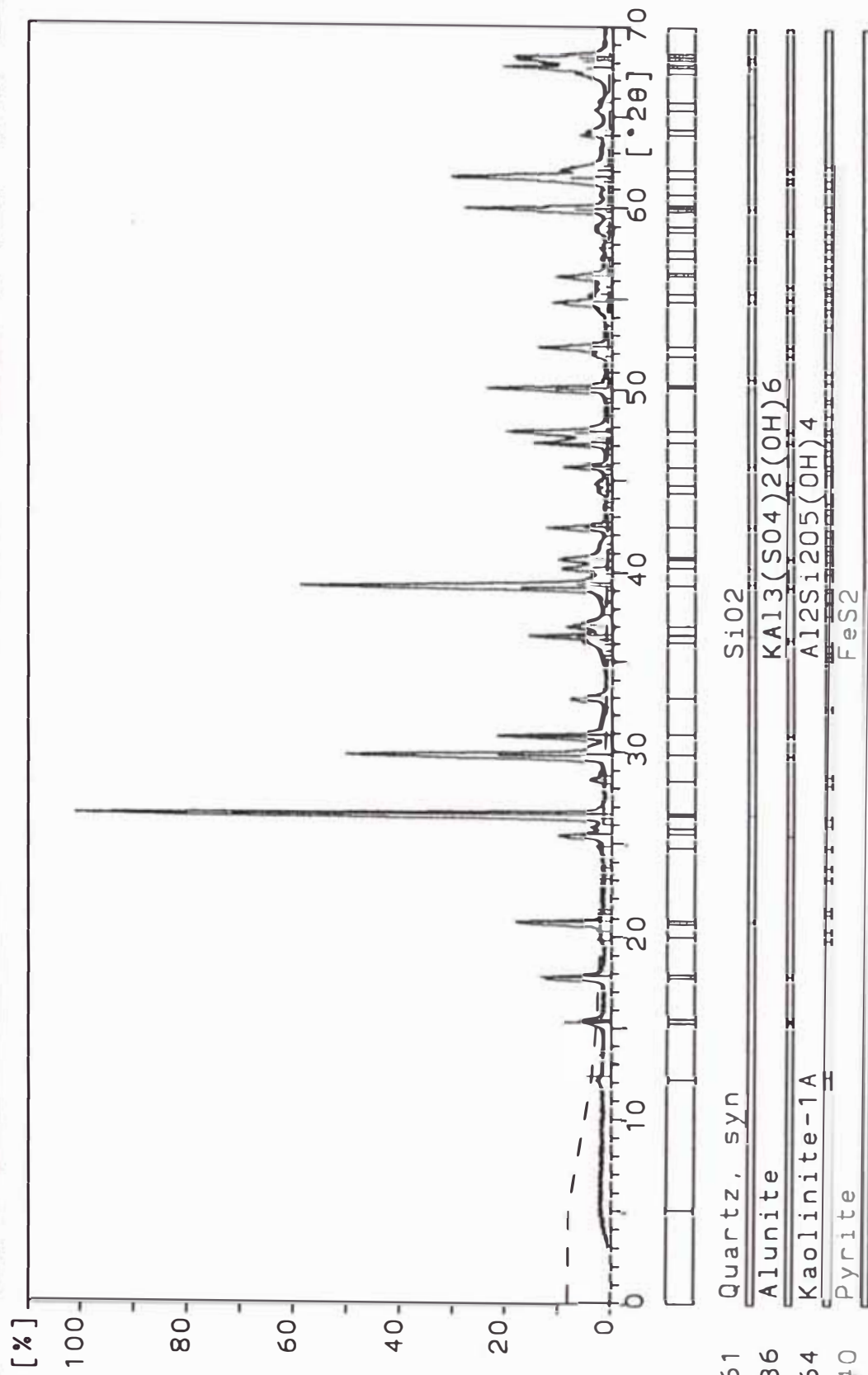
Sample ident.: PBR4

29-Jul-1997 11:39



Sample Ident.: PBR5

29-Jul-1997 11:46

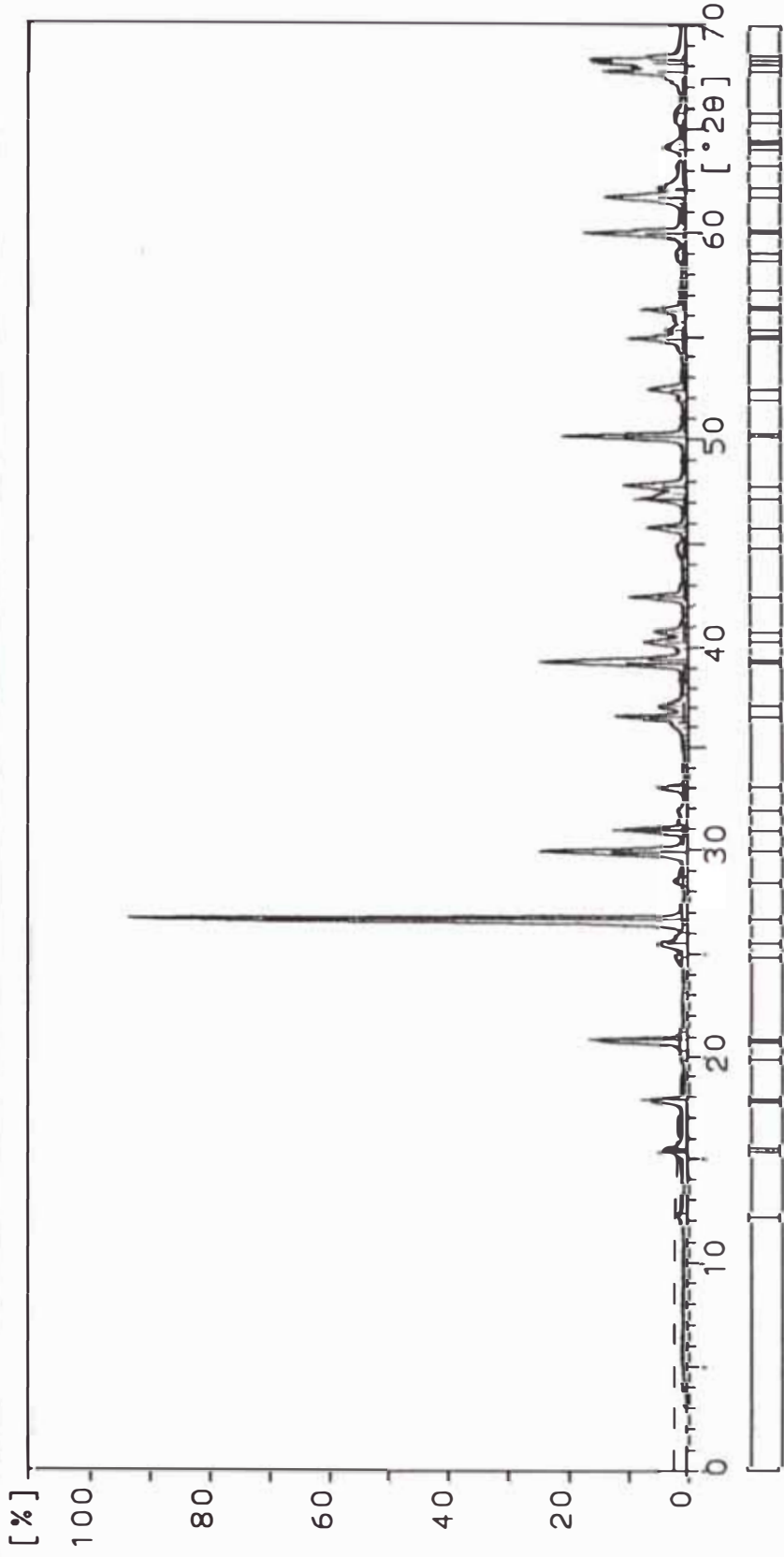


PBR5

- 33-1161 Quartz, syn
- 14-0136 Alunite
- 14-0164 Kaolinite-1A
- 42-1340 Pyrite

Sample ident.: PBR6

29-Jul-1997 11:52



PBR6

33-1161

Quartz, syn

SiO2

14-0136

Alunite

KAl3(SO4)2(OH)6

14-0164

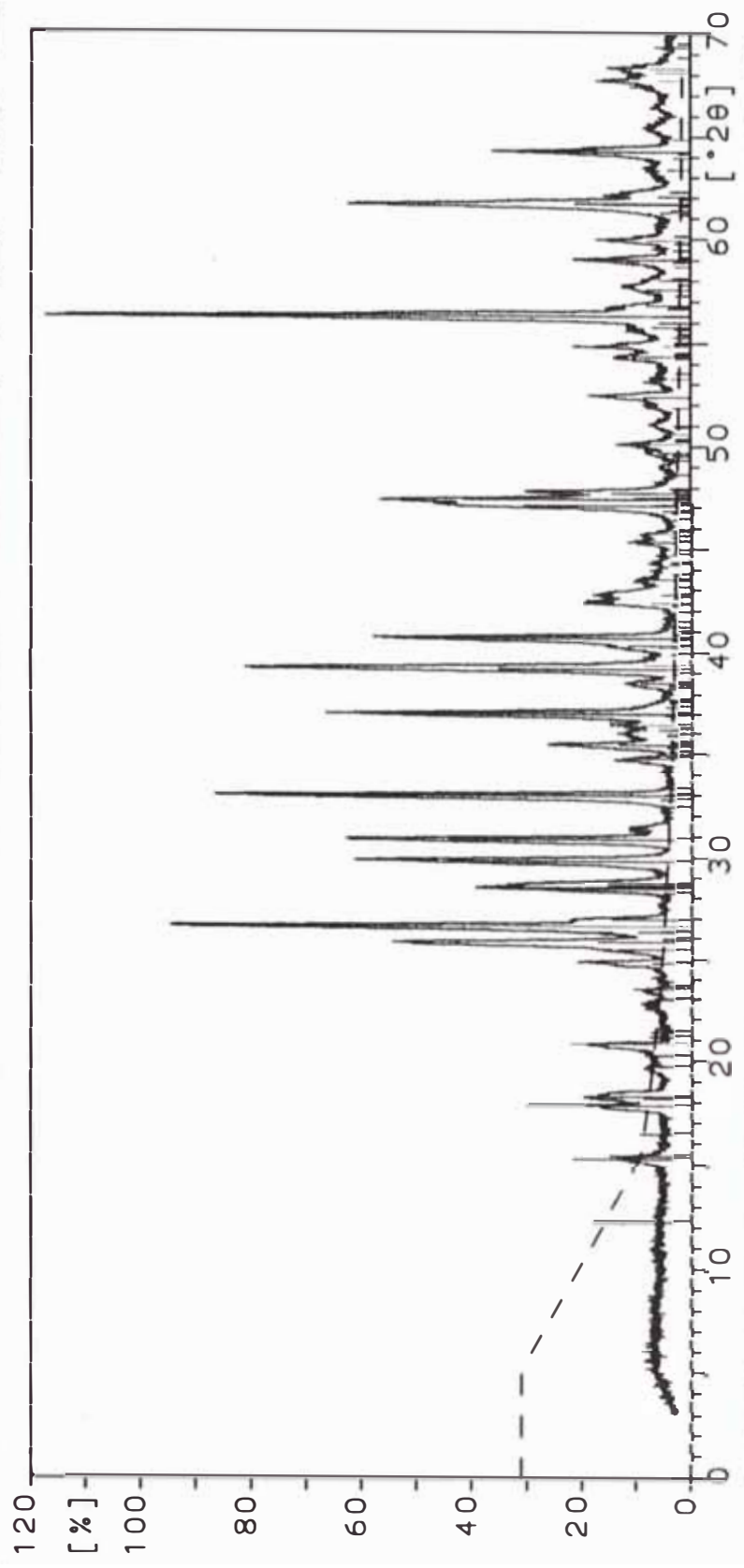
Kaolinite-1A

Al2Si2O5(OH)4

42-1340

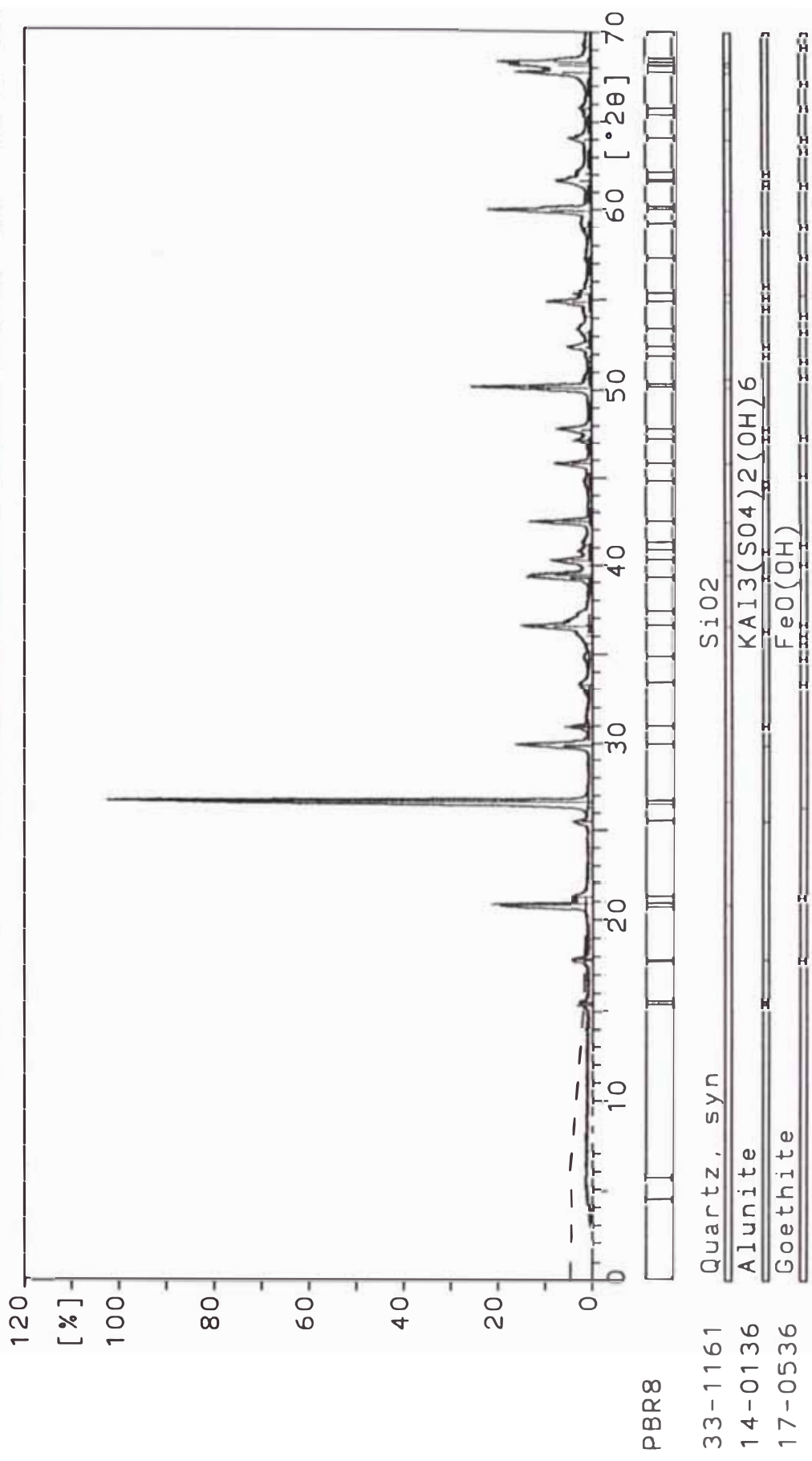
Pyrite

FeS2



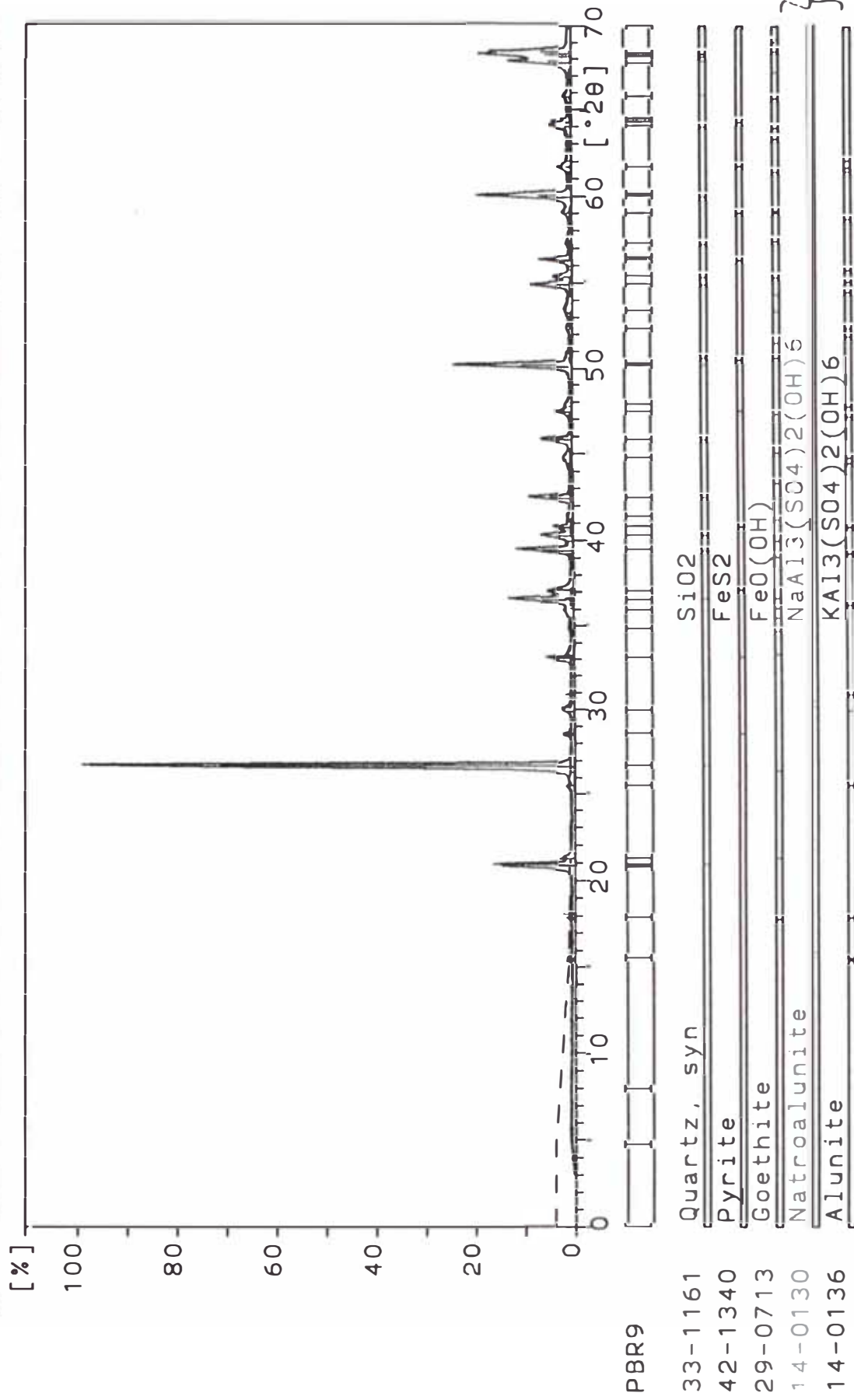
PBR 7

- 12-0226 Szomolnokite
- 14-0164 Kaolinite-1A
- 14-0136 Alunite
- 33-1161 Quartz, syn
- 26-0801 Pyrite, syn
- 44-1476 Stannite
- 05-0566 Sphalerite, syn
- FeS04!H20
- Al2Si205(OH)4
- KAl3(S04)2(OH)6
- Si02
- FeS2
- Cu2FeSnS4
- ZnS



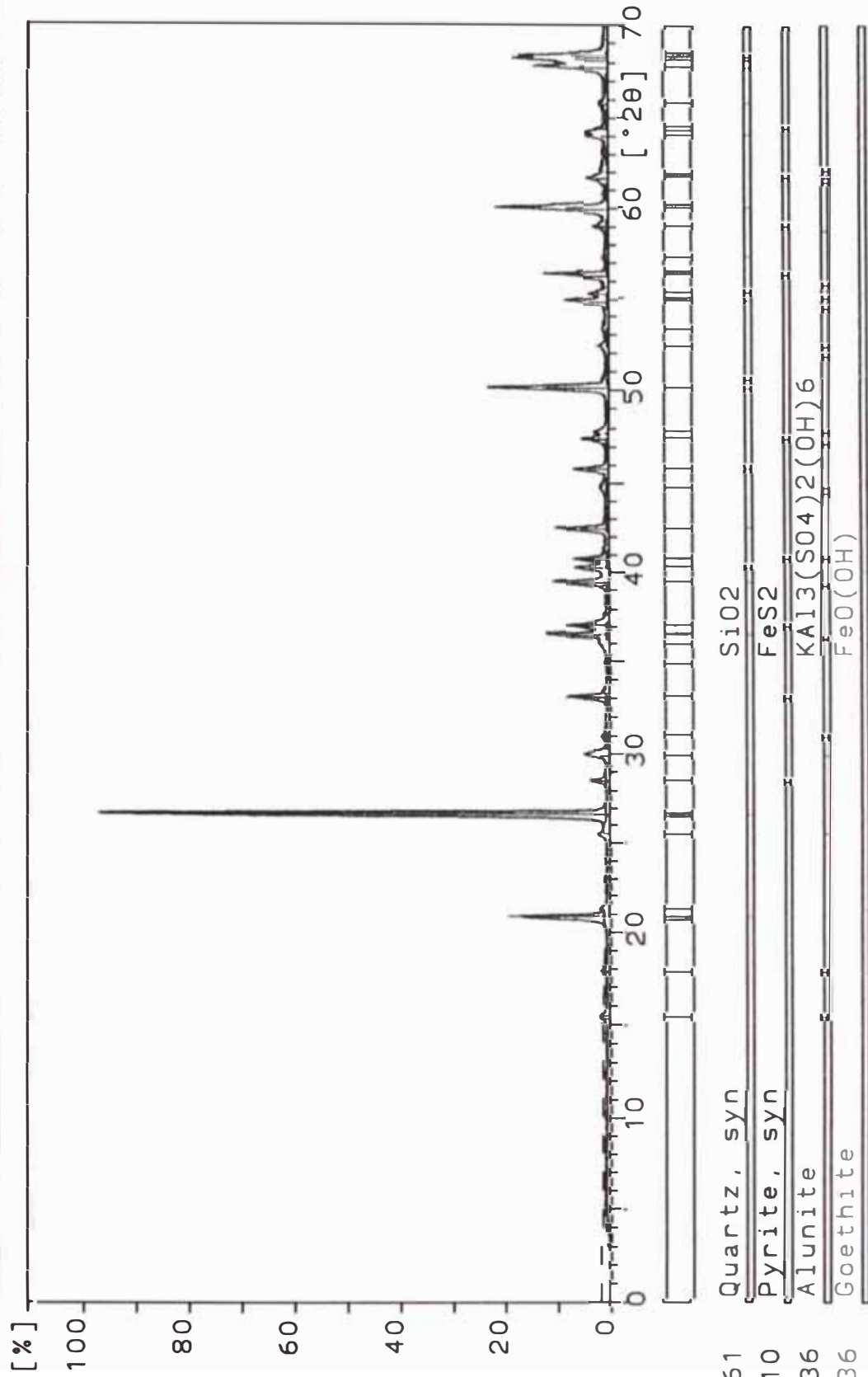
Sample_ident.: PBR9

29-Jul-1997 14:03



Sample ident.: PBR10

29-Jul-1997 14:16



Los intervalos con mayores valores de plata, son los fuertemente silicificados, como la PBR 10 con mas de 100 ppm, PBR 11 con 28 ppm, PBR 35 con 236 ppm y PBR 66 con 14 ppm, estas 2 ultimas se incluyen en la zona de silicificación jaseroide.

La zona de alteración alunitización - caolinización también tiene concentraciones apreciables de plata : PBR 3, 3,2 ppm, PBR 37, 8 ppm y PBR 67, 40 ppm.

La siguiente tabla resume los resultados de DRX de algunas muestras selectas. Además se presentan los diagramas de otras según se cita en la Tabla I del Apéndice.

Tabla 3.3.2 Resumen de los resultados de los diagramas de DRX de algunas muestras selectas

Muestra	Prof. (m)	Unidad	% Zn	% Pb	Principales fases segun DRX
PBR12	192,00	"Sulfide rock"	9,33	3,45	qz, gn, sl, alunita, py, caolinita-montmorillonita
PBR13	203,50	"Sulfide rock"	1,70	0,46	qz, sl, py, caolinita,
PBR14	218,3	"Sulfide rock"	2,57	1,43	qz, py, gn, sl, caolinita
PBR15	236,15	"Sulfide rock"	>20	3,57	qz, py, gn, sl, caolinita, alunita
PBR23	341,15	"Sulfide rock"	1,02	0,14	qz, sl, gibbsita, py, caolinita
PBR25	372,45	Brecha de disolución	6,28	0,70	qz, sl, tennantita, caolinita, py, alunita
PBR26	376,20	"Sulfide rock"	>15	4,99	qz, gn, sl, py, caolinita, alunita
PBR27	383,40	"Sulfide rock"	>15	2,82	qz, caolinita, gn, sl, py, alunita
PBR28	386,75	"Sulfide rock"	8,30	0,84	qz, py, sl, caolinita, gn

3.4 GUALQUEPAQUI

Gualquepaqui es el único afloramiento de San Gregorio, fue mapeada a escala 1 : 500. Se trata del núcleo del anticlinal de eje N - S que conforma el Pucará Occidental y corresponde la mayor parte a las unidades inferiores: Brecha Basal y Bolomías Basales (Ver lámina 3.7a).

Todo el Cerro Gualquepaqui se halla completamente alterado, estableciéndose sectores según su tipo e intensidad, (Ver lámina 3.7b), así se han distinguido varios tipos en las siguientes zonas:

A1 : Ubicado al sector occidental de Gualquepaqui, lo conforman calizas y/o dolomías totalmente silicificadas, masivas y compactas, con contenidos variables de óxidos, que le confieren una naturaleza jaseroide. Debido a que se trata de la zona de silicificación descrita en el capítulo de alteraciones, las características son idénticas a las mostradas por los sondajes, con típicas estructuras de "crackle breccia" encerrando anillos de Liesegang. Es importante recordar la presencia de moldes de *Monotis Subcircularis* (F3) del Noriano en este sector, (Boit, 1949).

A2 : Existe una transición relativamente gradual, desde el sector A1, desde una "crackle breccia", a una verdadera estructura brechada con clastos rotados. El cambio se puede apreciar a partir de las fracturas del "crackle breccia", que van desarrollándose, asimilando los "clastos" silicificados masivos, convirtiéndose en sílice de textura sacaroide muy porosa. El aspecto final y que caracteriza a este sector, es el brechado, con "clastos" normalmente centimétricos, inmersos en una "matriz" sílicea blanca pardusca a grisácea, normalmente con muy poco contenido de óxidos, y muy porosa. La relación de clastos : matriz, es de 5:1 hacia los límites con el sector A1, disminuyendo hacia el núcleo del sector a 2 : 3.

A3 : Al sur de Gualquepaqui la gradación continua, con la desaparición de los "clastos" masivos silicificados y la imposición total de la sílice sacaroide porosa, que en muchos casos conserva cavidades generalmente menores de un centímetro, sin cementación posterior, orientados según la estratificación normal del Pucará (buzando al O y S0), estas cavidades serían los moldes de los "clastos" masivos silicificados, generalmente de bordes irregulares y difusos con una tendencia a subangulosos.

En la década de los veinte a cuarenta este sector fue explotado por bismuto, donde se hallaba como impregnaciones, en concentraciones de 1 a 2% en peso, sobrepasando incluso el 4% (Johnston, 1933,1935) La geometría del cuerpo explotado es alargada de dirección Norte - Sur, tal como puede apreciarse del desarrollo del Tajo San Gregorio.

La unidad inferior de alteración alunitización - caolinización, infrayace a los 3 sectores (pero solo visible en A1 y A3), y es descubierta por las paredes del tajo, donde se observa un contacto brusco o gradual. Como la establecida por los sondajes, esta

unidad es blanca teñida en distintos grados por óxidos, algunas veces se presenta en vetas de espesor decimétrico subverticales secantes a la estratificación.

Hacia el norte (punto 1), la silicificación esta acompañada de una gran oxidación, en el mismo punto es posible reconocer la estratificación buzando hacia el Oeste.

También hacia el norte (puntos 2 y 3), se halla un brechamiento distinto al observado en el sector de tipo A2, cuyos clastos son subangulosos a subredondeados de bordes muy definidos, sin cambio gradual ni asimilación de los clastos por la matriz, en disposición irregular sin ninguna orientación y una matriz que va de porosa (punto 2) a masiva silicificada (punto 3).

Es sobresaliente en todo Gualquepaqui el juego de fracturas de dirección E - W, buzando desde subverticales a 70° y 80° al norte.

La Brecha Basal expuesta al Este de Gualquepaqui, ha sido también fuertemente alterada, con una intensa argilización (posiblemente caolinizadas-alunitizadas, esto en base a la similitud con el horizonte alunitizado-caolinizado) especialmente en los clastos metamórficos de filitas y en los detritos no cuarzosos (feldespatos y fragmentos volcánicos).

3.5 DISTRIBUCIÓN VERTICAL HIPÓGEA GENERAL DE ELEMENTOS TRAZA

Como se ha indicado en otros capítulos la más altas concentraciones de zinc y plomo ocurren en los intervalos de "sulfide rock", aunque los contenidos son también considerables en las Dolomías Intermedias. Las figuras 3.5.1 a 3.5.6 ilustran la distribución de los elementos traza en el sondaje diamantino 22G representativo de la zona mineralizada.

Las concentraciones de bario y manganeso (figuras 3.5.1 y 3.5.2) respectivamente son generalmente altas, sobrepasando incluso los 20000 ppm (e.g., PBR7 y PBR17 respectivamente). Los mayores contenidos de Bario ocurren en los intervalos de sulfide

rock, donde pueden alcanzar 30000 ppm. Los valores más bajos y con una distribución vertical muy irregular, se encuentran en las Dolomías Intermedias con fluctuaciones desde menos de 1 ppm hasta 230 ppm. Los picos en las concentraciones de manganeso a diferencia del bario ocurren en las Dolomías Intermedias y en particular en las Brechas Dolomíticas de Disolución, mientras que en los intervalos de "sulfide rock", los intervalos tienden a ser bajos y constantes (de PBR 12 a PBR 16, entre 50 y 100 ppm y de PBR 23 a PBR 28, entre 340 y 770 ppm).

El arsénico en general muestra una distribución vertical irregular, (fig. 3.5.4) con concentraciones máximas y mínimas entre menos de 1 a 2800 ppm ya sea en los intervalos de "sulfide rock", Dolomías Intermedias o de alunitización – caolinización.

El antimonio muestra tendencias definidas de valores máximos hacia los intervalos de "sulfide rock" (fig. 3.5.6.), indistintas de su posición vertical con contenidos de hasta 260 ppm (PBR8) mientras que los mínimos, con valores menores a 5 ppm (límite mínimo de detección por ICP 80) están en las dolomías intermedias y brechas de disolución.

Las concentraciones de bismuto fluctúan irregularmente desde menos de 5 ppm hasta 20 ppm (fig. 3.5.2.) en los intervalos de "sulfide rock", Dolomías Intermedias, brechas de disolución o de alunitización – caolinización, la excepción la constituye la zona de silicificación donde alcanza sus más altos valores, como puede observarse entre PBR 10 a PBR 11 hasta 83 ppm, algo ya conocido, tomando en cuenta que el bismuto era explorado de las dolomías silicificadas en el antiguo tajo San Gregorio.

El vanadio, ytrio y estroncio (fig. 3.5.4 y 3.5.5) presentan una distribución vertical similar al antimonio, donde los máximos valores tienden claramente a concentrarse en los intervalos de "sulfide rock", con contenidos que rebasan los 1500 ppm de Y (PBR 6), 7000 ppm de Sr (PBR 27) y 790 ppm de V (PBR 27), mientras que los mínimos se dan en las Dolomías Intermedias. En las zona de alunitización – caolinización, como en la de silicificación, el contenido de los elementos es también considerable con respecto a los mínimos alcanzando el Y 54 ppm (PBR 5), Sr 1 600 ppm (PBR 5) y V 215 ppm (PBR 4). Debe indicarse que estos valores de hallan distanciados de los mínimos, en los mismos intervalos, con 14 ppm (PBR 3) de Y 140 ppm (PBR 3) de Sr y 56 ppm de V (PBR 6).

Sondaje Diamantino 22G

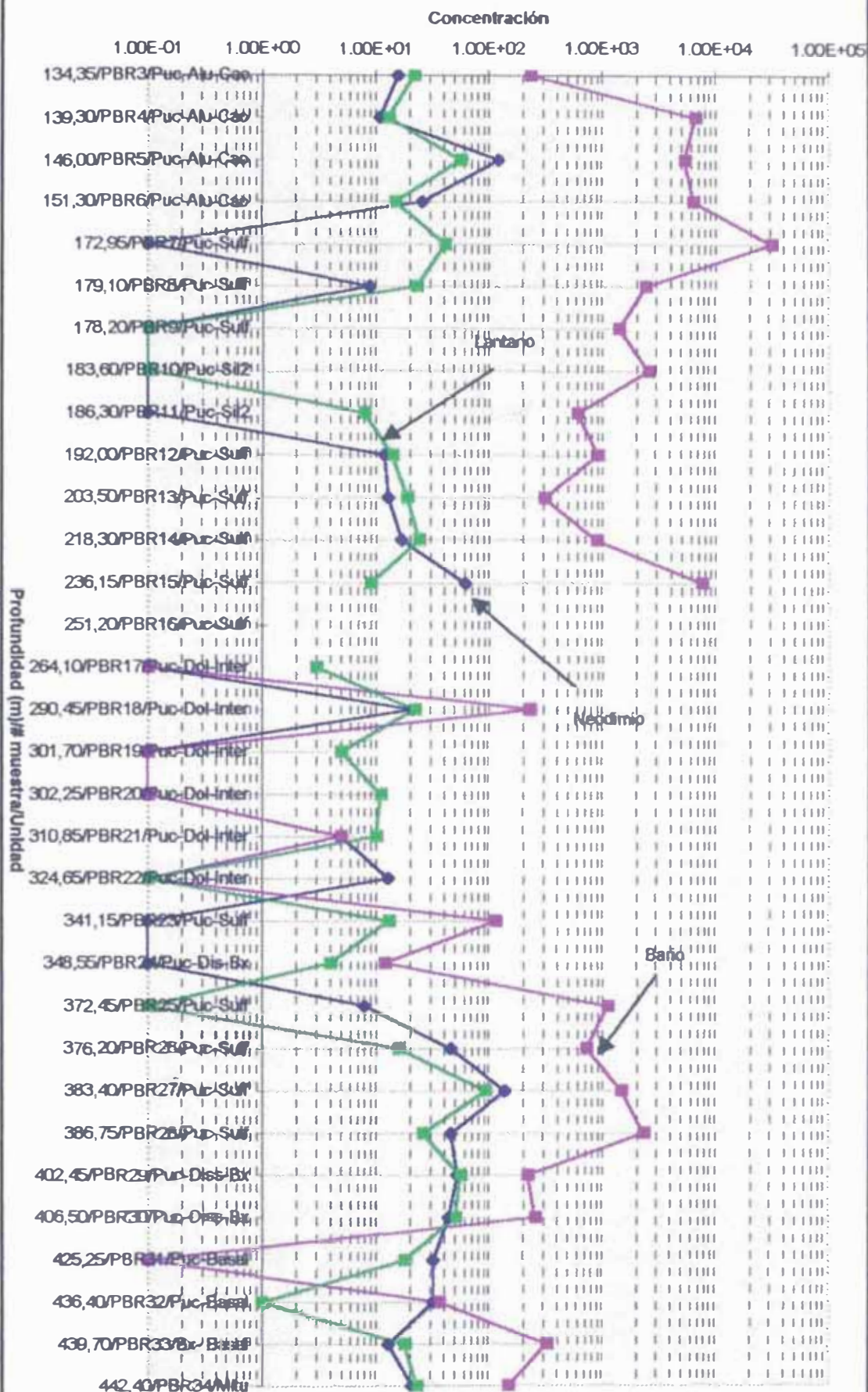


Figura 3.5.1

Sondaje Diamantino 22G

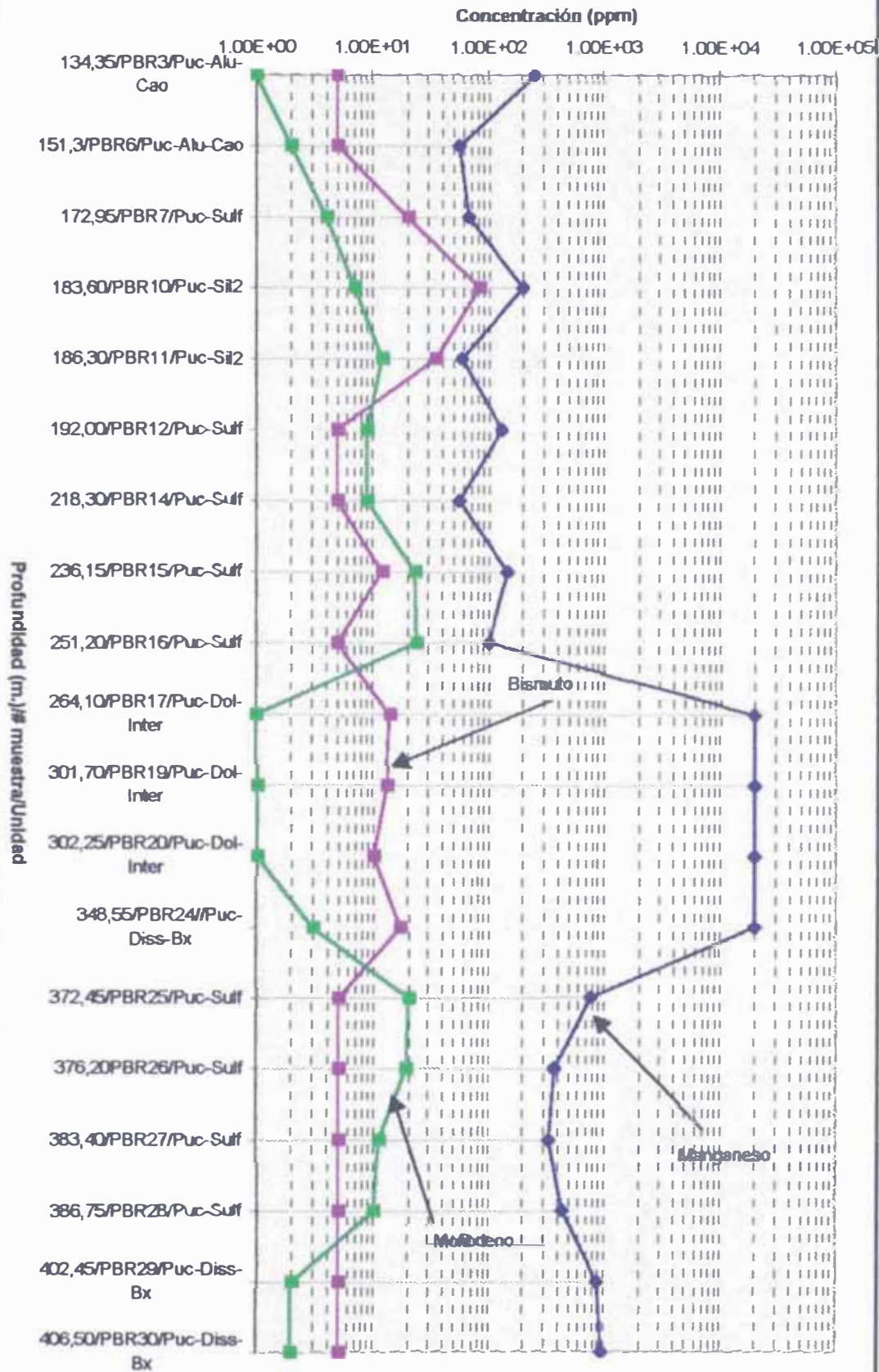


Figura 3.5.2

Sondaje Diamantino 22G

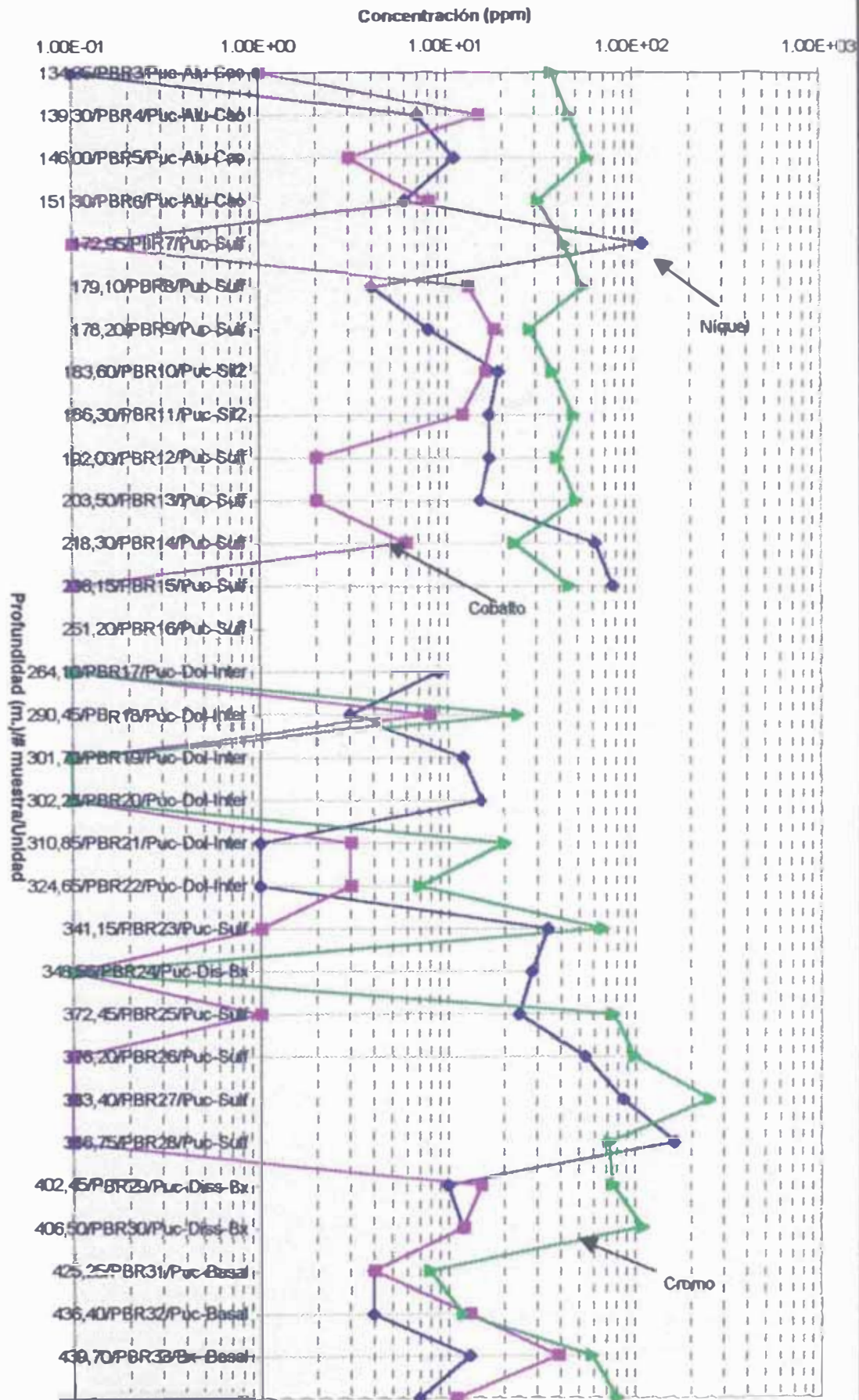


Figura 3.5.3

Sondaje Diamantino 22G

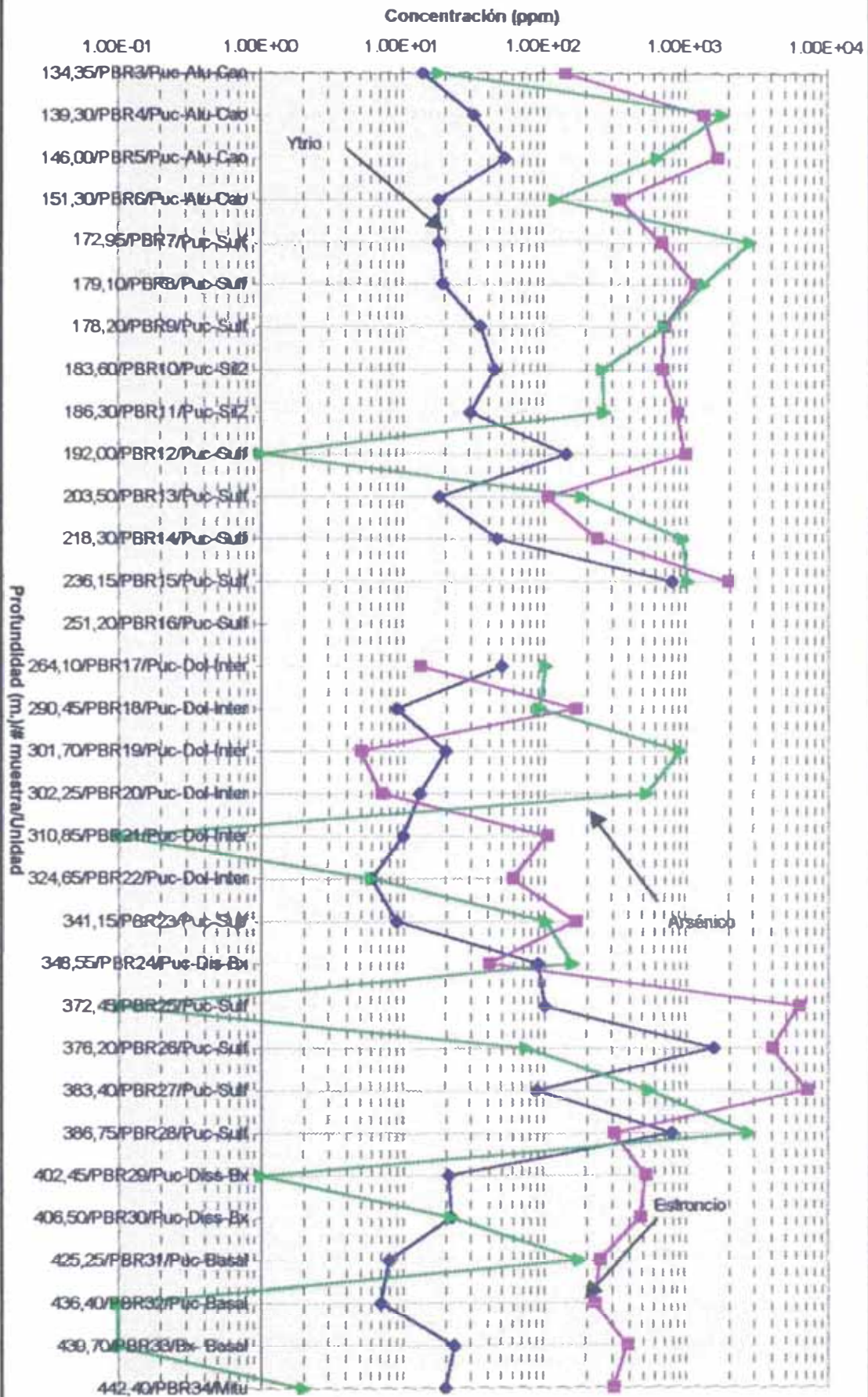


Figura 3.5.4

SONDAJE DIAMANTINO 22G

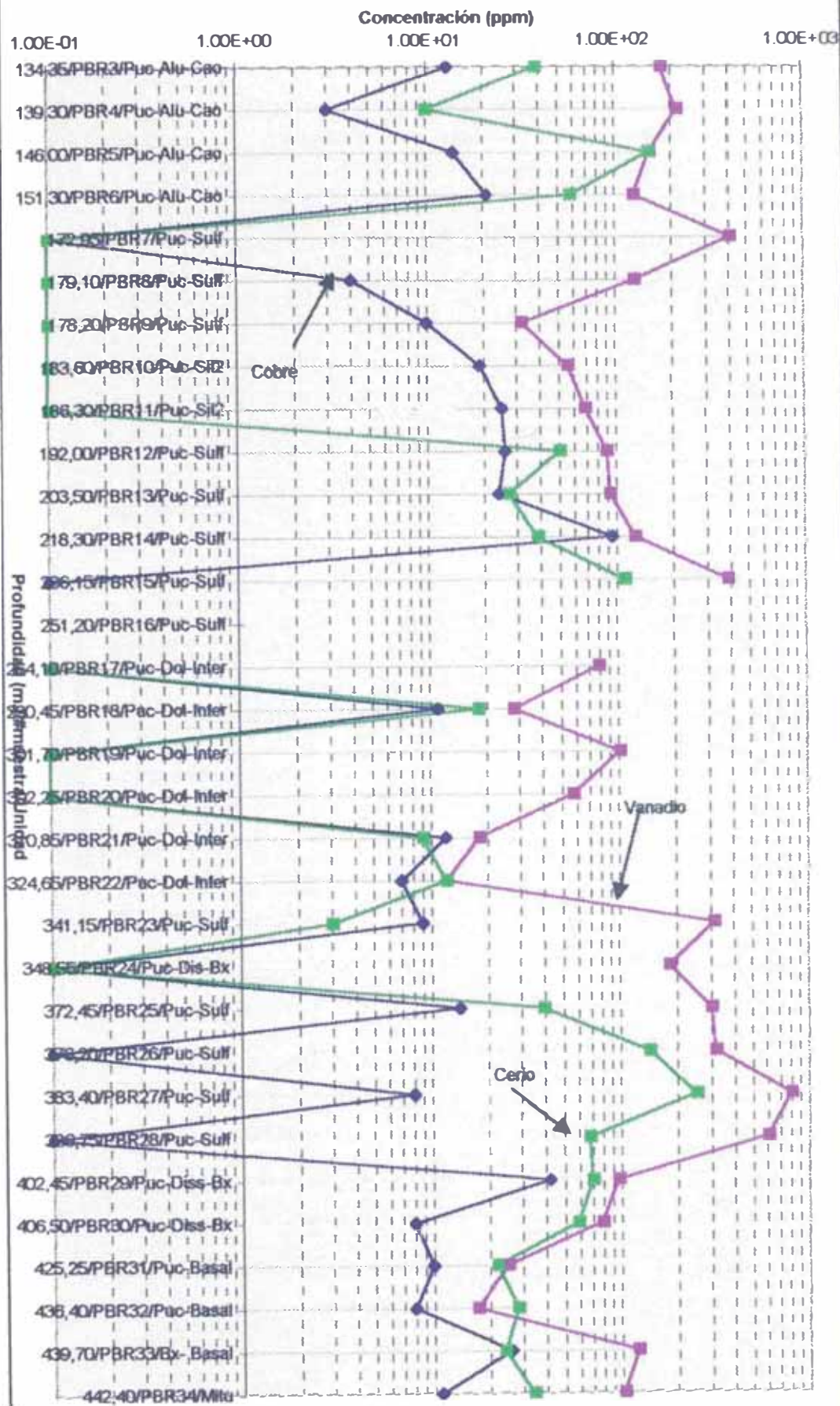
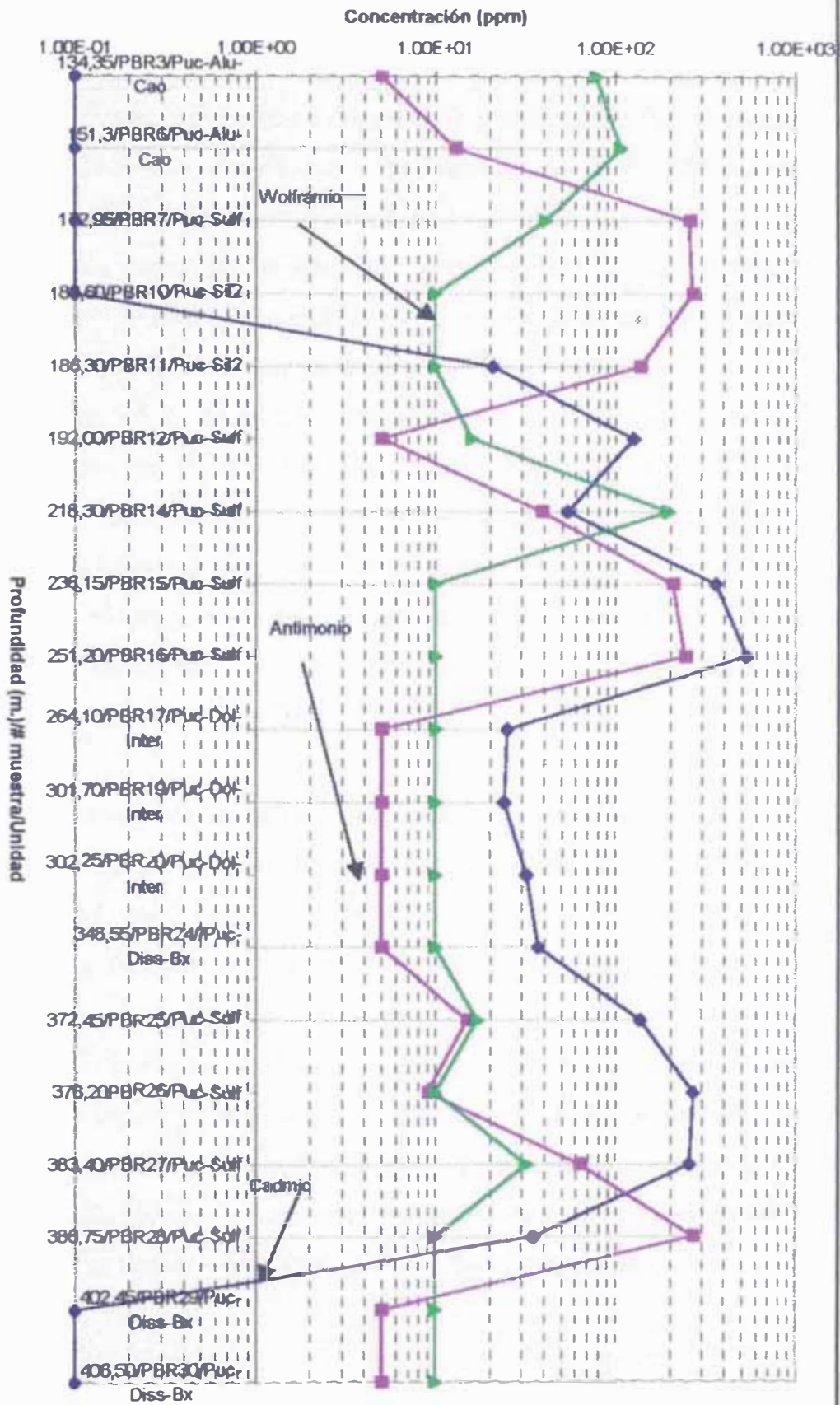


Figura 3.5.5

Sondaje diamantino 22G



Cd-Sb-W Gráfico 1

Figura 3 5 6

El molibdeno, cadmio y wolframio, son otros elementos con un patrón de distribución similar al antimonio (fig. 3.5.6). presentan incrementos regulares en los intervalos de "sulfide rock", donde el Mo alcanza un tope de 24 ppm (PBR 26), mientras que los valores en las Dolomías Intermedias son muy bajas, menores incluso a 1 ppm. (límite mínimo de detección por ICP 80). Para el cadmio el contenido máximo (PBR 16), alcanza los 535 ppm, a diferencia del molibdeno y wolframio, el cadmio presenta valores muy bajos en la zona de alunitización – caolinización (de PBR 3 a PBR 6 menores a 0,1 ppm que es el límite mínimo de detección para el Cadmio por ICP 80). La muestra PBR 16 del intervalo central de "sulfide rock" arroja también la máxima concentración en wolframio con 196 ppm y en contraste con el cadmio presenta altas concentraciones en la zona de alunitización – caolinización (PBR 6 con 107 ppm).

El cobre (fig. 3.5.5), muestra un patrón complejo de distribución vertical con fuertes oscilaciones ya sea en las zonas de "sulfide rock", Dolomías Intermedias o de alunitización – caolinización y con contenidos que no superan los 100 ppm.

El cobalto así como el cobre posee un comportamiento complejo (fig. 3.5.3).

Las concentraciones de cromo y níquel tienden ligeramente a incrementarse en los intervalos de "sulfide rock", con máximos en PBR 27 (162 ppm) y PBR 28 (250 ppm) respectivamente, ambos elementos presentan una gran oscilación en las Dolomías Intermedias.

Las concentraciones de lantano, neodimio y cerio (fig 3.5.1 y 3 5.5) muestran un patrón de distribución vertical poco claro, con una débil tendencia a incrementarse en las zonas de "sulfide rock" y con considerables variaciones en los demás intervalos.

En suma, la distribución de algunos elementos traza muestran una clara tendencia a concentrarse en los intervalos de "sulfide rock", tal es el caso del bario, antimonio, vanadio, ytrio, estroncio, molibdeno, cadmio y wolframio. Otros elementos suelen concentrarse además en las zonas de alunitización – caolinización como el wolframio, bario, lantano, neodimio y estroncio. El bismuto restringe sus mayores concentraciones a las zonas de silicificación. Finalmente hay elementos como el cobre, cobalto y arsénico con un patrón de distribución complejo o en todo caso irregular.

Debe notarse que en general, el patrón de distribución de los elementos traza, no esta en función de la profundidad, sino más bien del tipo de intervalo litológico al que pertenecen, es decir "sulfide rock", Dolomías Intermedias y otras litologías.

3.6 DISTRIBUCIÓN A ESCALA DEL YACIMIENTO DE LA MINERALIZACION Y ALTERACIONES

Para ilustrar mejor la distribución de la mineralización y las alteraciones a escala del yacimiento podemos partir de la geometría de las zonas de alteración y mineralización que como vimos en capítulos anteriores, tienen la tendencia general de ser estratiformes y/o en lentes extendidos (paralelos y ligeramente secantes a la estratificación), aunque tampoco son raras las formas fuertemente secantes a la estratificación (e.g., sección CC', Lámina 3.5). Lateralmente, las zonas de alteraciones (Horizonte silicificado, alunitizado-caolinizado y "sulfide rock") y zonas mineralizadas ("sulfide rock" y Dolomías Intermedias) se extienden pervasivamente hasta los límites de las perforaciones efectuadas entre el sur y el sudeste del Cerro de Gualquepaqui (Ver lámina 3.11, 3.4, 3.5 y 3.6). El límite de la mineralización y alteración hacia el este parece ser entre el eje del anticlinal erosionado interceptado por el sondaje GN4-260-95 (Ver lámina 3.3) y el sondaje 2J-92. Aproximadamente entre el norte y N 80° E tanto las zonas de alteración como de mineralización están poco desarrolladas, además se observa una fuerte disminución en el espesor del Pucará (Ver lámina 3.6). Las alteraciones tanto de silicificación como de alunitización-caolinización (por la similitud de las características con Gualquepaqui) parecen extenderse al norte de San Gregorio, a las áreas de Bohorquez y Yankee María que en parte vendrían a ser relictos del Pucará Occidental. Aunque el límite este del área de mineralización de San Gregorio se halla abierto (Ver lámina 3.11 y 3.4), existen dos informes de antiguos sondajes diamantinos X y 2I (ubicados al este del área de mineralización) con ensayos por zinc y plomo que no evidencian mineralización económica (Johnston, 1929; Baertl, 1933).

Han sido elaborados mapas de isointensidades de las zonas de alteraciones de silicificación (Ver lámina 3.8) y de alunitización-caolinización (Ver lámina 3.9) los cuales muestran una relación directamente proporcional entre las zonas de máxima alteración y el área de máxima mineralización conocida (Lámina 3.11).

En el apéndice (Tabla 4) figura la manera y los parámetros que fueron tomados en cuenta para la elaboración de los mapas de isointensidades.

4 COLQUIJIRCA

4.1 GENERALIDADES

La mina de Colquijirca que representa el total de la explotación de Sociedad Minera El Brocal S.A. en este momento, abarca un área ubicada entre 2 y 3,5 Km. al norte del centro volcánico Marcapunta (Ver lámina 1). Fue explotada desde antaño por plata, históricamente se remonta a la época pre-inca cuando los Tinyahuarcos asentados en Marcapunta ya extraían plata, la explotación continuó durante el virreinato a través de pequeños tajos abiertos y medias barretas siguiendo el rumbo y buzamiento de los estratos. La mina fue abandonada en las primeras décadas del siglo XIX y reabierta a finales del mismo. Durante las tres primeras décadas de este siglo fue la mina más productiva de plata en Sudamérica. Con el desarrollo de los tajos abiertos Principal (actualmente en operación) y Mercedes Chocayoc, ahora la explotación incluye como metal principal al Zn además de Pb en menor escala. Estos dos tajos se deben integrar en un tajo único denominado Tajo Norte.

4.2 GEOLOGÍA LOCAL

Las rocas más antiguas en la mina Colquijirca son las capas rojas del Grupo Mitu infrayaciendo en disconformidad de 20° a 25° al Conglomerado Shuco al que a su vez suprayace concordantemente el Miembro Calera. Toda la secuencia se encuentra plegada con ejes de dirección NS a N10E, los flancos presentan buzamientos de 25° (flanco Principal), 50° (flanco Mercedes) y 70° (flanco Chocayoc) y han sido afectadas por juego de fallas EW con saltos de poca magnitud. El plegamiento se atribuye a la Fase de deformación Aymara del Oligoceno superior (26 - 28 Ma) o a la Quechua I del Mioceno Inferior hace 15 - 17 Ma (Sébrier et al., 1988 in Angeles 1992).

Fallas de dirección Norte Sur delimitan lateralmente la secuencia; así la Falla Longitudinal al Este la separa del bloque Grupo Mitu- Formación Chambará, mientras que al Oeste otra falla la separa del bloque Grupo Mitu-Pucará Occidental (Ver lámina 2.3).

4.3 MIEMBRO CALERA

El miembro Calera fue dividido por Angeles (1992) en tres miembros.

El "Calera Inferior" tiene un espesor aproximado de 80 m en el Tajo Principal y de 64 m en La Calera (ubicado a 4 Km. al norte del tajo Principal). La base está formada por calizas mudstone margosas y masivas, sedimentos volcanoclásticos y piroclásticos (tobas riolíticas) y areniscas de grano fino. El resto del intervalo lo conforman intercalaciones de argilitas y calizas margosas de textura concrecionaria ("nódulos" micríticos, ostrácodos y bioclastos no identificados menores al centímetro) y con abundancia de rizomorfos. Esta sucesión de facies indican una evolución de lago tipo playa con aportes detríticos (volcánicos y fluviales) a la instalación de masas de agua más estables (Angeles, 1993)

El "Calera Medio" al que exclusivamente se restringe la mineralización, fué descrito por Angeles (1993). Tiene un espesor de 106 m en el Tajo Principal y 55 m en La Calera que es donde mejor se observan los dos primeros tercios. La base en La Calera está constituida por una sucesión de calizas mudstone, wackestone a grainstone con estructuras concrecionarias, presencia de madrigueras (estructuras de origen biogénico que consisten de cavidades alargadas rectas o irregulares) y rizomorfos, continúan bancos macizos de mudstone con variaciones a wackestone intercalados con delgados

niveles argilíticos verdes, margosos. Finalmente hacia el tope de La Calera alternan argilitas, margas y calizas raramente margosas.

De este mismo intervalo en el Tajo Principal sólo afloran calizas mudstone con intercalaciones de wackestone y algunas veces grainstone. El chert es abundante aproximadamente hasta los primeros 70 m. desde la base del Calera Medio donde la caliza se subordina a la sílice siendo normalmente mudstone a wackestone con laminación algar y presencia de madrigueras, el chert se torna mas insistente en lentes mayores incluso a 2 m de espesor con apariencia brechada. En el intervalo restante del Calera Medio prevalecen las calizas sobre el chert; estas son de gris a beige, generalmente mudstone con presencia de rizomorfos, madrigueras y laminaciones criptoalgares; son además típicas delgadas intercalaciones de argilitas multicolores amarillas, grises, verdes y negras. El conjunto de facies implica un lago poco profundo probablemente holomíctico (Angeles, 1993)

El "Calera Superior" comprende 44 m de espesor en el Tajo Principal con intercalaciones delgadas de argilitas, limolitas, arenitas, dolomías margosas, dolomías, chert y mantos de óxidos.

4.4 ALTERACIONES

Para una mejor referencia de la posición de las zona de las alteraciones citaremos a la división establecida en la mina para fines de explotación, exploración y cubicación (staff de geología de la mina de Colquijirca). Como se mencionó en el capítulo anterior, la mineralización se restringe al "Calera Medio", así todo el intervalo mineralizado ha sido dividido verticalmente en tres conjuntos de cuerpos mineralizados que del piso al techo han sido denominados : Horizonte Inferior, Horizonte Medio y Horizonte Superior, los cuales están delimitados por marcadores que se hallan extendidos en casi todo el yacimiento. Estos son el marcador CZMS (aproximadamente 2 m. de arcilitas grises masivas) que delimita el Horizonte Superior de carbonatos superiores estériles, el

marcador TGR1 (de 60 a 100 cm. de tobas de grano medio a grueso) que delimita el Horizonte Superior del Horizonte Medio y el marcador TGR2 (de 30 a 70 cm. de tobas de grano fino a medio) que delimita el Horizonte Medio del Horizonte Inferior.

El levantamiento de las columnas de mineralización en el Tajo Principal (Ver figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5), tomadas según las líneas referenciales usadas para la explotación, y la revisión de numerosos sondajes efectuados en el Proyecto Tajo Norte, han permitido reconocer las siguientes alteraciones hipógenas:

- Silicificación
- Argilización (dickita-kaolinita)
- Dolomitización
- Decarbonatización

Se ha reportado además otras alteraciones puntuales, como veremos más adelante.

4.4.1 SILICIFICACIÓN

La silificación ha afectado especialmente las rocas carbonatadas de los Horizontes Medio y Superior, esto es visible tanto en el Tajo Principal como en los sondajes diamantinos, y afecta tanto los tramos mineralizados (donde en general es más intensa, e.g., S.D. TN7 760 desde 55,00 m) como los que no lo están. La silificación puede afectar potentes intervalos (e.g. S.D. TN5 768 con mas de 50 m continuos debajo de los 63 m). También se encuentran horizontes silificados de poca potencia (1 a 4 m.) como los que afloran hasta más de 1km al N y NE del tajo Mercedes-Chocayoc. Hay intervalos silificados no mineralizados que pueden encontrarse a más de 40 m sobre el límite superior mineralizado (CZMS) (e.g., TN2 198). Muchas veces los intervalos silificados están asociados a nódulos de chert negro, en estos casos es común una mineralización pobre, aunque tambien se dan leyes considerables. Otras veces la silificación puede conformar considerables espesores de rocas totalmente lixiviadas,

con generación de oquedades y de estructuras esqueléticas (e.g., TN7 724 con casi 10 m desde los 115 m).

4.4.2 ARGILIZACIÓN

La argilización se presenta en los tres horizontes mineralizados pero mas intensamente en el Superior e Inferior. Determinaciones utilizando espectrógrafos portátiles PIMA efectuados por Cominco han identificado con diagramas prácticamente ideales dickita y kaolinita en muestras del Horizonte Superior (figura 4.1, columna 720, punto 1). Sus formas de presentarse difieren considerablemente; la dickita suele conformar agregados moteados, subesféricos, de bordes definidos generalmente algo elongados según la estratificación, es característica una coloración turquesa muy ligera y siempre se halla asociada a los intervalos de mayor decarbonatización con presencia de sulfuros masivos. La caolinización se presenta en dos formas habituales, la primera en disposiciones bandeadas según la estratificación generalmente muy compactas (e.g., figura 4.2, columna 725, punto 1), en este caso son comunes los fracturamientos secantes a la estratificación rellenos por caolinita y la decarbonatización es menos intensa.

La otra típica presencia de caolinita es relleno de fracturas tipo stockwork en chert negro (e.g., figura 4.1, columna 720, punto 2 ; figura 4.2, columna 725, punto 2) lo que se manifiesta incluso a nivel microscópico (McLeod, 1997).

4.4.3 DOLOMITIZACIÓN

Prácticamente toda la secuencia calcárea mineralizada ha sido dolomitizada, los relictos de calizas son mínimos y en estos casos no se observan sulfuros notándose cierta asociación espacial con la presencia de bitúmen original y probablemente laminaciones algares (e.g., Columna 725.5, punto 1) Angeles (1993) describe mudstones poco

dolomitizadas en los bancos O y NO del Tajo Principal, donde la mineralización empobrece, en contraste con los bancos mineralizados del S y E donde la dolomitización está generalizada. En vertical casi no se conocen zonas dolomitizadas por encima de los 20 m del marcador superior de los cuerpos mineralizados (CZMS). Aunque la dolomitización del Calera Medio se interpreta como esencialmente hidrotermal no se descarta en parte un origen diagenético en vista de la presencia de dolomías en zonas aparentemente fuera del alcance de la mineralización como las descritas por Angeles (1993) en el Calera Superior.

4.4.4 DECARBONATIZACIÓN

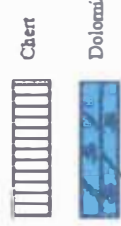
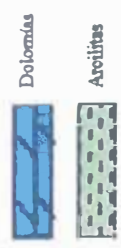
Zonas completamente decarbonatizadas se exponen en el Horizonte Superior. Las relaciones de campo muestran que se trata realmente de decarbonatización de rocas calcáreas. Por ejemplo en el Tajo Principal, a 10 m aproximadamente debajo del marcador superior CZMS encontramos niveles de rocas que aparentemente son argilitas (hasta 4 m en columna 720) presentando incluso estratificación, pero si nos desplazamos lateralmente por los bancos hacia el norte podremos notar claramente que este paquete grada a una auténtica dolomía en menos de 15 m, aumentando gradualmente su dureza y compactación y disminuyendo la proporción de residuos insolubles. Observaciones similares pueden hacerse igualmente en otros puntos del Tajo Principal.

Es generalmente en estas zonas de intensa decarbonatización donde se presenta con mayor intensidad la argilización (dickita-caolinita) y/o los mas ricos intervalos mineralizados. Es de interés indicar que los límites superiores de las zonas decarbonatizadas coinciden con un apreciable incremento del contenido en bitumen hacia arriba.(e.g., figura 4.1, columna 720, punto 3) A partir del ensamble dickita-kaolinita podemos deducir una intensa disolución provocada por fluidos hidrotermales ácidos que habrían resultado en la roca actual. La aparente estratificación se debería a la naturaleza originalmente varvada de las dolomías y/o calizas.

COLUMNA DE MINERALIZACION Línea 727,50 (Horizonte Medio)

Alt. m.	TIPO DE ROCA	ENSAMBLE MINERALOGICO	ALTERACIONES (INTENSIDAD)				CONTENIDO DE BITUMEN	OBSERVACIONES
			CAOL.	SILIC.	OXID.	DECAR.		
8.10		Dolomías estériles, galena en proporciones mínimas <1%, como microdiseminaciones espaciales sin disposición privilegiada.	-	<1	-	-	3	bitumen mm. delimitando los paquetes
7.50		Ínfimas diseminaciones espaciales de py (2-4%), reemplazamientos de galena <3% (en grados menores a 1 mm) y pirita (2%)	-	1	-	-	-	Parte de la stilloo. orientada según la estrat.
6.20		Dolomías estériles	-	-	-	-	-	
5.80		Sólo microdías., trz. de py, pero incluye un horizonte de 40 cm considerablemente mineralizado, donde la py y la ef. se presentan relleno de espacios cubiertos donde se han desarrollado en cristales subcúbicos, (pirita 5-8%) ef. presente en tramos de cubo y tetraedro, típica hercinita escasa, dolomía blanca? cristalizada lenticular de bordes difusos.	1-2	3-4	-	-	-	Entrec. min. según la estrat. Interc. típicos niv. chert caol., no mmmer.
4.30		Días. espaciales de py 5%, mayores acumulaciones en fracturas y fisuras.	1	3	-	-	-	Caol. emplazado en la fracturas y fisuras
3.60		Dolomías estériles	-	-	-	-	-	
3.00		Dolomías estériles, recristalización de dolomías en pequeñas drusas.	-	-	-	-	-	
1.40		Dolomías de mineralización muy similar a las dolomías superiores, al tope 40 cm de arcillitas estériles.	-	-	-	-	-	







LEYENDA



ARGIL. : ARGILIZACION (Según análisis PYMA, Dickita - Caolinita)
 SILIC. : SILICIFICACION
 OXID. : OXIDACION
 DECAR: DECARBONATIZACION

Figura 4.3

COLUMNA DE MINERALIZACION Línea 725,6 (Horizonte inferior)

Alt. m.	TIPO DE ROCA	ENSAMBLE MINERALOGICO	ALTERACIONES. (INTENSIDAD)			CONTENIDO DE BITUMEN	OBSERVACIONES
			ARGIL.	SILIC.	OXID. DECARB		
5.50		Dolomías muy compactas de alta dureza, donde la pirita es presente más dominante hasta 40%, la disposición de la pirita es irregular.	.	2 ?	.	.	
3.40		Dolomías muy similares a los del intervalo 1.60 - 2.20 m.	.	2 ?	.	.	Algo más delgadas
2.40		Intensas microfracturas de py danón apariencia de frag. masivos, alargados según la estrat. la caol. presenta esta disposición, además de otras mineralial	4	1 ?	.	.	
2.20		Dolomías similares a las anteriores, presenra intensas microfracturas de py, podría estar parcialmente silic., la matriz, según la estratíf. (dodecaedros pentagonales 25-30%)	<1	2 ?	.	.	
1.80		Dol. sil.-chert? clásticos pequeños gris oscuros, con intenso microfracturamiento, donde se reemplaza exchus. la caolinitización, considerables microfracturas de pirita (10-15%) en piritoedros, según la estratificación también tiene esta disposición.	'2 - 3	6	.	.	
0.80		Días. - recempl.? de py, según la dirección de la estrat. (en delgadas hilera) además de crist. en microfisuras, donde también cristalizó la energía en clásticos cristales, presenta familia de microfracturas secantes a la estratificación, perpendicular donde se ocupa preferencialmente la escasa silicificación.	'1 - 2	5	.	.	py 3%, eng <3%

LEYENDA

 Dolomías
 Arcillas
 Chert
 Dolomías silicificadas
 Dolomías
 ARGIL. : ARGILIZACION (Según molis PYMA, Dicitra-Caolinita)
 SILIC. : SILICIFICACION
 OXID. : OXIDACION
 DECAR. : DECARBONATIZACION

Figura 4.4

COLUMNA DE MINERALIZACION Línea 733 (Horizonte Medio)

Alt. m.	TIPO DE ROCA	ENSAMBLE MINERALOGICO	ALT. (INTENSIDAD)				CONTENIDO DE BITUMEN	OBSERVACIONES
			CAOL.	SILIC.	OXID.	DECAR.		
6.40		Recristalización de sulfatos secundarios en fracturas (bertrina, yeso)	.	.	.	.	.
5.40		No se observa mineralización	.	.	.	.	1	Bitumen en presentación pizolítica ?
4.60		Particiones irregulares de la roca están completamente oxidadas, presentando cristales en texturas alotriomorfas micidrales.	.	1	4	.	2	Bitumen en finos niveles (mm.)
4.00		Cristalización emplazada en principales fracturas de galena <2% con cristales truncados cubo-octaédricos pentágulos en asociación a bertrina en cristales tabulares.	2	6	2	.	.	presenta resagos de roca original (dol.)
3.20		Sólo logra observarse microdiseminaciones de galena < 1%	.	.	.	.	.	Dolomía gris verduzas
2.20		Microdiseminaciones de pirita (mínima < 1%), microvenillas de dolomita asociadas a la estratificación. Además cristalizaciones superficiales en fracturas concordantes de yeso y sulfato monoclinico similar	.	.	.	.	1 - 2	Laminas onduladas de bit. según la estral.
		Dolomías, sólo trazas de recristalización de dolomita en microvenillas, incluyen delgadas bancos (centímetros) con mínimas micro-discriminaciones de pirita.	.	.	.	.	.	Un nivel arciloso presente aparece reemplazamiento de fósiles (bivalvos)

LEYENDA

Dolomías
 Arcillas
 Chert
 Dolomías silicificadas
 Dedolomías
 ARGIL. : ARGILIZACION (Según análisis PYMA, Dickita - Caolinita)
 SILIC. : SILICIFICACION
 OXID. : OXIDACION
 DECAR: DECARBONATIZACION

Figura 4.5

Adicionalmente se han reportado alteraciones locales y puntuales como sericitización (S.D. TN1 720 a 8 m)(McLeod, 1997)., cloritización (S.D. TN6 720 a 128 m)(Panéz, 1996) e inclusive alunitización (TN2 720 a 120 m) en sílice recristalizada o chert que originalmente fuera argilita (McLeod, 1997)

También debemos indicar que la extensión lateral de todas las alteraciones es generalmente muy limitada, sin sobrepasar muchas veces los 10 m, interrumpiéndose bruscamente a la par o no con la mineralización.

Existen además especialmente en el Horizonte Medio e Inferior alteraciones tardías como una intensa oxidación y hematización siendo esta última muy común, constituyendo paquetes de hasta más de 5 m de espesor y de extensión lateral desconocida (más de 100 m). Las zonas de oxidación se interrumpen más o menos bruscamente y gradan a sulfuros primarios, especialmente pirita, de los cuales habrían derivado. Estudios minerográficos reportan reemplazamientos parciales de esfalerita, galena y pirita por hematita (Injoque 1985; McLeod 1997).

4.5 MINERALIZACIÓN

La mineralización ha resultado en múltiples cuerpos estratiformes irregulares (Ver lámina 4.1) emplazados en el Calera Medio. Las operaciones en el Tajo Principal ilustran la extrema dificultad de vaticinar la continuidad de los cuerpos, pudiendo tener menos de 10 m extensión longitudinal o superar los 30 m. Se consideran cuerpos mineralizados si el contenido total de % Zn + % Pb > 4%. Las leyes típicas son de 3 a 10% de Zinc y 0,5 a 4% de Plomo en una asociación general de esfalerita, galena y pirita acompañados de baritina y/o carbonatos.

El espesor máximo del conjunto de los cuerpos mineralizados desde el marcador CZMS hasta el límite piso del Horizonte Inferior puede alcanzar los 100 m aunque generalmente bordea los 80 m. Individualmente los Horizontes Superior y Medio tienen entre 30 y 40 m de espesor cada uno, mientras que el Inferior no pasa de los 20 m.

Respecto a las extensiones de los horizontes mineralizados debemos señalar que:

El Horizonte Inferior desaparece por completo al norte de 11562 N. Su límite oriental es 61350E que estructuralmente corresponde al flanco occidental del anticlinal Mercedes-Chocayoc.

El Horizonte Medio tiene una extensión lateral mayor, habiéndose reconocido con el S.D. TN 14-756 en la coordenada 61850E que corresponde a los flancos de la Llave y la Pampa. Al norte del anticlinal Mercedes-Chocayoc, los cuerpos son muy delgados y de leyes poco significativas, el límite norte del Horizonte Medio alcanza la coordenada 12012N.

El Horizonte Superior es el más rico regular y extendido, es prácticamente el único presente desde el anticlinal Mercedes-Chocayoc hacia Occidente, donde puede conformar en una sumatoria de intervalos mineralizados hasta mas de 70 m (e.g., TN11-756) o 60 m continuos (e.g., TN7-760). El límite septentrional conocido es la línea 12062N, donde conforma también múltiples cuerpos emplazados en las charnelas de los pliegues.

4.5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS GANGAS

Macroscópicamente la baritina es la ganga mas común, forma cristales transparentes tabulares desde algunos milímetros hasta mas de 10 cm., su presentación habitual es cristalizando o rellenando espacios abiertos conjuntamente con las menas esfalerita y galena a los que generalmente acompaña una argilización.

Carbonatos como calcita, siderita, ankerita y dolomita, son también gangas típicas, generalmente conforman agregados romboédricos, se presentan rellenando fracturas en cristales subhedrales a euhedrales, al igual que la baritina, en espacios abiertos (más raro).

inclusiones en la galena y rellenando porosidades en la pirita y arsenopirita (Injoque, 1988), conformar texturas geopetales en arcilitas bituminosas (Lenhe, 1990) y como “septarian fillings” es decir, fracturas en sistemas poligonales secantes a la estratificación (Kobe, 1995).

La GALENA se presenta de forma similar a la esfalerita, adicionalmente a escala de muestra de mano puede rellenar microfacturas en chert y arcilitas, en estas últimas además finas partículas masivas conforman también "septarian filling" (Kobe, 1995) y reemplazan restos fósiles (e.g., columna 733 punto 1). Microscópicamente, son típicas las disseminaciones, reemplazamientos de calcopirita con la que forma una "comb or cockade texture" (Lehne, 1990), rellenando porosidades en la pirita (Injoque, 1988) o aún mas común, reemplazando a la pirita o como una segregación de una mixtura galena-esfalerita (McLeod, 1997).

La PLATA es atribuida a la galena en mayor proporción ya sea por sustitución atómica (en muestras que a sección pulida no muestran evidencias de minerales de plata), como ínfimas inclusiones de argentita en galena (McLeod, 1997) o como pequeños granos de 20 a 60 micrones de plata nativa en esfalerita, la plata nativa puede conformar agregados dendríticos centimétricos, finalmente podría atribuirse algunos valores a la presencia de tennantita argentífera (McLeod, 1997).

Asociados a las menas son comunes los siguientes minerales .

La PIRITA está distribuida ubicuamente en toda la secuencia mineralizada, relacionada o no a intervalos económicos. Lo mas común es hallarla como microdiseminaciones asociada a cualquier alteración lo que McLeod (1997) considera como una fase temprana, el mismo autor sugiere para las ocurrencias masivas un estadio posterior y contemporáneo con la mineralización económica basado en las texturas de asociación con la esfalerita-galena que en conjunto reemplazan a la pirita más temprana.

El cuarzo, una ganga menos común, por lo general cristaliza conformando pequeñas geodas, asociado a cristales muy pequeños de esfalerita rubia o a otros sulfuros.

La fluorita es mucho menos habitual, se presenta en pequeños cristales cúbicos de color lila, en cristalización conjunta a esfalerita rubia, comúnmente en pequeñas cavidades abiertas o rellenando fracturas.

Numerosos estudios de secciones delgadas efectuadas por Cominco (McLeod, 1997) reportan las mismas gangas además de calcedonia y hemimorfita.

4.5.2 DESCRIPCIÓN DE LAS MENAS

Los tres horizontes mineralizados no presentan patrones claros ni de asociación mineral ni de continuidad. Los cuerpos mineralizados pueden estar enriquecidos indistintamente en Zn, Pb y Ag en proporciones y asociaciones minerales muy variables. Esto explica en parte los grandes problemas metalúrgicos que constantemente se presentan en la explotación del Tajo Principal. La única excepción es el Cu que tiende a estar presente en el Horizonte medio, pero tampoco es una regla.

La ESFALERITA, el mineral económico más significativo, normalmente siempre está asociada a la galena. Las principales texturas microscópicas son de reemplazamiento masivo y rellenando espacios abiertos orientados según la estratificación, como ocurre más claramente en el Horizonte Superior. La esfalerita de reemplazamiento es rubia, mientras que la de relleno de espacios abiertos es más clara y algo amarilla, en ambos casos son combinaciones de tetraedros; otra forma habitual es rellenando microfracturas en las gangas, más comúnmente en chert y calcedonia (McLeod, 1997; Injoque, 1988). Bajo el microscopio la esfalerita de reemplazamiento muestra disposiciones bandeadas masivas o microdiseminaciones formando laminaciones (Soto, 1984; Injoque, 1988; McLeod, 1997), además de agregados coliformes. Suele también presentarse como

La MARCASITA se ha reportado reemplazando a la pirita (McLeod 1997) y/o arsenopirita (Injoque, 1988) pero siempre en cantidades bastante reducidas.

La ARSENOPIRITA comúnmente está como disseminaciones y rellenando fracturas, más rara como inclusiones en calcopirita (Injoque, 1988).

Minerales de cobre incluyen enargita, calcopirita, bornita y tennantita, acompañados de sulfuros secundarios como calcocita y covelita, siempre subordinados (McLeod, 1997).

La aikinita y emplectita se presentan en playas menores a 2 micrones asociadas a Cobre gris y calcopirita.

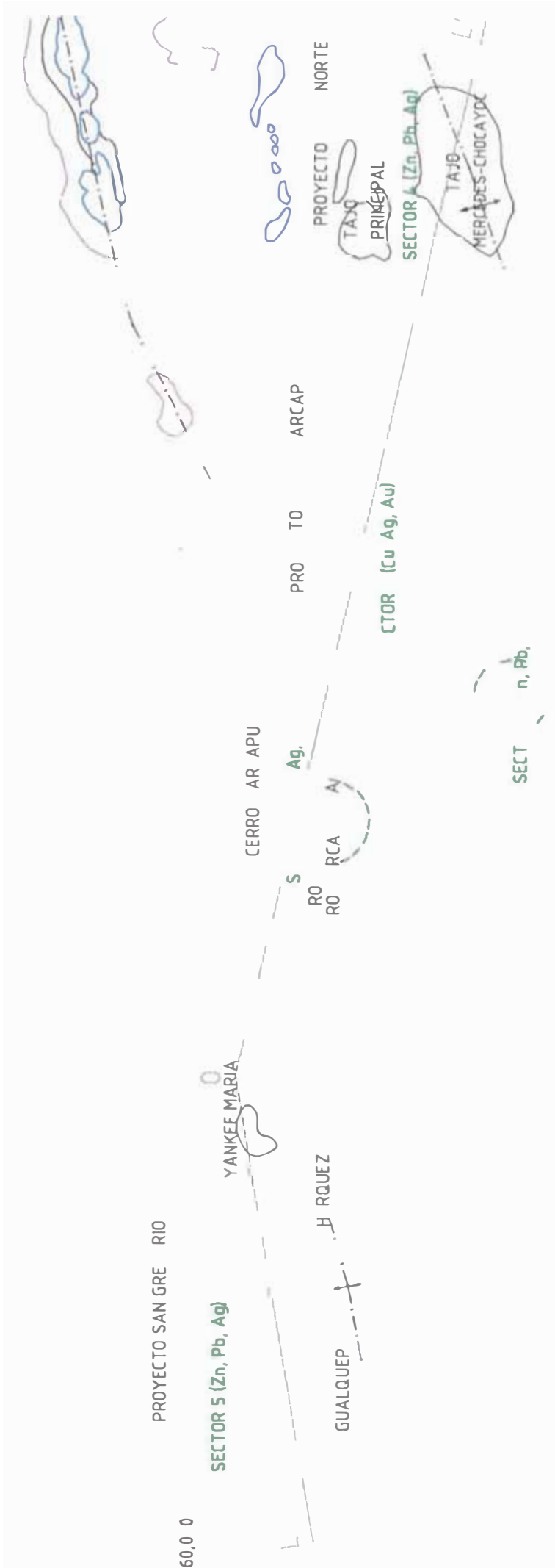
La geocronita y sulfosales de plomo como Boulangerita y Jamesonita conforman rellenos de porosidad y asociados a galena (Injoque, 1988).

Orcel y Rivera Plaza (1929), McKinstry (1929, 1936), Lindgren (1930, 1935), Ahfeld (1932), Ramdohr (1975), Springer (1968), Arroyo (1983), McLeod (1997) y otros determinan una gran complejidad en la paragénesis de Colquijirca, reportando además de los ya citados, minerales mucho más raros como: Jalpaita, pearceita, estromeyerita, polibasita, sternbergita, proustita, wittichenita, hexastannita, mawsonita, carnotita, autunita, torbernita entre otros.

5 DISTRIBUCIÓN METÁLICA GENERAL Y SU ASOCIACIÓN A ELEMENTOS TRAZA SEGÚN DIRECCIÓN NORTE-SUR (COLQUIJIRCA - MARCAPUNTA - SAN GREGORIO)

Existe un claro zonamiento metálico genérico, en un distanciamiento norte - sur, con respecto al centro volcánico Marcapunta, así podemos establecer :

- Au, Ag y Cu proximal, es decir en las inmediaciones del diatrema del centro volcánico Marcapunta. De estos la asociación Au - Ag, ocurre en cuerpos epitermales de alta sulfuración, someros (Ver lámina 5.1, Sector 1), que se desarrollaron en las fases tardías del emplazamiento de Marcapunta (Vidal, 1992; Vidal et al., 1997), esto es, en piroclastos y lavas de composición cuarzolítica y en menor proporción dacítica. Las mas altas concentraciones de Au - Ag suceden en intervalos fuertemente lixiviados (vuggy silica) y/o alunitizados (e.g., S.D. 11 92,8m a 151m. con 1,7 ppm de Au y 43 ppm de Ag ppm, en Vidal, 1992). La otra ocurrencia de Au - Ag en este mismo sector, esta relacionada a altos valores de Cu y As, que corresponden mineralógicamente a enargita que se presenta estrechamente asociada con la pirita en las unidades volcánicas; como muestran los análisis por ICP (PBR 54 con Cu >3% y As >1,8), este sector muestra así mismo, los valores, más significativos a lo largo del distrito en antimonio y estaño (500 y 340 ppm respectivamente), excepto PBR 56 que corresponde a la zona de Cu proximal contigua al Norte. Los valores de zinc y plomo en este punto son ya anómalos (641 y 500 ppm respectivamente).
- La asociación Au, Ag, Cu se extiende hacia el borde sur - oeste, pero fundamentalmente hacia el borde norte del centro volcánico (lámina 5.1, sector 2), donde las concentraciones de los 3 elementos se mantienen aproximadamente constantes. La mineralización en este sector ocurre principalmente como reemplazamientos masivos de pirita - enargita, acompañados por una intensa silicificación en cuerpos estratiformes, aprovechando la secuencia carbonatada del



N 8880 600

SOCIEDAD MINERA "EL BROCAL" S.A.
Mina Colui irca

MAPA DE DISTRIBUCION METALICA GENERAL

LEYENDA

- CENTRO VOLCANICO
- CALIZAS CALERA
- CONGLOMERADO SHUCO
- GRUPO PUCARA
- GRUPO MITU
- SECCION LONGITUDINAL (Ver Lámina 5.2)
- FALLA
- EJE DE SINCLINAL
- EJE DE ANTICLINAL

SECTORES DETERMINADOS DE MINERALIZACION



TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO

SECTORES CON EVIDENCIAS DE MINERALIZACION



ESCALA: 1/25000

FECHA: Octubre de 1,997

AUTOR: RONNER BENDEZU JUAREZ
LAMINA: 5 1

Grupo Pocobamba (la Serie Calera y el Conglomerado Shuco), a partir de las cuales se generaron respectivamente los conocidos “Cuerpo y Brecha mineralizada”, esto fue posible establecer a partir de los sondajes diamantinos, los que por ejemplo muestran en algunos sectores intervalos del Conglomerado Shuco inalterados (e.g., CM10-556), además que los espesores del conglomerado Shuco atravezados son coherentes con los esperados (algo más de 100 m.), con niveles y a veces a manera de matriz de tobas silicificadas como los observados en el sondaje #88 ; también podemos deducir que la secuencia que yace sobre el conglomerado Shuco es la Serie Calera, debido a que aún es claramente visible la naturaleza detrítica original de los sedimentos probablemente arenácea tobácea como es típico en el Calera Inferior (Angeles, 1993). El “Cuerpo mineralizado” de la serie Calera aun conserva una clara estratificación que ha sido aprovechada por la mineralización, resultando en texturas orientadas según estas direcciones como disseminaciones, reemplazamientos, rellenando espacios abiertos y coloformes. En la “ Brecha mineralizada” del conglomerado Shuco es dominante el reemplazamiento de los clastos . Los análisis por absorción atómica efectuados por la empresa, a menudo muestran intervalos métricos con leyes de Cu >10% (e.g., S.D. CM5-580 de 101 m. a 103 m. con 10,78 % de Cu, S.D. CM4-580 de 170 m. a 173 m. con 10,78 % de Cu). Los análisis de ICP de muestras de este sector: PBR 55, PBR 56 y PBR 57 dan valores de Cu igualmente altos, hasta >3% en la PBR 56 (límite de detección máximo). Las concentraciones de Au y Ag en este sector son significativas (e.g., S.D. CM6-580 de 102,0 m. a 127,0m. con 2 g/TM de Au y 0,65 Oz/TM de Ag, S.D. CM10-564 de 252,75 m. a 272,75 m. con 2,23 g/TM de Au y 0,57 Oz/TM de Ag) todas analizadas por absorción atómica. Mineralógicamente el oro suele estar asociado a la enargita (reportándose como microinclusiones nativas) y/o a la pirita en la misma presentación. Las concentraciones de Au persisten en valores aun considerables hasta la línea 604 (lamina 11, e.g., S.D. CM3 - 604 de 64,0m a 84,0m. con 1,05 g / TM de Au y 0,67 Oz / TM de Ag.). Hacia la línea 628 ya es notable la disminución en los valores de Au y Cu con incremento de zinc y plomo aun no económicos, con Zn generalmente < 0,1% y Pb entre 0,1% y 0,3% (analizados por absorción atómica por la empresa). Los análisis por ICP señalan lo mismo (PBR 55,

con 340 ppm de Zn y 3390 ppm de Pb; PBR 56 con 295 ppm de Zn y 532 ppm de Pb). Son comunes las relativas altas concentraciones puntuales de zinc (e.g., S.D. CM3-572 de 207 m. a 208m con 6,84% Zn y 0,62% Pb; S.D. CM4 - 572 223 de a 224m con 4,37% Zn y 0,58% Pb). Los valores de antimonio y estaño (como en la muestra PBR 54) parecen tener una relación directa con la asociación Au, Ag y Cu, ya que son especialmente altos en este sector (Ver Lámina 5.1, sector 2), así la muestra PBR 56 analizada por ICP da valores de 5480 ppm de Sb y 1850 ppm de Sn. Valores algo significativos de Bi pueden también relacionarse a este sector (hasta 126 ppm en PBR 56 analizada por ICP 80).

- Los sondajes diamantinos indican enriquecimientos en zinc hacia el límite occidental (lámina 5.1, sector 3), evidenciado por el S.D. CM8 - 580 de 168,0 a 171,0m. con 9,56 % Zn y 0,86 % Pb.
- El sector 4, el más septentrional del distrito, corresponde a la mina de Colquijirca rica en zinc, plomo y plata, como fuera tratado en el capítulo de Colquijirca. Los elementos traza directamente proporcionales a la concentración de metales base, analizados por ICP 80, incluyen al Cu y Cd con contenidos de hasta 1670 ppm de Cu (PBR 62) y 379 ppm de Cd (PBR 61b)
- El sector 5 ubicado al sur de Marcapunta, corresponde al yacimiento de zinc, plomo y plata de San Gregorio, tratado en el capítulo de San Gregorio. A diferencia de Colquijirca los valores de Cu y Ag son considerablemente más bajos, de los análisis ICP 80 el Cu generalmente no supera los 100 ppm, como revelan las muestras desde PBR 6 hasta PBR 53. (PBR 50 pertenece a Colquijirca). De las mismas muestras puede observarse que los valores de plata, pocas veces exceden los 2 ppm (a excepción de muestras que pertenecen a las zonas de alteraciones de silicificación: PBR 7, PBR 10, PBR 15, PBR 35, PBR 65, PBR 66 y PBR 57). A las concentraciones traza de antimonio y lantano puede atribuírseles una relación directa con la

mineralización, arrojando los valores de ICP 80 hasta 269 ppm de Sb (PBR 28) y 56,9 ppm de La (PBR 44).

6 ALGUNOS ELEMENTOS DE COMPARACIÓN ENTRE LOS YACIMIENTOS DE SAN GREGORIO Y COLQUIJIRCA

Basados en la caracterización geológica de los yacimientos de San Gregorio y Colquijirca, presentada en este trabajo, podemos establecer:

- La mineralización en ambos yacimientos ha resultado básicamente, en zinc y plomo, en rocas carbonatadas, con concentraciones de plata considerablemente mas altas en Colquijirca. San Gregorio posee en cambio valores significativamente menores en fierro y cobre. Mineralógicamente el ensamble es mucho más sencillo en San Gregorio, con esfalerita - galena - pirita y trazas de marcasita, mientras que Colquijirca ha mostrado ser mucho más complejo, ya que además del ensamble esfalerita - galena - pirita son comunes enargita, cobres grises, calcopirita, arsenopirita, bornita, marcasita, sulfosales de plomo y otros, aunque mas raros.
- La geometría de los cuerpos en los 2 yacimientos es en general estratiforme o lenticular extendido, aunque estos cuerpos observados en detalle, cortan la estratificación en algunos lugares, incluso existen cuerpos que cortan totalmente la estratificación (Ver lámina 3.5, sondaje 39G). El espesor de los cuerpos mineralizados es mucho mayor en San Gregorio, donde no es raro hallarlos con mas de 30 m. continuos (e.g., 15G de 225m. a 276m. con 9,2% Zn, 2,31% Pb y 0,25 Oz/TM Ag), por el contrario en Colquijirca es poco común que incluso el horizonte superior alcance este espesor. Las leyes son en general también más bajas en Colquijirca (e.g., el horizonte superior en un área de gran potencia, TN3 556 de 85 a 111,00m. con zinc + plomo menor de 8%). La diferencia en la dimensión de los cuerpos se entiende mejor si comparamos las áreas de mineralización; Así para áreas similares en extensión, San Gregorio posee mas de 4 veces el tonelaje de Colquijirca con incluso leyes mayores (Ver apéndice, Tabla 6).

- Las alteraciones hipógenas tanto en San Gregorio como en Colquijirca han afectado fuertemente a las unidades albergantes, la naturaleza de estas corresponden en general a las provocadas por fluidos ácidos, con decarbonatización y alunitización-caolinización mucho más intensas en San Gregorio. La dolomitización y silicificación son también pervasivas en ambos yacimientos.
- Existe un zonamiento metálico gradual hacia Colquijirca, desde los “cuerpo y brecha” mineralizados de Cu (enargita-pirita), hasta los cuerpos estratiformes de Zinc-Plomo-Plata de Colquijirca, con un paso intermedio (zona de Smelter) atestiguados por sondajes diamantinos SM. Hacia este sector se puede notar una disminución en las concentraciones de Cu, al mismo tiempo que un incremento en zinc y plomo a través del mismo “Cuerpo mineralizado” (Serie Calera), la muestra PBR 58 analizada por ICP indica esto, con 286 ppm de Cu, 779 ppm de Zn y 3140 ppm de Pb.
- Hacia San Gregorio, no se observa una distribución metálica gradual como en Colquijirca, así, el “Cuerpo y/o brecha mineralizada” con cobre que también se observa al sur del centro volcánico Marcapunta aunque mucho más limitado (Ver lámina 5.2) y que correspondería a las unidades albergantes terciarias, aparentemente se trunca, apareciendo directamente más al sur los cuerpos de zinc y plomo de San Gregorio.
- Se puede deducir una edad máxima para la mineralización de ambos yacimientos a partir de las relaciones entre esta y la tectónica del distrito; así:

En San Gregorio, definidas las zonas de alteración, silicificación y alunitización-caolinización, como el efecto de las mismas soluciones hidrotermales que generaron la mineralización y considerando además que estas zonas son discordantes al Pucará Occidental, plegado en su máxima magnitud (prácticamente no existió plegamiento posterior, en razón de hallar estas zonas casi planas (Ver

láminas 3.3, 3.4 3.5 y 3.6 San Gregorio), erosionado y desarrollados bajo el consecuente paleorelieve. Podemos atribuirle entonces a la mineralización una edad no mayor de 15-17 Ma, considerando a la fase Quechua I del Mioceno Inferior como la última de mayor deformación del antiguo alto de antepaís. (Sébrier et.al., 1 988 in Angeles, 1 993).

Para Colquijirca, la atribución de una edad de la mineralización es más difícil, aunque podemos inferirla a partir de la posición de los cuerpos mineralizados. Al norte de la línea 11, 912 se observa claramente que los cuerpos se restringen a las charnelas de los pliegues, que corresponde a la prolongación del anticlinal Mercedes-Chocayoc y a la bifurcación a 2 anticlinales, uno incipiente. Los cuerpos desaparecen completamente hacia los flancos, según muestran las secciones elaboradas por Cominco. Es decir, la mineralización se habría emplazado prioritariamente hacia las charnelas en una secuencia ya plegada, bajo el mismo principio de la formación de los “saddle reefs”, con capas plásticas (arcilitas) para las que la deformación habrá superado su límite de elasticidad sin obtener su forma original y capas rígidas (dolomías) cuya deformación no habrá superado su límite de elasticidad restableciendo su forma y generando consecuentemente cavidades propensas para la mineralización. Estaríamos por lo tanto, asumiendo una edad no mayor a la fase de mayor deformación, esto es o bien a la fase Aymara del Oligoceno Superior 26-28 Ma o Quechua I del Mioceno Inferior 15-17 Ma.

- Este límite superior de la edad es concordante con la edad del magmatismo de Marcapunta que fuera datada por Vidal et.al., (1984) en $11,5 \pm 0,4$ Ma, evento al que estaría relacionada la alteración hidrotermal y mineralización.

CONCLUSIONES

- La unidad carbonatada albergante de la mineralización es definitivamente el Grupo Pucará, así lo sustentan las diferentes especies fósiles halladas a distintos niveles, hacia arriba y a partir de la Brecha Basal y por debajo de la discordancia erosiva, es decir debajo de la Brecha San Juan. Su posición al oeste de la falla Longitudinal permite definirla como el Pucará Occidental. La relación entre su unidad basal (Brecha Basal) y el Grupo Mitu (gradación continua), apoya definirlo como el equivalente de la formación Chambará, como fuera establecido por Angeles (1993) para los afloramientos del Pucará al oeste de Colquijirca.
- La mineralización de sulfuros primarios (Zn-Pb-Ag) en San Gregorio se ha producido exclusivamente en el Pucará Occidental, observándose anomalías desde el Grupo Mitu. Las concentraciones en los sedimentos sobre la discordancia erosiva lo constituyen óxidos en un enriquecimiento secundario que tuvo lugar durante el depósito de la Brecha San Juan.
- Pese a que el mayor porcentaje de zinc y plomo se hallan bajo la forma de sulfuros, existe una parte de zinc, aunque probablemente bastante subordinada que se presenta mayoritariamente en forma de carbonatos; según DRX se trata principalmente de rodocrosita y oligonita (ver Tabla 3.2), que habrían precipitado en las zonas de transición entre las Dolomías Intermedias y las "sulfide rock" debido quizás a un repentino incremento de pH (Fontboté, 1997).
- Las alteraciones hipógenas producidas en San Gregorio corresponden a los provocados por fluidos hidrotermales muy ácidos con una gran decarbonatización y disolución, que han resultado en la casi destrucción del Pucará Occidental en este sector. La alunitización-caolinización extrema de las rocas carbonatadas también

indican la gran acidez de los fluidos, aún en el caso de que esta área fuera del tipo "steam-heated overprint", formada por agua calentada por vapor (queda por evaluar), existe una alunitización hipógena constituyendo la "sulfide rock", es decir en la zona de máxima decarbonatización y mineralización. En todo caso existe una relación casi directa entre la intensidad de la zona de alunitización-caolinización y la mineralización (ver láminas 3.9 y 3.10). Las demás alteraciones, la silicificación y las zonas de dolomitización más intensa (aunque también existe dolomitización pre-mineralización), se restringen prácticamente a la extensión mineralizada.

- La edad de la mineralización de San Gregorio no sería mayor de 15-17 Ma (Mioceno Inferior) como vimos en el capítulo anterior.
- La edad de la mineralización de Colquijirca a partir de su relación con la tectónica, no sería mayor a la fase de mayor deformación del distrito, es decir a la fase Aymara del Oligoceno Superior (26 a 28 Ma) o Quechua I del Mioceno inferior (15 a 17 Ma.)
- Las alteraciones hipógenas del yacimiento de Colquijirca corresponden, al igual que en San Gregorio, a los producidos por fluidos ácidos, con argilización: caolinita-dickita y decarbonatización, además de dolomitización y silicificación.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones en esta etapa del estudio sólo pueden remitirse a aspectos que permitan complementar, y por lo tanto mejorar el presente trabajo, que en su mayor parte es descriptivo. Así la interpretación de los resultados aquí obtenidos nos permitiría establecer en el futuro un modelo genético, sólo entonces estaríamos en condiciones de sugerir o recomendar un marco de campaña de exploraciones. De aquí podríamos mencionar:

- Extender el área de estudio del proyecto San Gregorio hacia los sectores de Bohorquez y Yankee María (Ver lámina 3.1). Por las características observadas por la gran similitud con el cerro Gualquepaqui estaríamos ante las mismas alteraciones que se habría propagado lateralmente hasta estos afloramientos muy próximos al Centro Volcánico Marcapunta y que según Angeles (1993) constituirían en parte, el Pucará Occidental, por lo tanto sería importante determinar las características de este sector teniendo en cuenta su posición (Lámina 5.2) además de sondajes al norte algo cercanas (DDHX).
- Otro sector interesante de estudio, ha sido evidenciado por el sondaje diamantino CM12-556 ubicado al ENE del centro volcánico Marcapunta, este ha interceptado el Conglomerado Shuco con todas las características de un "sulfide rock" en más de 20m. continuos, esto implicaría similitud con San Gregorio pero con una posición algo alejada de este, aunque más próxima a Marcapunta
- El estudio más detallado del sector de transición entre el Cuerpo y Brecha mineralizada de Marcapunta (directamente relacionado a la actividad volcánica de Marcapunta) y el yacimiento de Colquijirca (área abarcada por los sondajes diamantinos SMX) nos permitiría confirmar el cambio gradual de uno a otro yacimiento a lo largo de la Serie Calera.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahlfeld, F. (1932) Die Silberlagerstätte Colquijirca, Perú. Zeitschrift Praktischer Geologie, v. 40, p. 81-87.
- Angeles, C. (1993) Geología de Colquijirca y alrededores. Informe privado Sociedad Minera El Brocal S.A., 39 p.
- Arroyo, F. (1983) Ocurrencia de minerales uraníferos en el yacimiento de Colquijirca. Bol Soc Geol Perú 72:75-88
- Baertl, E.A. (1933-1935) Informes de los sondajes diamantinos 2I, 2H, 2E, 2G, X, Y, y 2F, San Gregorio, Cerro de Pasco. Informe privado Sociedad Minera El Brocal S.A.
- Barba, G. (1992) Mapeo geológico a escala 1:2000 del Cerro Marcapunta. Informe privado Sociedad Minera El Brocal S.A., 91 p.
- Boit, B. (1962) Revisión de la estratigrafía en varias regiones de las provincias de Pasco y Junin. Memorias del Museo de Historia Natural "Javier Prado", 41 p.
- Boit, B. (1966) Fauna de la facies occidental del Noriano al Oeste de Colquijirca. Publicaciones del Museo de Historia Natural "Javier Prado", serie C, 11
- Cánepa, C. (1992) Estudio microscópico de muestras del sondaje diamantino 2N-92. Informe privado Sociedad Minera El Brocal S.A., 7 p.
- Fontboté, L. (1997) Memorandum del 4 de Noviembre 1997 a la Sociedad Minera El Brocal S. A., 3 p.

Haapala, P.S. (1953) Examen de Colquijirca. Informe privado Cerro de Pasco Copper Corporation.

Haas, O. (1953) Mesozoic invertebrate faunas of Perú. Bull. Am. Museo de Historia Natural., 101, 18 lam., 328 p.

Injoque, J. (1988) Estudio petrominerográfico de 52 secciones de la mina Colquijirca, Perú. Informe privado Sociedad Minera El Brocal S.A., 90 p.

Jenks, W.F. (1951) Triassic to Tertiary stratigraphy near Cerro de Pasco, Perú. Geological Society of America Bulletin , 62, 203-220.

Johnston, B.A. (1929,1933 y1935) Informe de los sondajes diamantinos 2C y 2B, y otros informes internos. San Gregorio, Cerro de Pasco. Informe privado Sociedad Minera El Brocal S.A.

Kobe, H. W. (1996) Algunos apuntes privados para Sociedad Minera El Brocal S.A., 2 p.

Lehne, R. W. (1977) Nuevos aspectos acerca del yacimiento de Colquijirca. CITEM Rev. Inst. Cient. Tecnol. Min., 3, 17-26.

Lehne, R. (1990) The polymetallic ore deposit of Colquijirca, Central Peru. In: L. Fontboté, G.C. Amstutz, M. Cardozo, E. Cedillo, & J. Frutos (eds.), Stratabound ore deposits in the Andes, Springer-Verlag, Berlin, , p. 615-620.

Lehne, R.W. & Amstutz, G.C. (1982) Sedimentary and diagenetic fabrics in the Cu-Pb-Zn-Ag deposit of Colquijirca, Central Peru. In: Amstutz, G.C., EL Goresy, A., Frenzel, G., Kluth, C., Moh, G., Wauschkuhn, A., & Zimmermann, R. (Eds.) Ore genesis, the state of the art. Springer, Berlin, p. 161-166.

Lindgren, W. (1935) The silver mine of Colquijirca, Perú. *Econ. Geol.*, vol. 30, p. 331-346.

Mégard, F. (1978) Etude géologique des Andes du Pérou central. ORSTOM Mémoires, contribution à l'étude des Andes du Pérou central, v.1. v. 86, 306 p.

McKinstry, H.E. (1936) Geology of the silver deposit at Colquijirca, Perú. *Econ. Geol.*, vol 31, p. 619-635.

McLeod, J.A. (1997) A microscopic study of Tajo Norte ores, Perú. Informe privado Sociedad Minera El Brocal S.A., 41 p.

Noble, D.C. (1993) Radiometric age of rhyolite tuff within the Calera Formation, Colquijirca, and its geological and metallogenetical implications. Informe privado Compañía de Minas Buenaventura.

Noble, J.A. (1931) Colquijirca examination, 1930-31. Informe privado Cerro de Pasco Copper Corporation. 34 p.

Owens, O. (1995) Comentarios y Memorandum no publicado para sociedad Minera El Brocal S.A. Cominco.

Pardo, A. (1997) Determinaciones paleontológicas mina Colquijirca, San Gregorio, Perú. Informe privado Sociedad Minera El Brocal S.A. 11 p.

Rosas, S. (1994) Facies, diagenetic evolution, and sequence analysis along a SW-NE profile in the southern Pucará basin (Upper Triassic-Lower Jurassic), Central Peru.

Saez, J. (1997) Estudio al microscopio de 10 secciones delgadas y 10 secciones pulidas, correspondientes a testigos de sondajes diamantinos del Proyecto San Gregorio en el área de Colquijirca. Perú. Informe privado Sociedad Minera El Brocal S.A. 47 p.

Soto, F (1984) Estudio mineragráfico de 26 muestras de la mina Colquijirca. Cerro de Pasco. Informe privado Sociedad Minera El Brocal S. A. 40 p.

Vidal, C., Mayta, O, Noble, D.C & McKee, E.H. (1984) Sobre la evolución de las soluciones hidrotermales dentro del centro volcánico Marcapunta en Colquijirca-Pasco. Vol. Jubilar Soc. Geol. Peru, 10, p. 1-14.

Vidal, C. (1992 a) Exploraciones por oro en el Suroeste del Cerro Marcapunta. Distrito Minero de Colquijirca y Cerro de Pasco, Informe privado Sociedad Minera El Brocal S.A. 26 p.

Vidal, C. (1992 b) Reconocimiento geológico del Prospecto San Gregorio, Distrito Minero de Colquijirca, Cerro de Pasco. Informe privado Sociedad Minera El Brocal S.A. 14 p.

Vidal et al. (1997) Geología y distribución hidrotermal de menas con Au, Cu, Zn, Pb y Ag en el Distrito Minero Colquijirca, Pasco. IX Congreso Peruano de Geología, p. 217-219.

Yaringaño et al. (1997) Exploraciones y evaluación de los yacimientos del Distrito Minero de Colquijirca, Pasco. IX Congreso Peruano de Geología, p. 231-236.