

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“GEOMETALURGIA DE LOS YACIMIENTOS FERROBAMBA Y CHALCOBAMBA  
– PROYECTO MINERO LAS BAMBAS “**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

Para optar el título profesional de

**INGENIERO GEÓLOGO**

Presentado por

**LUIS FRANCISCO PALOMINO TORRES**

**LIMA – PERÚ**

**2010**

## INDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>4</b>
<b>II.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
<b>III.</b>	<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>5</b>
	3.1. Ubicación.....	5
	3.2. Accesibilidad .....	6
	3.3. Fisiografía.....	6
	3.4. Clima .....	7
	3.5. Concesiones Mineras .....	7
	3.6. Exploración histórica en el distrito .....	10
<b>IV.</b>	<b>GEOLOGIA DEL PROYECTO LAS BAMBAS .....</b>	<b>12</b>
	4.1. Aspectos Generales .....	12
	4.2. Estratigrafía .....	13
	4.2.1. Formación Soraya .....	13
	4.2.2. Formación Mara .....	14
	4.2.3. Formación Ferrobamba .....	14
	4.2.4. Volcánicos Vilcarani .....	15
	4.2.5. Depósitos morrénicos y fluvio–glaciales.....	15
	4.3. Rocas intrusivas .....	17
	4.3.1. El Batolito Andahuaylas - Yauri.....	17
	4.4. Marco estructural.....	18
<b>V.</b>	<b>GEOLOGIA LOCAL.....</b>	<b>24</b>
	5.1. Área Ferrobamba .....	24
	5.1.1. Rocas Sedimentarias .....	24
	5.1.2. Rocas Intrusivas .....	25
	5.1.3. Alteración y Mineralización.....	26
	5.1.4. Geología Estructural.....	31
	5.2. Área Chalcobamba.....	33
	5.2.1. Rocas Sedimentarias .....	33
	5.2.2. Rocas Intrusivas .....	33
	5.2.3. Brechas .....	34
	5.2.4. Alteración y Mineralización.....	35
	5.2.5. Geología Estructural.....	39
<b>VI.</b>	<b>LA GEOMETALURGIA EN EL DESARROLLO DE UN PROYECTO MINERO .....</b>	<b>41</b>
	6.1. Definición.....	41
	6.2. Alcance.....	41
	6.3. Plan Geometalúrgico .....	42
	6.4. Caracterización Geometalúrgica .....	43
	6.5. Muestreo .....	44
	6.6. Pruebas Metalúrgicas.....	45
	6.6.1. Conminución .....	45

6.6.2. Flotación.....	46
6.6.3. Procedimientos generales para circuitos de conminución y flotación	47
<b>VII. GEOMETALURGIA EN LA EXPLORACION DE LOS YACIMIENTOS FERROBAMBA Y CHALCOBAMBA.....</b>	<b>48</b>
7.1. Estudios Preliminares.....	48
7.2. Fase Conceptual .....	48
7.2.1. Definición de End Members .....	48
7.2.2. Campaña de Perforación .....	49
7.2.3. Procedimientos para muestreo geometalúrgico .....	49
7.3. Fase de Prefactibilidad .....	53
7.3.1. Visita de campo Xstrata Process Support .....	53
7.3.2. Definición de End Members .....	53
7.3.3. Muestreo para Caracterización Mineralógica .....	55
7.3.4. Caracterización Mineralógica .....	62
7.3.5. Campaña de Perforación .....	69
7.3.6. Procedimientos para muestreo geometalúrgico .....	75
7.3.7. Selección de muestras para pruebas de conminución y flotación.....	77
<b>VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO A: Códigos geológicos utilizados .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO B: Breve descripción de pruebas de conminución aplicadas. ....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO C: Breve descripción de pruebas de flotación aplicadas.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO D: Matriz de Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos (IPER) para el embalado de muestras con nitrógeno.....</b>	<b>93</b>

## I. INTRODUCCION

La geometalurgia es una disciplina que conjuga conocimientos de geología y metalurgia e integra esfuerzos de los profesionales de geología, minas y metalurgia, así como parámetros económico-mineros. Ha adquirido, con el tiempo, mayor importancia y relevancia en las operaciones y proyectos mineros.

En el proyecto Las Bambas se completaron las pruebas metalúrgicas en dos etapas definidas: Etapa Conceptual, donde el resultado que se espera es la conceptualización de las unidades geometalúrgicas (End Members)<sup>1</sup> y Etapa de Prefactibilidad, donde el nivel de detalle es mayor y se aguardan resultados que ayuden a establecer los parámetros operativos para la futura planta de procesos.

Así, el presente informe de competencia profesional resume las experiencias del suscrito en el desarrollo de los estudios geometalúrgicos que se llevaron a cabo en los yacimientos Ferrobamba y Chalcobamba del proyecto Las Bambas; pero, por ser un trabajo recopilatorio de actividades multidisciplinarias, también incorpora información provista por consultores -principalmente internos- cuyo concurso fue vital para alcanzar el objetivo final de interpretación de las pruebas geometalúrgicas. Todos estos trabajos y sus autores están convenientemente citados en el cuerpo de este informe.

Este informe está enfocado en la planificación geometalúrgica realizada para el proyecto Las Bambas, con mayor énfasis en los trabajos geológicos que comprenden la definición de los End Members, su caracterización geometalúrgica, el desarrollo de los programas de perforación y la selección de muestras. La descripción y ejecución de las pruebas son descritas brevemente en las secciones pertinentes.

El suscrito agradece a la compañía Xstrata haber aprobado la presentación de este informe, el cual se espera sirva de referencia para futuros trabajos de geometalurgia que se puedan desarrollar dentro del proyecto Las Bambas.

---

<sup>1</sup> Unidad Geometalúrgica es de uso común en la literatura en castellano. En Este trabajo se usará el equivalente en inglés, End Member.

## **II. OBJETIVOS**

- Presentar los resultados de este informe para obtener el Título Profesional de Ingeniero Geólogo.
- Presentar la secuencia de trabajo para investigaciones geometalúrgicas que se ha seguido en el proyecto Las Bambas (Yacimientos Ferrobamba y Chalcobamba).
- Presentar la caracterización geometalúrgica que se ha desarrollado en el proyecto minero Las Bambas.
- Presentar la distribución de muestras que se han seleccionado para las pruebas de conminución y flotación en el proyecto minero Las Bambas, poniendo énfasis en la realizada en la fase de prefactibilidad.
- Presentar este informe como texto de consulta interno para futuros trabajos de geometalurgia que se deban realizar en el proyecto.

## **III. GENERALIDADES**

### **3.1. Ubicación**

El distrito minero Las Bambas se encuentra ubicado a 565 km al SE de la ciudad de Lima y a 73 km al SO de la ciudad de Cusco, en parte de los distritos de Challhuahuacho y Coyllurqui (provincia de Cotabambas) y Progreso (Provincia de Grau) en el departamento de Apurímac (Fig. 1). Las altitudes dentro del proyecto varían desde los 3,700 hasta los 4,650 msnm.

Se ubica en el sector N del cuadrángulo de Santo Tomás (29-r) de la carta geológica nacional escala 1:100,000.

### 3.2. Accesibilidad

Por vía aérea hasta Cusco, luego se continua por vía terrestre (240 km aproximadamente en 7 horas) o en helicóptero hasta el proyecto (73 km en 40 minutos).

Para llegar al proyecto desde Lima y las principales ciudades del S del Perú, existen varias rutas:

- Cusco – Yaurisque – Ccoyabamba – Ccapaccmarca – Mara – Challhuahuacho – Las Bambas, carretera afirmada de 240 km aproximadamente. Esta ruta es la que se emplea actualmente como oficial.
- Cusco – Cotabambas – Tambobamba – Challhuahuacho - Las Bambas, carretera afirmada de 250 km aproximadamente.
- Cusco - Cotabambas – Ñahuiña – Pamputa - Las Bambas, carretera afirmada de 240 km aproximadamente.
- Arequipa – Imata - Espinar – Vellille - Santo Tomás – Haqira – Challhuahuacho – Las Bambas. De Arequipa a Imata es vía asfaltada, y el resto es carretera afirmada.
- Lima – Ica – Nazca – Puquio – Chalhuanca – Puente Pachachaca – Lambrama – Chuquibambilla – Progreso – Challhuahuacho – Las Bambas.

### 3.3. Fisiografía

El área del proyecto presenta una topografía bastante irregular, caracterizada por cumbres, quebradas poco profundas, llanuras y laderas de relieve suave. Las cumbres más altas son el cerro Chonta en Sulfobamba (4,682 msnm) y Pichacani en Chalcobamba (4,663 msnm); las partes más bajas son las riveras del Río Challhuahuacho (3,700 msnm).

Los relieves elevados y las superficies irregulares generalmente corresponden a afloramientos de calizas y rocas intrusivas de grano medio y los relieves suaves corresponden a morrenas y rocas intrusivas de grano grueso; mientras que las llanuras están conformadas por sedimentos fluvio-glaciales en los sectores N (Pamputa) y NE (Pumamarca) del proyecto.

Regionalmente los relieves de mayor depresión lo conforman los ríos Vilcabamba y Santo Tomás, ubicados al O y E respectivamente del proyecto.

### **3.4. Clima**

Es variado y se caracteriza por periodos de lluvias, de frío, templado y seco. El periodo de lluvias generalmente se inicia en octubre, acentuándose desde diciembre hasta marzo. La presencia de descargas eléctricas es considerada de alto riesgo en la zona del proyecto durante este periodo.

A partir de abril hasta septiembre, durante el día la temperatura presenta fuertes cambios desde 5°C en las mañanas hasta 25°C al mediodía. En las noches la temperatura decrece hasta por debajo de 0°C en horas de la madrugada.

El periodo de vientos ocurre entre los meses de julio y septiembre y su intensidad aumenta después de las 13 horas hasta las 17 horas. En el resto del año la intensidad del viento es débil a moderada.

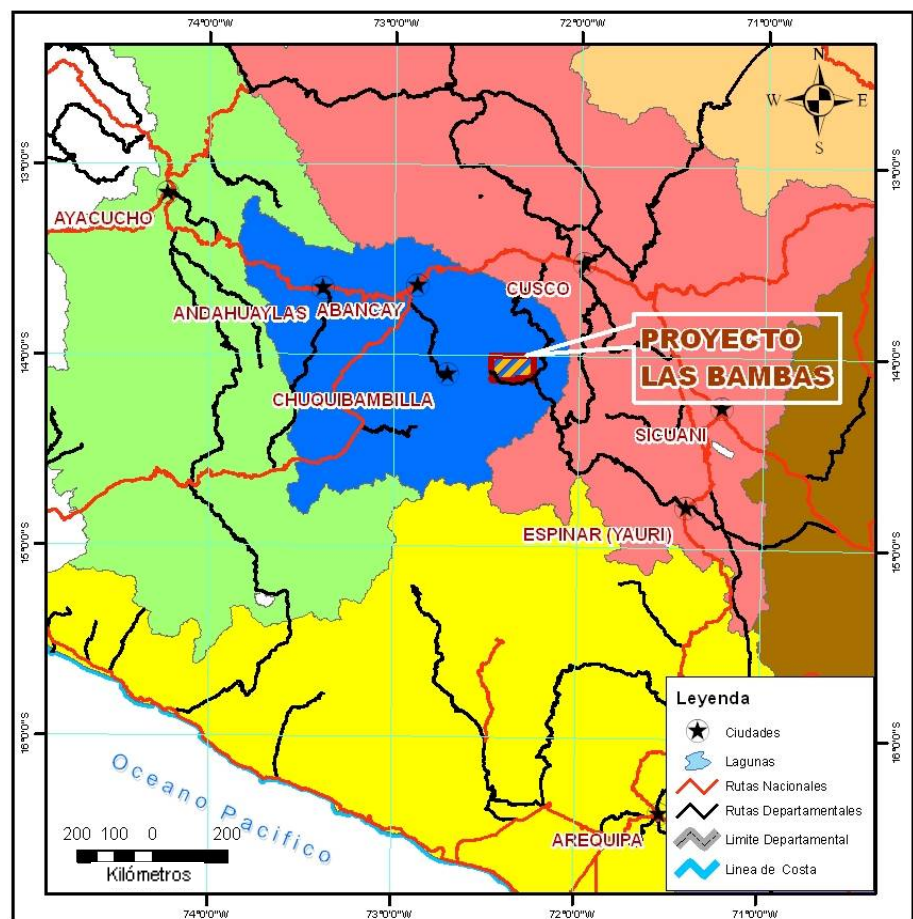
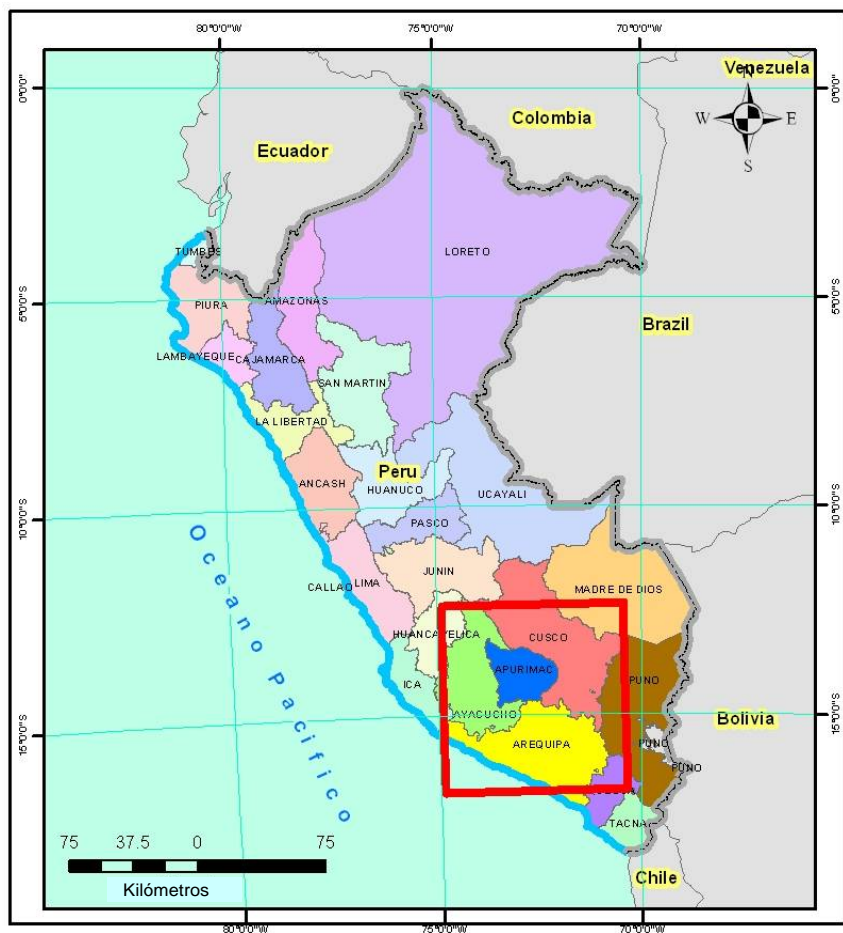
Normalmente la humedad relativa en toda la sierra está por debajo del 90%, en general el clima es seco.

### **3.5. Concesiones Mineras**

El Proyecto Las Bambas cuenta con un derecho especial denominado “área de no admisión de petitorios” de 33,063 ha (Fig. 2), dentro de la cual existen cuatro concesiones mineras que corresponden a Activos Mineros S.A.C. (antes Centromín Perú) que tienen una extensión total de 1,800 ha:

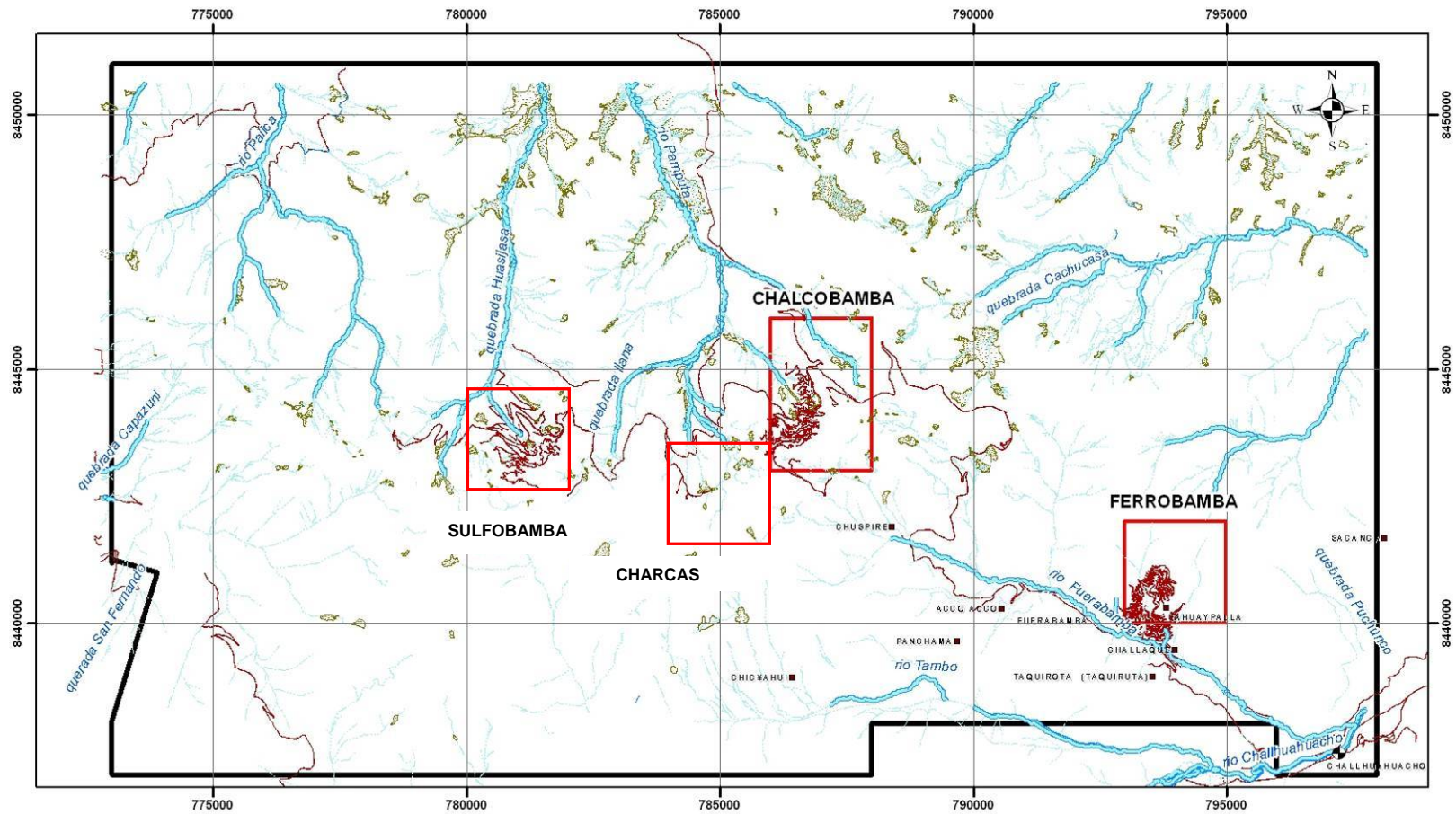
- Ferrobamba – 400 ha
- Chalcobamba – 600 ha
- Sulfobamba – 400 ha
- Charcas – 400 ha

En la actualidad Xstrata tiene un contrato de opción con el Estado Peruano para explorar en las cuatro concesiones mineras y dentro del área de no admisión de petitorios.



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA</b>	
	<b>PROYECTO LAS BAMBAS</b> <b>PLANO DE UBICACIÓN</b>	
Preparado por: Luis Palomino	Marzo 2010	Fig. 1





Hidrografía		Leyenda	
	Acequia		Pueblos
	Drenaje		Caserío
	Pantano	<b>Concesiones Las Bambas</b>	
	Quebrada		Area de no Admisión de Propiedades
	Río		Chalcobamba
	Lagunas		Ferro Bamba



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA</b>	
	<b>PROYECTO LAS BAMBAS</b> <b>CONCESIONES MINERAS</b>	
Preparado por: Luis Palomino	Marzo 2010	Fig. 2

### 3.6. Exploración histórica en el distrito

Se tiene referencias que los primeros trabajos de exploración y explotación datan de la época colonial en el área de Charcas (Guillén, 2009).

Entre 1,911 y 1,913 la compañía inglesa Ferrobamba Ltd. realiza trabajos de exploración superficial y labores subterráneas en el área de Ferrobamba; estimándose un recurso geológico de: 6 Mtn<sup>2</sup> @ 4 % Cu en Ferrobamba y 7.25 Mtn @ 2.5 % Cu en Chalcobamba.

En 1,934 Ferrobamba Ltd. abandona todas las concesiones.

Entre 1,938 y 1,941 L. Vanini y otros, toman posesión del área de Ferrobamba y encargan a William Jenks para completar los estudios de exploración y estimación de recursos con la finalidad de conocer el potencial de cobre que hay en el distrito minero Las Bambas, trabajo que concluye en 1,951.

Entre 1,962 y 1,969 Cerro de Pasco Copper Corporation, realiza una serie de trabajos de perforación en Ferrobamba y Chalcobamba, con el objetivo de determinar recursos.

Estudios preliminares de metalurgia reportan 28% de Cu en los concentrados y 90% de recuperación en flotación a partir del cuerpo de skarn de Chalcobamba. Se reporta el siguiente recurso mineral:

- Chalcobamba : 13.7 Mtcs<sup>3</sup> @ 2.1% Cu, reservas indicadas con DDH
- Charcas: 0.08 Mtcs @ 5.0% Cu, recursos geológicos
- Sulfobamba : 0.15 Mtcs @ 6.0% Cu, recursos geológicos

En 1,972 Minero Perú toma posesión de 858 ha distribuidas en Ferrobamba y Chalcobamba. Se compromete realizar estudios de prefactibilidad y completar los estudios de mineralización junto con Mitsui Metal Mining. Se inician los estudios de

---

<sup>2</sup> Mtn: Millones de toneladas

<sup>3</sup> Mtcs: Millones de toneladas cortas secas

prefactibilidad, evaluación de infraestructura, operaciones y análisis de costo con la finalidad de iniciar las operaciones.

Se reporta en Chalcobamba 10.2 Mtn @ 2.2% Cu de reservas probables y 18.9 Mtn de mineral prospectivo.

Entre el 2,001 y 2,003, BHP Billiton, Angloamerican y Cordillera de Las Minas (CRVD) realizan trabajos de exploración superficial en toda la concesión. También Pro-Inversión realiza un programa de perforación en Ferrobamba y Chalcobamba con la finalidad de buscar más cuerpos mineralizados (11 DDH).

El 31 de Agosto del 2,004, en concurso público se subasta el Proyecto Las Bambas resultando ganadora la empresa Xstrata AG Suiza entre catorce postores.

El 2005, Xstrata Perú S. A. inició los trabajos de perforación para la evaluación de recursos en las áreas de Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba, principalmente. Con los datos geológicos de superficie y sondajes se ha definido el Modelo Geológico.

Tabla 1. Resumen del alcance general de los trabajos y técnicas usadas en los programas de exploración realizados hasta la fecha (Adaptado de: BHPBilliton, 2001; Pro Inversión, 2003; Xstrata, 2004-2009)

<b>Compañía</b>	<b>Año</b>	<b>Trabajos realizados</b>
Cerro de Pasco	1950's y 1960's	- Cartografiado geológico distrital (1:25,000). - Perforación diamantina (Chalcobamba - 887 m). - Laboreo subterráneo (Chalcobamba - 34 m, Ferrobamba – 265 m).
Minero Perú	1970's hasta 1993	- Cartografiado geológico distrital (1:25,000). - Cartografiado a detalle de Chalcobamba, Ferrobamba, Sulfobamba y Charcas. - Muestreo geoquímico. - Geofísica (IP) en Chalcobamba, Sulfobamba y Charcas. - Evaluación de proyecto en Chalcobamba y Ferrobamba. - Pruebas metalúrgicas.
American Barrick	1994	- Cartografiado geológico del distrito. - Muestreo geoquímico distrital. - Evaluación de proyecto (por Au) de Chalcobamba y Ferrobamba.
Magma Copper	1995	- Cartografiado geológico superficial de Ferrobamba y Chalcobamba - Muestreo geoquímico distrital. - Evaluación de proyecto en 4 áreas prospectables. - Preparación de oferta preliminar por el proyecto.
Cyprus Amax	1996	- Cartografiado geológico superficial en Ferrobamba y Chalcobamba - Muestreo geoquímico en Ferrobamba y Chalcobamba.

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perforación diamantina.</li> <li>- Evaluación de proyecto en Chalcobamba y Ferrobamba.</li> </ul>
Phelps Dodge	1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cartografiado geológico distrital.</li> <li>- Perforación diamantina.</li> </ul>
BHP / BHP Billiton	1997 - 2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cartografiado geológico distrital (1:25,000).</li> <li>- Muestreo geoquímico de <i>rock chips</i> y <i>stream sediments</i>.</li> <li>- Geofísica: Magnetometría, <i>IP</i> y Rayos Gamma; incluye trabajo de campo e interpretación de datos.</li> <li>- Perforación diamantina.</li> <li>- Estudio geológico de Chalcobamba y modelo genético (S. Cardoso, 1999).</li> <li>- Evaluación geológica del área de la opción (Grupo de geólogos BHP Billiton, 2001).</li> <li>- Estimación de recursos minerales (J. Brooks &amp; S. Satchwell, 2002).</li> </ul>
Teck	1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perforación diamantina (875 m).</li> </ul>
Pro Inversion	2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perforación diamantina (2,328 m).</li> </ul>
Xstrata	2005 - 2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perforación diamantina en Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas, Sulfobamba y Azuljaja, para evaluación de recursos.</li> <li>- <b>Perforación diamantina en Ferrobamba y Chalcobamba para pruebas geometalúrgicas</b></li> <li>- Cartografiado geológico de las concesiones de Ferrobamba, Chalcobamba, Sulfobamba y Charcas (1:2,000).</li> <li>- Levantamiento de columna estratigráfica en Ferrobamba (R. Jeanne, 2005).</li> <li>- Estudio de los intrusivos y modelo genético (M. Parr, 2005).</li> <li>- Revisión de la geología estructural del distrito (M. Brookes, 2006).</li> <li>- Estudios petrográficos de secciones delgadas e inclusiones fluidas.</li> <li>- Cartografiado geológico distrital (1:10,000)</li> <li>- Geofísica (TEM y Magnetometría terrestre).</li> <li>- <b>Pruebas metalúrgicas (Flotación y molienda).</b></li> <li>- Caracterización metalúrgica de Ferrobamba y Chalcobamba (A. Charland, 2007).</li> <li>- Investigaciones geotécnicas e hidrogeológicas para los <i>pits</i> (Piteau).</li> <li>- Estimación de recursos minerales.</li> <li>- Estudio estructural de Ferrobamba y Chalcobamba (V. Lipa, 2008).</li> <li>- Estudio de factibilidad.</li> </ul>

## IV. GEOLOGIA DEL PROYECTO LAS BAMBAS

### 4.1. Aspectos Generales

El Proyecto Las Bambas se encuentra ubicado en la franja de yacimientos de skarn de Cu (Mo-Au), asociados a sistemas tipo pórfido, ubicados en la parte SE del Perú. Esta franja metalogenética está controlada por el batolito Andahuaylas-Yauri de edad Eoceno-Oligoceno (Tabla 2), que se ha emplazado en unidades

sedimentarias del Mesozoico, siendo la de mayor importancia la formación Ferrobamba (Cretáceo inferior a superior). Las rocas intrusivas del batolito, en contacto con las calizas Ferrobamba, han originado un metamorfismo de contacto y en algunos lugares cuerpos de skarn con mineralización de Cu (Mo-Au).

El batolito Andahuaylas-Yauri se ha emplazado al S de la “Deflexión de Abancay”, con lineamientos de dirección NO-SE, NE-SO y otros que fueron generados principalmente por la Orogenia Andina.

La Deflexión de Abancay es un lineamiento importante en esta parte del Perú debido a su comportamiento morfoestructural. La dirección de los Andes varía de NO-SE a E-O, permaneciendo con esta alineación por más de 200 km.

## **4.2. Estratigrafía**

Las series sedimentarias expuestas en el área del proyecto minero Las Bambas presentan facies sedimentarias regresivas (continentales) y transgresivas (marinas) con edades que abarcan desde el Jurásico Superior al Cretáceo Superior. Una secuencia volcánica pleistocénica (Volcánicos Vilcarani) completa la historia deposicional en el distrito.

### **4.2.1. Formación Soraya**

Es la formación mas antigua del distrito, encontrándose las mejores exposiciones al O y SO del área del proyecto.

Litológicamente se compone de areniscas cuarzosas blancas y rojizas, de grano fino a medio, cemento silíceo y con laminaciones horizontales, siendo muy raras las estratificaciones cruzadas. Los bancos son de medianos a gruesos (mayores a 1 m), compactos y macizos, formando relieves topográficos competentes, que resaltan a gran distancia.

Se presenta intercalada con lodolitas marrones a rojizas, especialmente en la porción superior de la secuencia, como es el caso de la parte S del distrito. Aunque la potencia total de la Formación Soraya bordea los 600 m, en el área del proyecto se han reconocido unos 300 m de esta formación.

El cambio de las areniscas cuarzosas puras a intercalaciones de areniscas cuarzosas con lodolitas indica una transición de un ambiente de alta energía, cercano a la costa, a un entorno más distal de aguas profundas, que corresponde a la Formación Mara, con la cual presenta un contacto concordante y transicional, en ciertos sectores.

Jenks (1948) le asignó una edad neocomiana a partir de correlaciones estratigráficas con otras unidades. Pecho (1981) la ubica en el Neocomiano Inferior.

#### **4.2.2. Formación Mara**

Su localidad típica esta en el paraje de Mara (20 km al E del Proyecto Las Bambas), donde constituye el núcleo de un anticlinal. Aflora indistintamente dentro del área del proyecto. Está compuesta de limoarcillitas con intercalaciones de areniscas rojizas y limoarcillitas calcáreas, de colores negro, gris, marrón y rojizo. Localmente se observan algunas intercalaciones de areniscas cuarzosas y arcosas. La laminación sedimentaria es con frecuencia horizontal y localmente se observa laminaciones cruzadas.

La Formación Mara ha sido reconocida en afloramientos al S y SE del proyecto donde presenta grosores de hasta 200 m. Es raro encontrar evidencias de metamorfismo en las rocas de esta formación.

A partir de correlaciones estratigráficas, Jenks (1948) la ubicó en el Albiano–Turoniano. Pecho (1981) manifiesta que no fue posible hallar fósiles guía para determinar la edad de esta formación; por lo tanto se infiere teniendo en cuenta sus relaciones estratigráficas, principalmente con la Formación Ferrobamba (del Albiano-Cenomaniano), que la Formación Mara pertenece al Aptiano.

#### **4.2.3. Formación Ferrobamba**

Es la unidad sedimentaria de mayor extensión y espesor en el proyecto. Aflora extensamente dentro del área del proyecto Las Bambas.

La Formación Ferrobamba puede diferenciarse en dos miembros de acuerdo a sus diferencias litológicas: la secuencia inferior consiste en bancos gruesos de calizas tipo *mudstone* de color gris a negro. La segunda secuencia consiste en calizas grises y negruzcas con presencia de nódulos de chert, intercaladas con niveles pelíticos calcáreos grises. Presenta grosores de hasta 300 m, habiéndose reportado el mayor espesor de sedimentos entre Cocha y Mara (800 m).

Se encontraron fósiles en otras localidades (Andahuaylas) y se han identificado, entre los principales: *Inoceramus* sp., *Tellina* sp., y *Neithea Texanus* (ROEMER), bivalvos de los períodos Albiano-Cenomaniano. Por consiguiente se le puede asignar a la Formación Ferrobamba una edad del Albiano Medio-Cenomaniano, y posiblemente llegue al Turoniano.

La Formación Ferrobamba ha sido intruida por cuerpos ígneos mineralizantes, lo que ha dado lugar a la formación de importantes cuerpos de skarn (Cu, Mo).

#### **4.2.4. Volcánicos Vilcarani**

Estos depósitos se exponen al S del área del Proyecto rellenando paleovalles, principalmente sobre el valle del río Challhuahuacho y ríos tributarios. Los Volcánicos Vilcarani cubren en discordancia angular a las calizas de la Formación Ferrobamba.

Litológicamente está conformado por tobas dacíticas e ignimbritas. Su coloración presenta diversos matices del rosado al blanco.

La edad asignada, según comparaciones con otras localidades en la región de Cuzco, es del Pleistoceno.

#### **4.2.5. Depósitos morrénicos y fluvio-glaciales**

En el área de estudio se tienen buenas exposiciones de este tipo de depósitos, se les encuentra en las partes altas de los pequeños valles y quebradas. Están formados por clastos de diferentes tamaños, de composición polimíctica, englobados en una matriz areno-limosa.

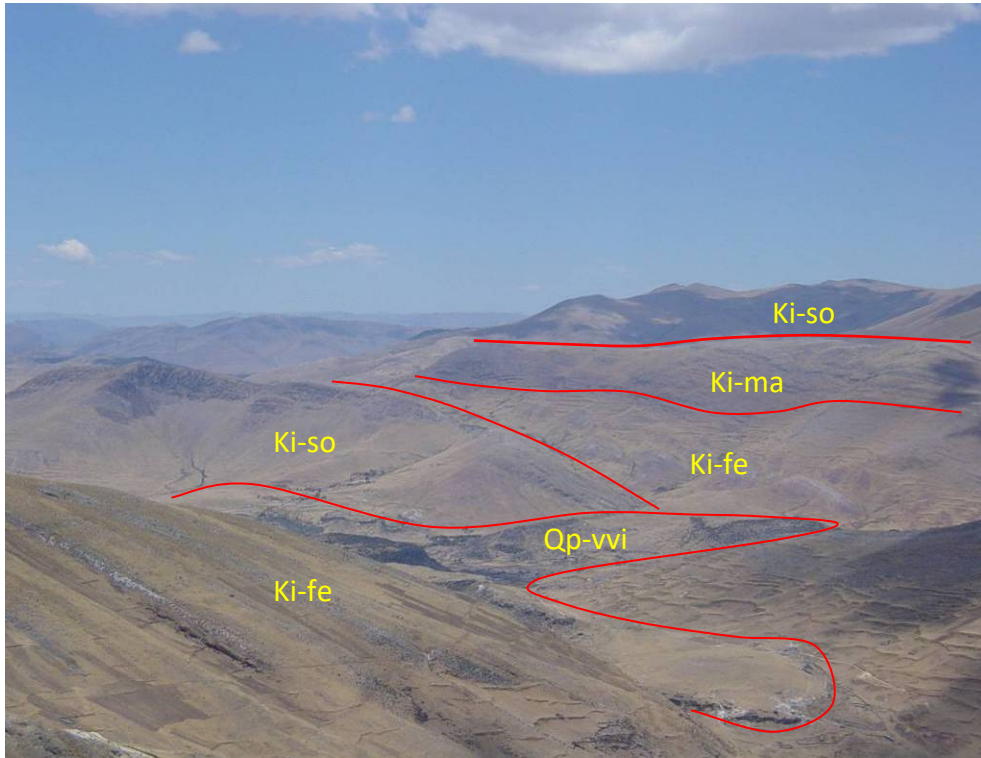


Foto 1. Unidades litoestratigráficas: (Ki-so) Formación Soraya, (Ki-ma) Formación Mara, (Ki-fe) Formación Ferrobamba y (Qp-vvi) Volcánicos Vilcarani (1 km al S de Challhuahuacho, mirando al SE).



Foto 2. Discordancia angular entre la Formación Ferrobamba (Ki-fe) y los Volcánicos Vilcarani (Qp-vvi). Distrito de Challhuahuacho (Mirando al O).



### 4.3. Rocas intrusivas

La actividad magmática en el área del proyecto Las Bambas está representada por series calcoalcalinas correspondientes al Batolito Andahuaylas-Yauri.

#### 4.3.1. El Batolito Andahuaylas - Yauri

Es un cuerpo plutónico de grandes dimensiones y es reconocido con diversos nombres por los investigadores de acuerdo con su extensión y localidad donde fue reconocido. Es conocido hacia el borde NE de la Cordillera Oriental como Batolito de Andahuaylas-Yauri (Carlier et al., 1989; Bonhome & Carlier, 1990; Carlotto, 1998), como Batolito de Abancay-San Miguel (Marocco, 1977) o como Batolito de Apurímac (Pecho, 1981; Mendivil & Dávila, 1994).

El batolito corresponde a la actividad magmática del Eoceno-Oligoceno, en el SE peruano. Ha emplazado una serie de cuerpos intrusivos (300 km x 60 km), en eventos que comprenden fases plutónicas, intrusiones de stocks, sills y diques de pórfidos hipabisales. Estos intrusivos estarían íntimamente relacionados a lineamientos regionales andinos de rumbo general NO-SE; como el lineamiento mayor de Berenguela-Tintaya-Katanga-Las Bambas-Cotabambas.

En forma generalizada, se pueden distinguir 5 etapas intrusivas dentro de la secuencia magmática del Eoceno-Oligoceno en la franja cuprífera Andahuaylas-Yauri:

- Emplazamiento de rocas de composición principalmente diorítica, de grano fino a medio, con edades radiométricas entre 43 y 40 Ma.
- Intrusión de granodioritas y granodioritas-porfíricas, hornbléndicas, de color gris claro a oscuro, equigranulares, con edades radiométricas entre 39 y 37 Ma.
- Emplazamiento de stocks de pórfidos monzoníticos, cuarzo monzoníticos y cuarzo dioríticos. A esta etapa se le atribuye el evento hidrotermal cuprífero de la franja Andahuaylas - Yauri. Evidencias de alteración-mineralización, tanto en la monzonita como en las rocas huéspedes que intruye, son reconocidas en proyectos y minas de esta franja cuprífera. Generalmente son fases que se presentan en centros de mineralización como en los distritos de Tintaya, Katanga, Huinchos, Ferrobamba,

Chalcobamba, Sulfobamba, Los Chancas y otros centros de menor relevancia. En estos centros han desarrollado cuerpos de skarn de granate–piroxeno–magnetita y algunos sistemas del tipo pórfido asociados a los skarn. Las edades radiométricas de la alteración–mineralización van de los 38 a los 32 Ma.

- Inmediatamente después ocurre el emplazamiento de pequeños stocks y diques de un pórfido cuarzo monzonítico, con fenocristales de cuarzo y ortoclasa muy desarrollados, no presentan ni alteración ni mineralización hidrotermal y están considerados como estériles.
- Emplazamiento de diques y pequeños stocks básicos, principalmente dacitas y andesitas, evidentemente post-minerales, que en algunos casos engloban a las zonas mineralizadas reduciendo sustancialmente su volumen.

Tabla 2: Edades del Batolito Andahuaylas-Yauri

Area	Litología	Estado	Mineral Datado	Método	Año (MA)	Fuente
Tintaya	Dacita	Fresca	Hornblenda	K-Ar	32.5 ± 1.0	Noble, 1984
Tintaya	Dacita	Alterada	Biotita	K-Ar	33.7 ± 1.0	Noble, 1985
Quechuas	Cuarzo Monzonita	Alterada	Whole rock	K-Ar	37	Yoshikawa, 1976
Chalcobamba	Cuarzo Monzonita	Alterada	Hornblenda	K-Ar	32.6 ± 1.0	Noble, 1985
Antapaccay	Skarn		Molibdenita	Re-Os	42	Mathur, 2000
Chalcobamba	Skarn		Calcopirita	Re-Os	29 ± 8.0	Ruiz & Mathur, 2001
Chalcobamba	Skarn		Magnetita	Re-Os	29 ± 8.0	Ruiz & Mathur, 2002
Ferrobamba	Skarn		Molibdenita	Re-Os	33.5 ± 0.2	Ruiz & Mathur, 2003
Katanga			Biotita	K-Ar	31.6 ± 0.8	Perelló & otros, 2003
Livitaca			Biotita		40.3 ± 1.0	Perelló & otros, 2003
Progreso			Hornblenda		39.7 ± 1.9	Perelló & otros, 2003

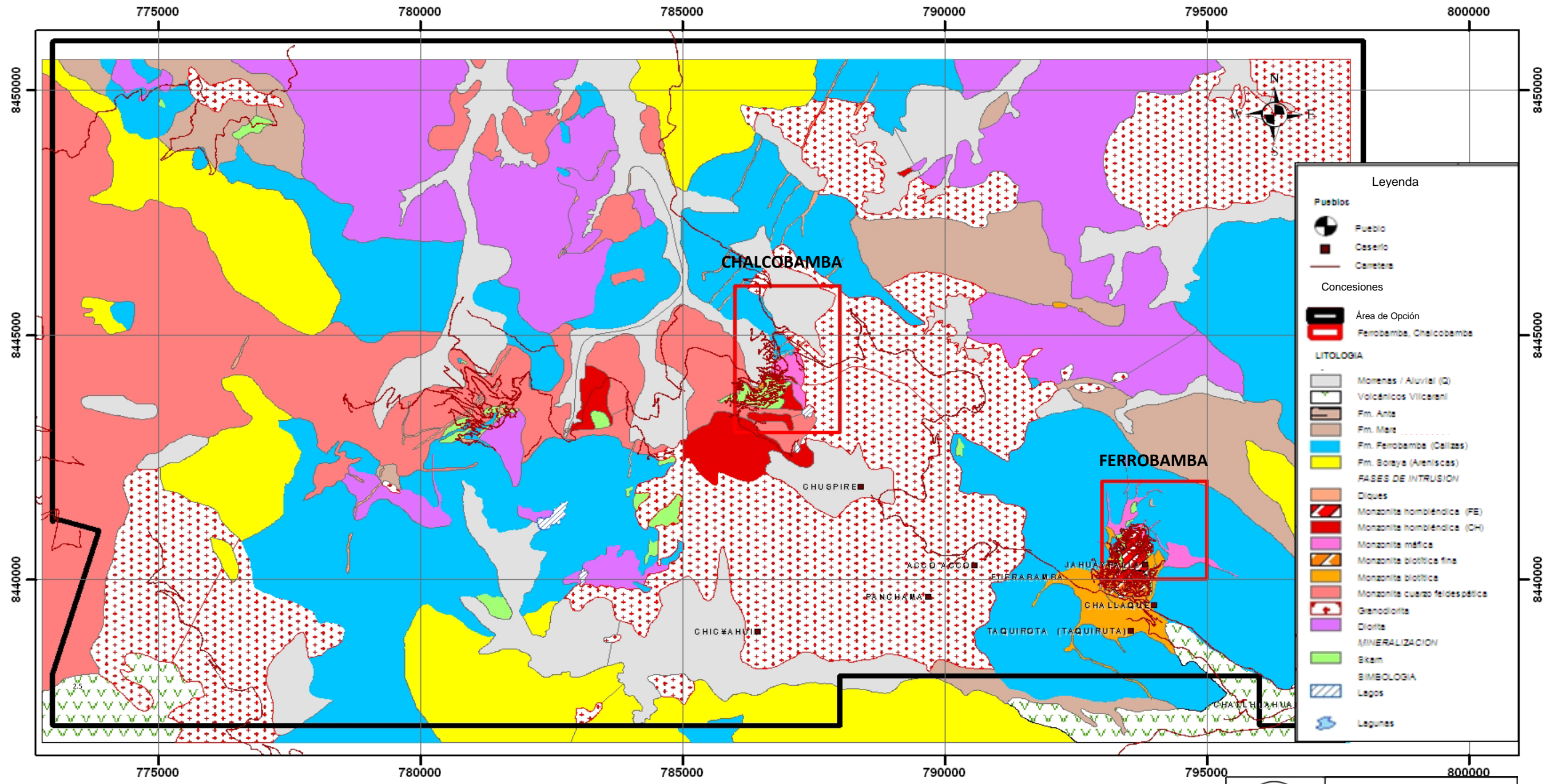
#### 4.4. Marco estructural

El Proyecto Las Bambas está regionalmente enmarcado en la margen S de la Deflexión de Abancay (12° a 14° Latitud S); esta estructura se caracteriza por evidenciar un cambio en el *trend* (tendencia) de los Andes peruanos pasando de NO-SE a E-O por más de 200 km como consecuencia de la colisión diferencial de la Dorsal de Nazca con el margen litoral pacífico peruano predisponiendo su morfología actual (bayoneta).

El proyecto Las Bambas, dentro de este contexto geológico regional, está localizado en el cinturón porfirítico/skarn Cu-Mo-Au denominado *Skarn belt* Andahuaylas-Yauri, en una zona de anomalía atribuida a la orogénesis Inca del Eoceno al Oligoceno temprano (Brookes, 2006); este cinturón metalogénico está hospedado principalmente en el Batolito de Andahuaylas-Yauri. Las principales deformaciones en la región, causantes del fallamiento y plegamiento son asociadas a la fase Inca (Perelló *et al*, 2003).

El Batolito Andahuaylas-Yauri es una megaestructura ígnea que debe su disposición estructural y emplazamiento (*cymoid loop*) (Fig. 5) a la cinemática transcurrente de otra megaestructura denominada “cola de caballo” (*horsetail*) situada al S de la deflexión Abancay, formada como resultado de su evolución cinemática.

La evolución estructural y cinemática de la deflexión a través del tiempo posibilita en el área de estudio -y posiblemente en otras áreas de la megaestructura- el desarrollo aparentemente de distensiones locales (*local opening*) dentro de una gran zona aparentemente de transcurrencia favoreciendo el emplazamiento de plutones del Batolito de Andahuaylas-Yauri; así, los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas y Azuljaja se encuentran hipotéticamente dispuestos dentro de un alineamiento estructural de regímenes transcurrentes (transtensivos) y consecuentemente generaría estructuras tectónicas alineadas de tipo “*jog*” o “*bend*” con ejes de tendencia subvertical que facilitarían el emplazamiento de plutones pequeños durante la actividad tectónica asociados probablemente a la mineralización económica; estas estructuras de escalas menores estarían asociadas al comportamiento tectónico-estructural andino del Batolito de Andahuaylas-Yauri que presenta una morfoestructura regional de tipo sigmoidal (Fig. 5).



Mapa geológico de la concesión minera de Las Bambas (por Artemio Chirre).



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA	
	<b>PROYECTO LAS BAMBAS</b> GEOLOGIA DEL AREA DE LA CONCESION	
Preparado por: Luis Palomino Geología: Artemio Chirre	Abril 2010	Fig. 3



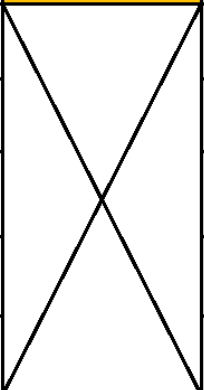
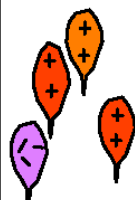

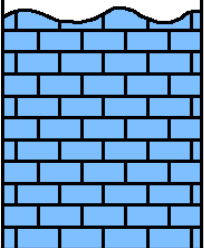


ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS			MAGMATISMO	MINERALIZACION	OROGENIA		
CENOZOICO	CUATERNARIO	Reciente			30 - 50 m		Morrena, aluvial			
		Pleistoceno	Gpo. Barroso	Volc. Vilcarani	100 m		Tufos daciticos		Quechua 4 1.5 Ma	
	TERCIARIO	Plioceno							Quechua 3 5 - 4 Ma	
		Mioceno							Quechua 1, 2 17 - 4 Ma	
		Oligoceno								Inca 3, 4 30 - 22 Ma
		Eoceno							Skam	Inca 2 43 - 42 Ma
		Paleoceno								Inca 1 59 - 55 Ma
MESOZOICO	CRETACEO	Superior		Fm. Ferrobamba	300 - 500 m		Calizas masivas bioclasticas nodosos chert		Peruana 84 - 79 Ma	
		Inferior		Fm. Mara	50 - 200 m		Clasticos calcareos limolitas areniscas			
			Gpo. Yura	Fm. Soraya	200 - 300 m		Areniscas			

Fig. 4. Resumen de los diferentes eventos geológicos en el distrito minero Las Bambas (Modificado de Brookes, 2006).

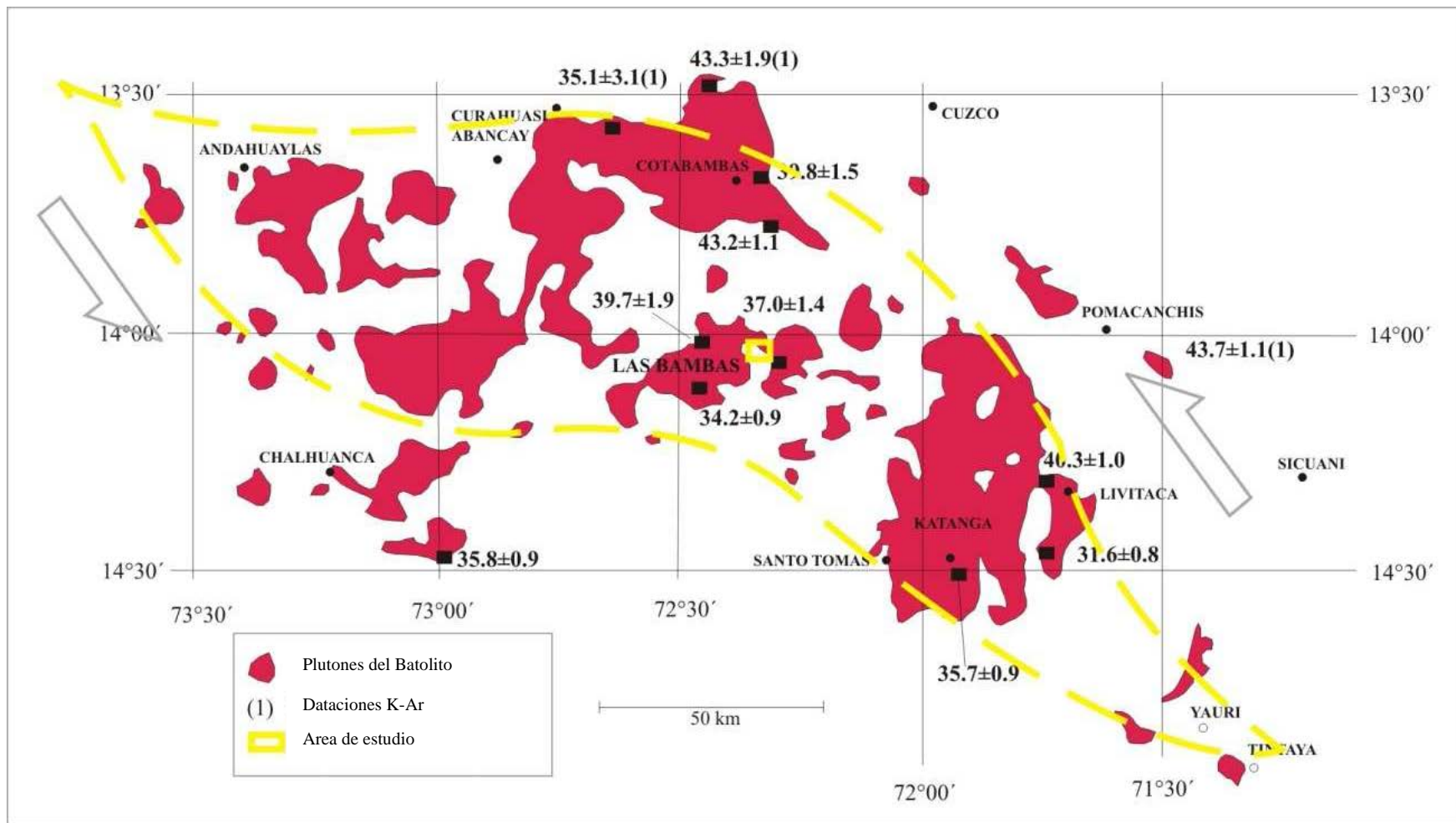


Fig. 5. Distribución y disposición geométrica hipotética (*cymoid loop*) del batolito Andahuaylas-Yauri. Muestra los cuerpos principales del batolito y la localización de las edades K/Ar. (Adaptado de Perello et al, 2003 y Lipa, 2007).

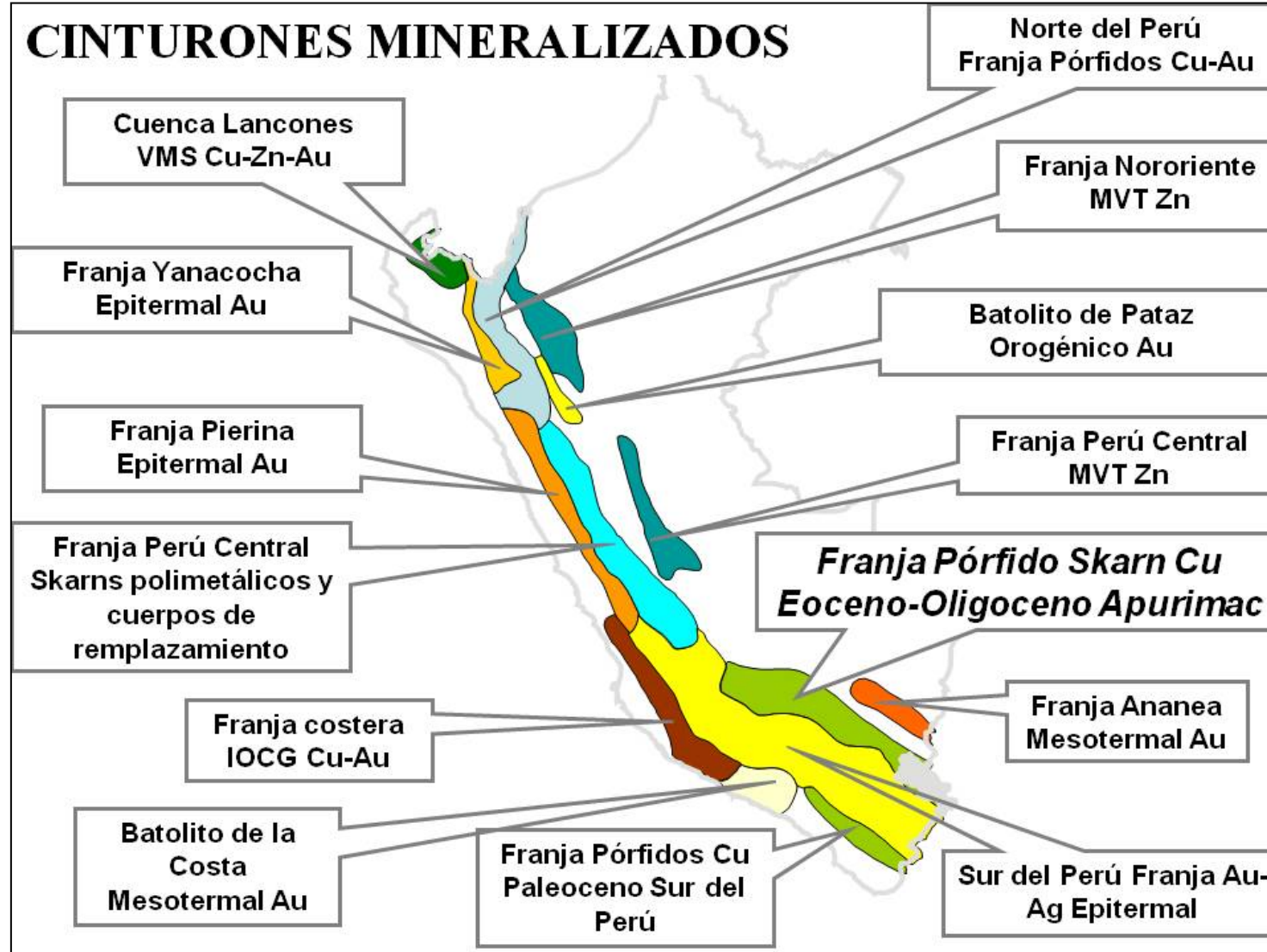


Fig. 6. Mapa metalogénico del Perú, mostrando las principales franjas mineralizadas. Resaltado el cinturón de Pórfido-Skarn Eoceno-Oligoceno de Apurímac (Adaptado de Cardozo, 2002).

## V. GEOLOGIA LOCAL

El área del yacimiento Las Bambas presenta rocas de naturaleza ácida (granodiorita) a intermedia (monzonita) que intruyen a las rocas sedimentarias y entre ellas a las calizas de la Formación Ferrobamba. Los cuerpos de skarn asociados son irregulares y están constituidos por granates, piroxenos y magnetita. Las monzonitas asociadas a los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas, Sulfobamba y Azuljaja presentan alteración potásica con biotita secundaria, feldespato potásico y magnetita (zona de mayor temperatura); gradando a una alteración propilítica con epidota, clorita, pirita y trazas de calcopirita hacia los bordes. En general estas intrusiones obedecen a un alineamiento estructural ONO-ESE similar al del *trend* del batolito Andahuaylas – Yauri de dirección ONO-ESE.

Dado que los trabajos de pruebas metalúrgicas se han efectuado en luz depósitos de Ferrobamba y Chalcobamba, se describe a continuación la geología de ambos.

### 5.1. Área Ferrobamba

Se encuentra ubicada en el sector SE del distrito de Las Bambas y es una de las áreas de mayor interés por su mineralización de Cu, con valores de Mo, Au y Ag; tiene una extensión con evidencias de mineralización de 300 ha aproximadamente.

La mineralización se encuentra tanto en los intrusivos como en los cuerpos irregulares de skarn que los rodean, justo al contacto con la secuencia carbonatada de la Formación Ferrobamba.

#### 5.1.1. Rocas Sedimentarias

En el área aflora una potente secuencia de horizontes calcáreos de la Formación Ferrobamba, constituidos por niveles de calizas (LMT) con chert, calizas fosilíferas y bioclásticas, calizas impuras con clásticos finos, así como horizontes masivos y laminados. Los estratos presentan, en general, azimuts entre 100° a 130° y buzamientos variables de 50° a 60° (zona N) y casi horizontales (al S). Las calizas han sido metamorfizadas a mármol blanco a gris (MBL), al contacto con los cuerpos de rocas intrusivas.



En general la Formación Ferrobamba, se encuentra fuertemente plegada debido a eventos tectónicos del Mesozoico superior y principios del Cenozoico.

### **5.1.2. Rocas Intrusivas**

Las calizas de la formación Ferrobamba han sido cortadas por varias fases de intrusión.

La primera fase es una llamada monzonita biotítica (MZB), de grano medio a grueso con textura porfírica; presenta “libros” de biotita hasta 4 mm de diámetro y plagioclasas seriadas. Aflora en gran parte del sector S y es una de las fases que ha formado cuerpos de skarn de granate - piroxeno > magnetita; con mineralización de calcopirita (cp), bornita (bn) y molibdenita (mo) asociada a la alteración potásica de biotita secundaria, ortosa y magnetita (Foto 3).

La segunda fase y tercera fase denominadas monzonita biotítica fina (MBF1 y MBF2), presentan grano medio a grueso, textura porfírica, “ojos” de cuarzo irregulares, plagioclasas bimodales; la diferencia es la presencia “libros” de biotita en una (MBF1) y pequeños cristales de biotita en la otra (MBF2). Forman cuerpos de skarn de granate - piroxeno > magnetita, con mineralización de calcopirita y bornita.

El pórfido también está mineralizado con calcopirita, bornita y molibdenita a manera de venillas con cuarzo y diseminaciones; la mineralización está asociada a la alteración potásica de biotita secundaria, ortosa y magnetita (Fotos 4 y 5). Para modelo geológico han sido agrupadas en una sola unidad: MBF.

La cuarta fase, monzonita máfica (MZM), es de grano medio a fino, con alto contenido de minerales máficos (hornblenda > biotita), plagioclasa seriada y escasos “ojos” de cuarzo. Aflora en el sector N y en contacto con las calizas Ferrobamba, ha originado cuerpos de skarn de granate - piroxeno > magnetita. Presenta alteración potásica de biotita secundaria, ortosa y magnetita (Foto 6).

La quinta fase es llamada monzonita hornbléndica (MZH), de grano medio, con plagioclasas tabulares cortas y hornblendas prismáticas. Aflora en la parte central

y se ramifica en forma de diques en diferentes direcciones. Esta fase cortó y enriqueció a los cuerpos de skarn a través de venillas de cuarzo con calcopirita, bornita y molibdenita (Foto 7).

La fase tardía o monzonita cuarzosa (MZQ), es de grano medio, textura porfirítica, con “ojos” de cuarzo < 15% y plagioclasas tabulares cortas. Aflora en forma de diques con tendencia NO-SE, cortando a todas las unidades precedentes. No presenta mineralización (Foto 8).

### **5.1.3. Alteración y mineralización**

La formación de los cuerpos de skarn de granate (GSK) y piroxeno (PSK) está asociada a las tres primeras fases de intrusión. Los cuerpos de skarn formados por la primera fase se encuentran bordeando a ésta y afloran en la parte S, y en los sectores central y E. Están formados por granates de grano medio a grueso, de color marrón, rojizo, verde y amarillo, intercalados con niveles de piroxenos (diópsido y ortopiroxenos principalmente) y en menor proporción magnetita.

Estos cuerpos de skarn presentan mineralización de sulfuros de cobre (bornita y calcopirita) en forma de masas irregulares, disseminaciones y en venillas de cuarzo. Los cuerpos de skarn formados por la segunda fase son muy similares excepto que no presentan venillas de cuarzo.

Son varios los factores que favorecieron la formación de cuerpos de skarn: la composición de los fluidos hidrotermales asociados a la fases de intrusión, los horizontes permeables de calizas, especialmente aquellos que contienen material clástico y el buzamiento de los estratos (50° a 60°) hacia las fuentes de intrusión.

Los endoskarns no son muy extendidos, aparecen como franjas delgadas al contacto con los cuerpos sedimentarios; en ellos se forman granates de color marrón claro, poco piroxeno, epidota, clorita, plagioclasas cálcicas, calcita y moderada silicificación. La mineralización en los endoskarns presenta calcopirita, bornita y menor molibdenita.

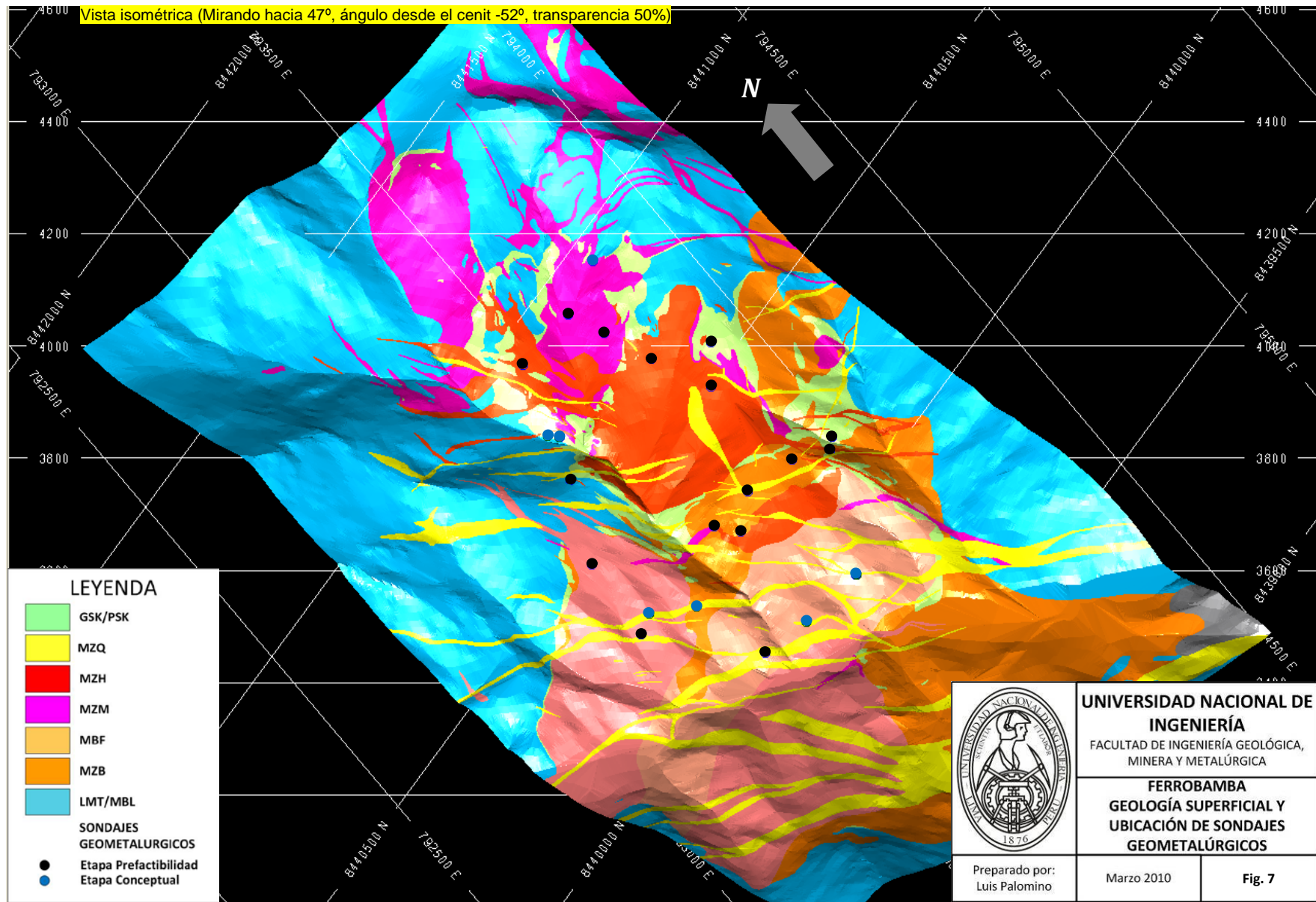
La alteración retrógrada se caracteriza por la ocurrencia de anfíboles, epidota, especularita y calcita; estos ensambles se observan generalmente en la parte distal del sistema.

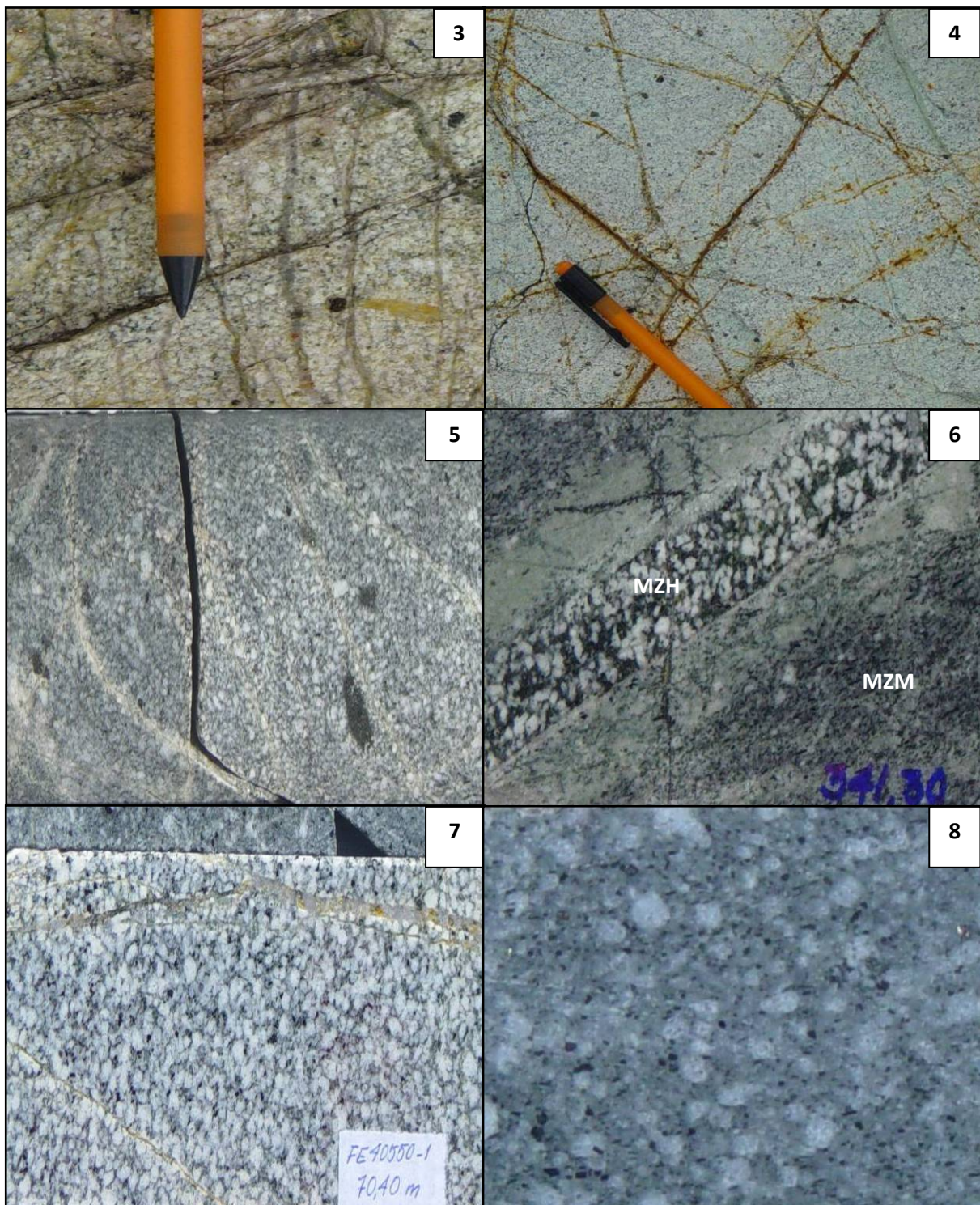
La marmolización se desarrolla sobre los horizontes de caliza, en la parte distal de un cuerpo de skarn o en contacto directo con algunos diques o cuerpos de intrusivo.

La alteración hidrotermal no está muy desarrollada. En la primera fase se presenta débil alteración potásica asociada con cuarzo. La alteración potásica ocurre como biotita secundaria y feldespato potásico, remplazando a minerales máficos y en la matriz; el cuarzo ocurre en matriz y venillas.

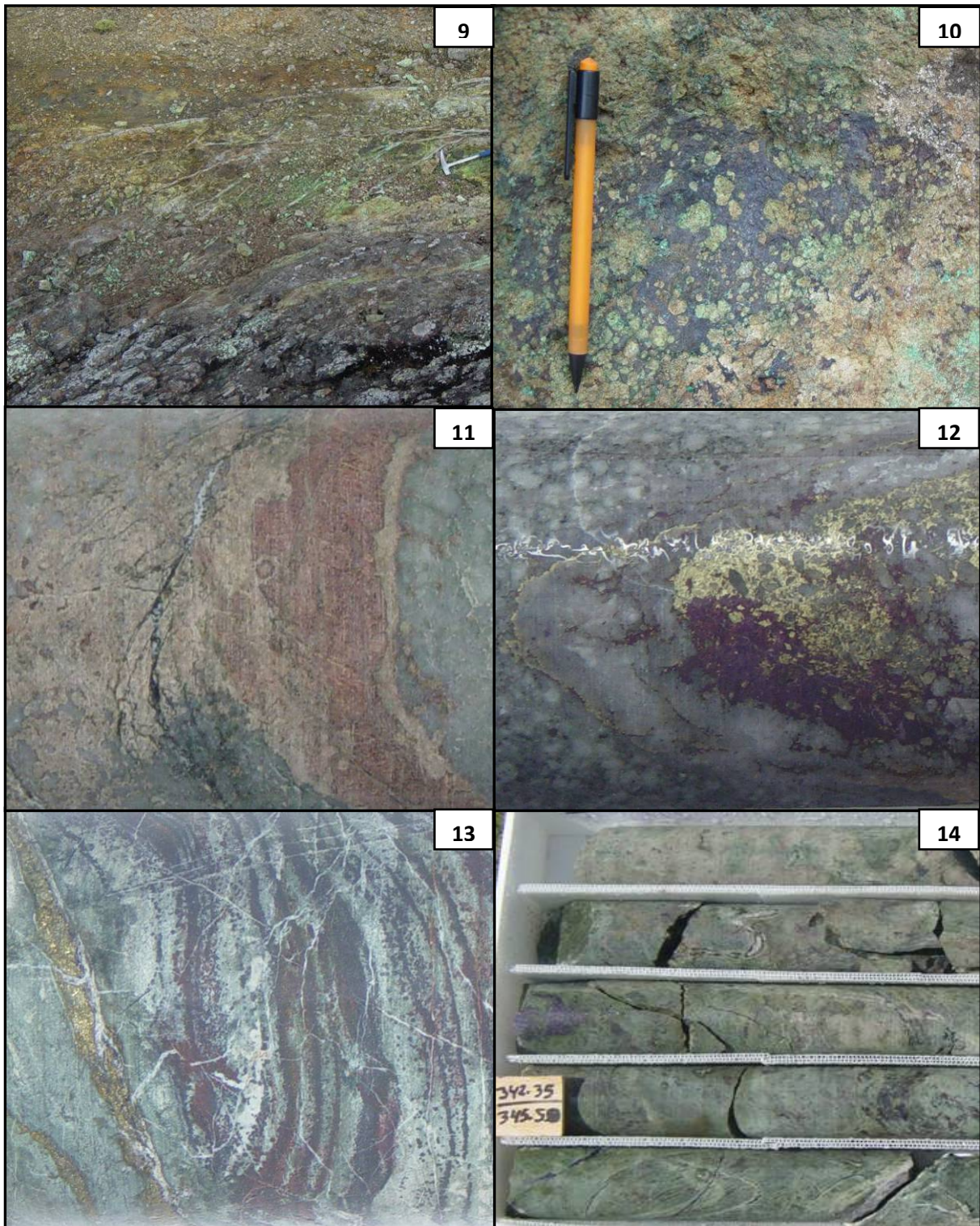
En las últimas fases la alteración se presenta con máficos cloritizados, biotita secundaria, cloritas en venillas y algunas venillas de cuarzo con halos de biotita secundaria o clorita.

La mayor parte de la mineralización es hipógena (> 80%), siendo bornita y calcopirita los minerales más abundantes. Los cuerpos de skarn están dominados por la presencia de bornita y calcopirita en forma de masas irregulares, coágulos, disseminaciones y algunas veces en venillas (+cuarzo), asociadas con molibdenita.





Fotos Ferrobamba: 3. Monzonita Biotítica (MZB) con libros de biotita y venillas delgadas de cuarzo sin mineral, 4. Monzonita Biotítica Fina 1 (MBF1) con libros de biotita y venillas de cuarzo con óxidos, 5. Monzonita Biotítica Fina 2 (MBF2) con esporádicos libros de biotita y matriz negruzca, 6. Monzonita Máfica (MZM) cortada por Monzonita Hornbléndica (MZH), 7. Monzonita Hornbléndica, 8. Monzonita Cuarzosa.

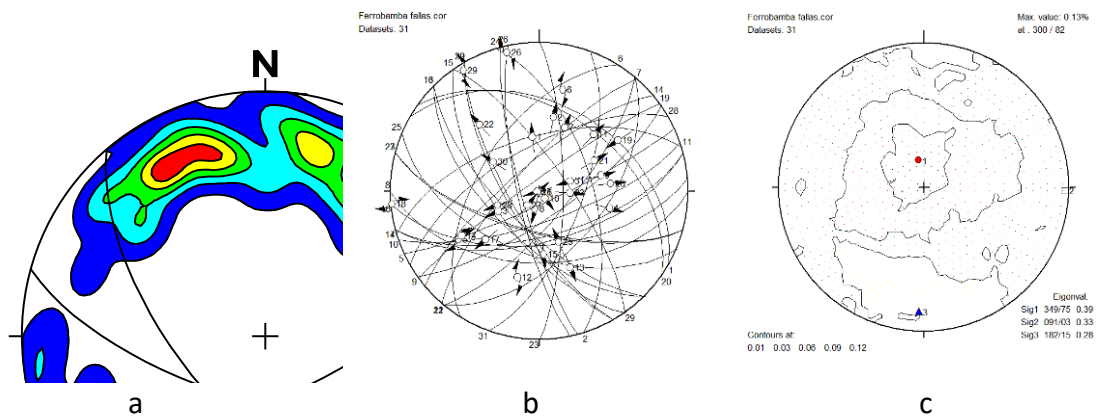


Fotos Ferrobamba: 9. Skarn de granate-piroxeno±magnetita, cortado por venillas de cuarzo con óxidos de Cu, 10. Skarn de granate, bornita y calcopirita oxidadas, 11. Endoskarn de granate, plagioclasas, piroxeno y cloritas; escasas bornita y calcopirita, 12. MBF2 con venillas de cuarzo-calcopirita-bornita, 13. Skarn de piroxeno y magnetita, bornita diseminada y venillas de calcopirita, 14. Skarn de granate + piroxenos con bornita >> calcopirita.

#### 5.1.4. Geología Estructural

La falla Chuspiri-Fuerabamba de dirección ONO-ESE es la estructura principal que atraviesa la parte S del tajo Ferrobamba, su presencia podría ser resultado de una reactivación de un fallamiento antiguo de comportamiento cinemático tipo *thrust* en su etapa inicial, pasando posteriormente a un régimen normal-transtensivo local que influenció en el emplazamiento de los plutones monzoníticos mineralizantes, además de los esfuerzos distensivos en la región como consecuencia de una deformación regional. Otras estructuras asociadas al fallamiento principal son las fallas tensionales NE-SO dispuestas principalmente en el lado N de la falla Chuspiri-Fuerabamba; estas fallas secundarias son el resultado de la cinemática de esta estructura principal, así como de esfuerzos tensionales en el sector (Fig. 9).

De acuerdo a su disposición geométrica se reconocen hasta tres patrones de cizallamientos: Un patrón principal ONO-ESE con buzamiento al SO que está asociada al sistema del fallamiento principal y otras dos familias con orientaciones NE-SO y NO-SE asociadas a fallas tensionales (Fig. 8a). El análisis de los estereogramas (Círculos máximos y tensores de esfuerzos) evidencian regímenes extensional en la dirección N-S, asociadas a fallamientos de tendencia normal (Figs. 8b, 8c).



Figs. 8 a, b y c. Diagrama de frecuencia y estereogramas de fallas del Yacimiento Ferrobamba. Se indica la orientación calculadas de los ejes de esfuerzos  $\sigma_1$  rojo,  $\sigma_2$  blanco,  $\sigma_3$  azul (Tomado de Lipa, 2007).

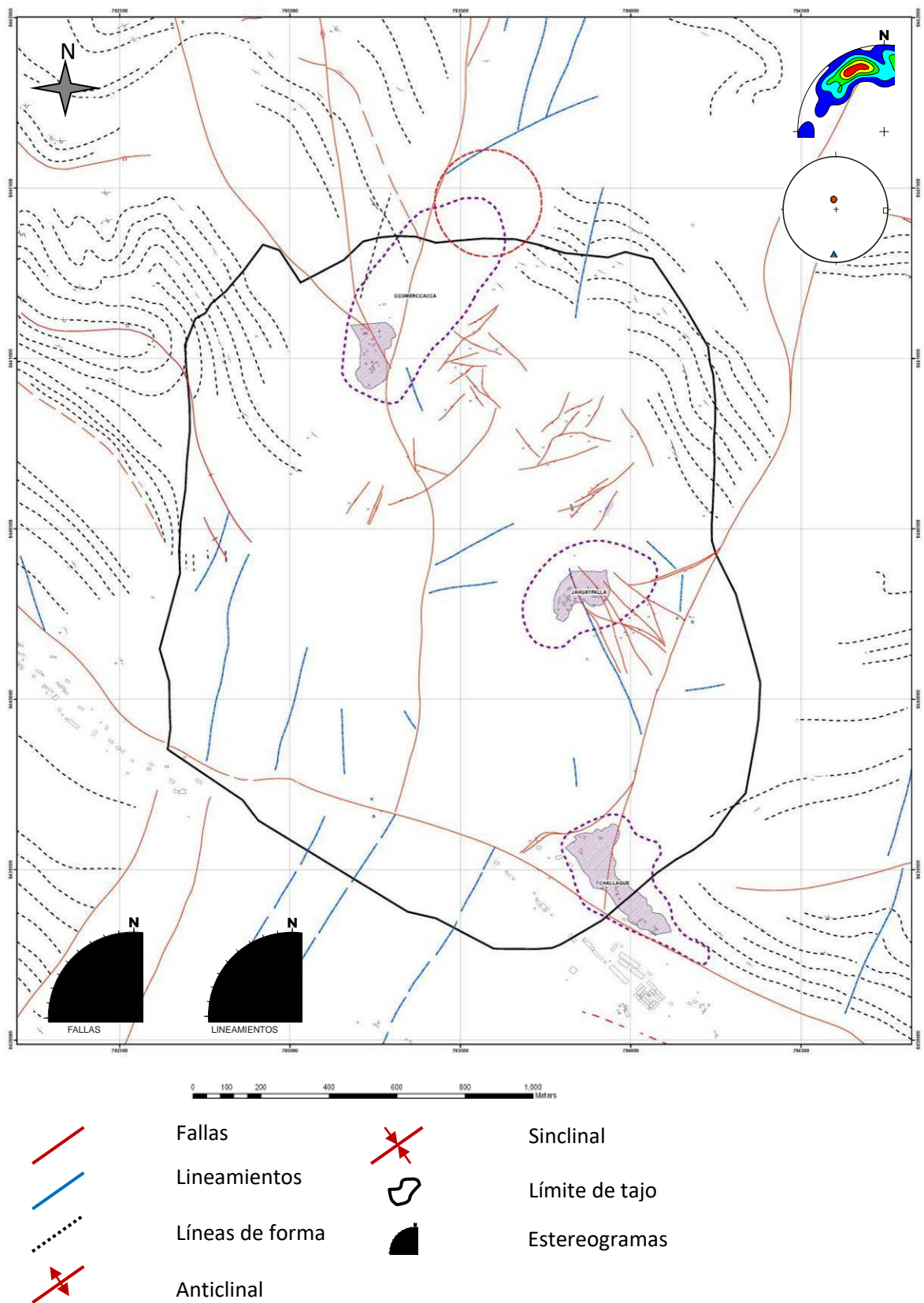


Fig. 9. Mapa estructural del yacimiento Ferrobamba (Tomado de Lipa, 2007)



## **5.2. Área Chalcobamba**

Se encuentra en la parte central del proyecto Las Bambas con una extensión mineralizada de 300 ha aproximadamente.

Las calizas de la Formación Ferrobamba han sido afectadas por diferentes fases de intrusión; es así que la mineralización se ha hospedado principalmente en un skarn de magnetita y granate, ubicado en la parte central del prospecto y que configura los relieves más elevados y prominentes dentro del área.

### **5.2.1. Rocas Sedimentarias**

Afloran secuencias sedimentarias del Cretáceo Inferior al Superior (Formaciones Mara y Ferrobamba); estas unidades están cortadas por una serie de intrusiones del Paleógeno, las cuales varían en composición desde dioritas, monzonitas a granodioritas, y algunas fases tardías muy localizadas. Estos paquetes sedimentarios en contacto con los intrusivos forman hornfels y skarn.

Existen algunas fracturas locales de dirección N–S que atraviesan la parte central del área. Los cuerpos de skarn que afloran en la parte alta de Chalcobamba forman parte de un anticlinal cuyo eje tiene aproximadamente una dirección E–O (V. Lipa, comunicación personal).

### **5.2.2. Rocas Intrusivas**

La Diorita (DI), primer evento intrusivo reconocido en el área, se emplazó a manera de sills dentro de la secuencia carbonatada de la Formación Ferrobamba. Es probable que gran parte de la formación de los cuerpos de magnetita (MSK) esté asociada a la diorita tanto como la generación de granates, epidota, anfíboles y plagioclasas, pero con pobre mineralización de Cu (Foto 17).

La Granodiorita (GD) se reconoce al E y S del área; es un stock de grano grueso que presenta biotitas como agregados. No se ha observado mineralización asociada, más bien corta a algunos cuerpos de skarn en el sector E y NE.

La Monzonita Hornbléndica (MZH) presenta textura porfírica de grano medio y cristales de hornblenda de hábito acicular. Se emplaza en la parte central y se prolonga hacia el SE y S del área. Este stock forma un exoskarn de granates, de grano medio a grueso, los que varían desde tonos verdes a marrones y piroxenos en menor porcentaje. La presencia de calcopirita es escasa (trazas). Las evidencias de mineralización se encuentran en el sector S y N del área de afloramiento de skarn (Foto 18).

La fase de Monzonita Máfica (MZM) tiene alto contenido de máficos (> 30%); aflora en la zona N y NE. Genera un exoskarn de granates marrones que al parecer no contiene mucha mineralización de sulfuros de cobre y un endoskarn de plagioclasas y cloritas con moderada diseminación de calcopirita (Foto 19). La siguiente fase, Monzonita Biotítica (MZB), tiene textura porfírica de grano medio, con pequeños “libros” de biotita y hornblendas prismáticas cortas. Se emplaza como diques y pequeños cuerpos principalmente en la zona central de mayor mineralización extendiéndose al O del Cerro Pichacani (Foto 20).

La última fase, o Monzonita Cuarzosa (MZQ), presenta textura porfírica de grano medio a grueso, con “ojos” de cuarzo y ocurrencias de cristales de feldespatos potásico; cuando la presencia de estos cristales es significativa, la roca adopta el nombre de Pórfido Cuarzo-Feldespatos (QFP). Es una fase tardía que aflora como diques de dirección NO–SE y O–E; aflora en la parte S y N del área de Chalcobamba. Este evento corta a todas las unidades antes descritas, y es estéril principalmente (Foto 21).

### **5.2.3. Brechas**

La brecha (BX) aparece en el sector N de Chalcobamba, como un conjunto de cuerpos irregulares y alargados, con dirección preferente NO-SE; es de naturaleza tectónica, matriz soportada y polimíctica. Los clastos son principalmente de MZM, skarns, mármol y MZB y se presentan subredondeados. La matriz es polvo de roca, siendo sus componentes principales arcillas, clorita y calcita. Es cortada por diques tardíos de MZQ. La mineralización se presenta en clastos y matriz a manera de diseminaciones de sulfuros de cobre y menor cantidad de óxidos.

La brecha en Chalcobamba no aflora, por sondajes se le ha reconocido en un área de 1 km x 0.5 km aproximadamente.

#### **5.2.4. Alteración y mineralización**

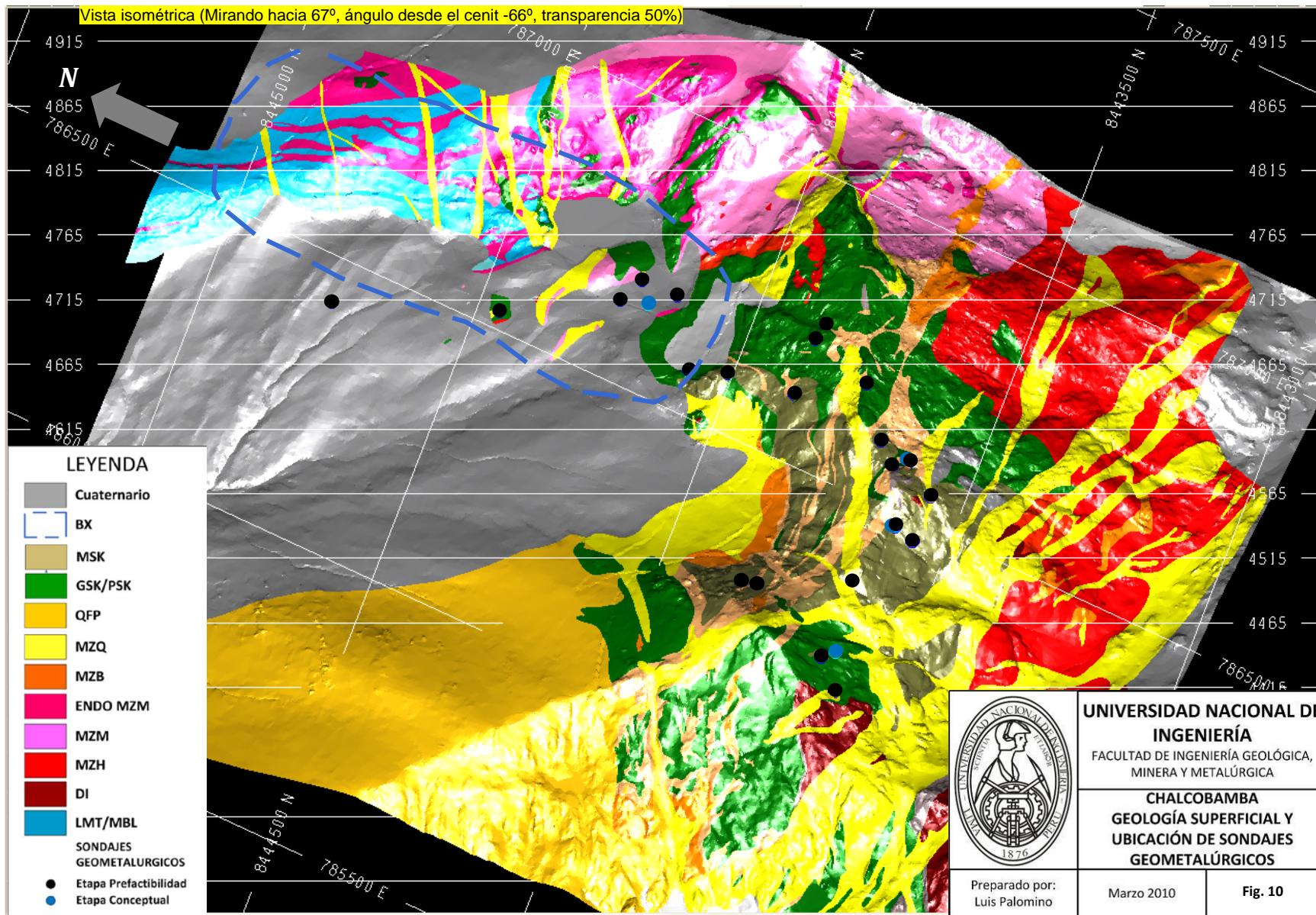
Al parecer, la MZB que corta a los cuerpos de skarn de magnetita preexistentes, forma un exoskarn muy avanzado con desarrollo de granates de color marrón claro y endoskarn (EPG/EGT) de granates, epidota, anfíbol, especularita y albita; dentro del endoskarn se encuentra mineralización de calcopirita asociada con molibdenita. Es muy probable que esta fase aportara mineralización en los skarns de magnetita (MSK) y granate (GSK) que fueron formados por las anteriores fases. La alteración retrógrada es visible en los afloramientos de skarn y endoskarn; se ha identificado epidota, anfíbol, especularita, clorita y calcita. La mineralización de calcopirita aquí es muy variable.

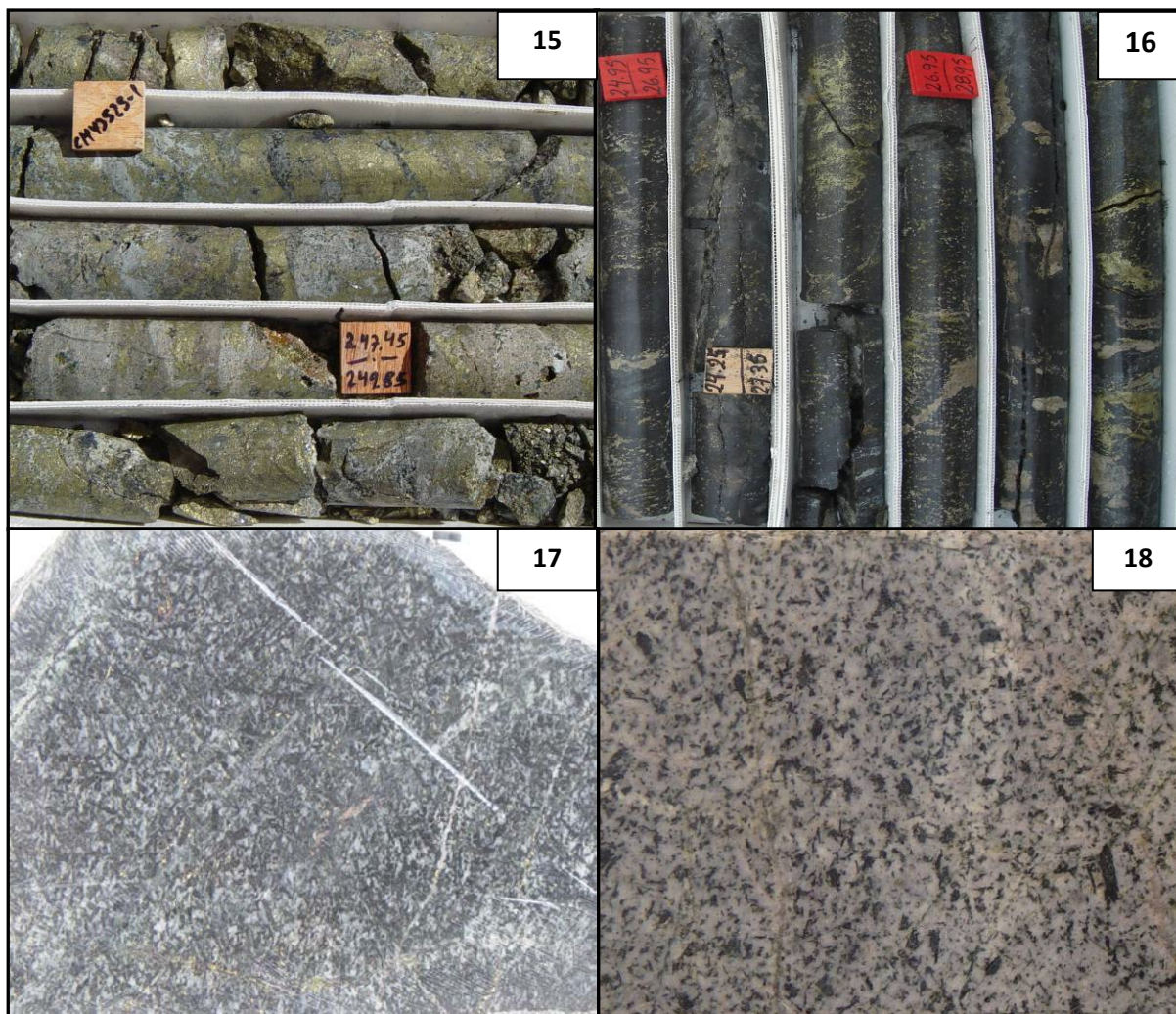
Dentro de los intrusivos la alteración dominante es la potásica: presenta un ensamble de cuarzo, biotita secundaria y ortosa en la matriz, con contenidos variables de calcopirita asociados a este ensamble.

La mineralización hipógena de cobre está asociada a los cuerpos de skarn de magnetita y granate–magnetita (Fotos 15 y 16); las menas principales de cobre son calcopirita y bornita en trazas, encontrándose sus mayores contenidos en los cuerpos de magnetita. La calcopirita se presenta en forma de masas irregulares, coágulos, venillas irregulares y diseminaciones. Se observa en sondajes alteración de biotita secundaria asociada con mineralización diseminada de calcopirita y en menor proporción bornita.

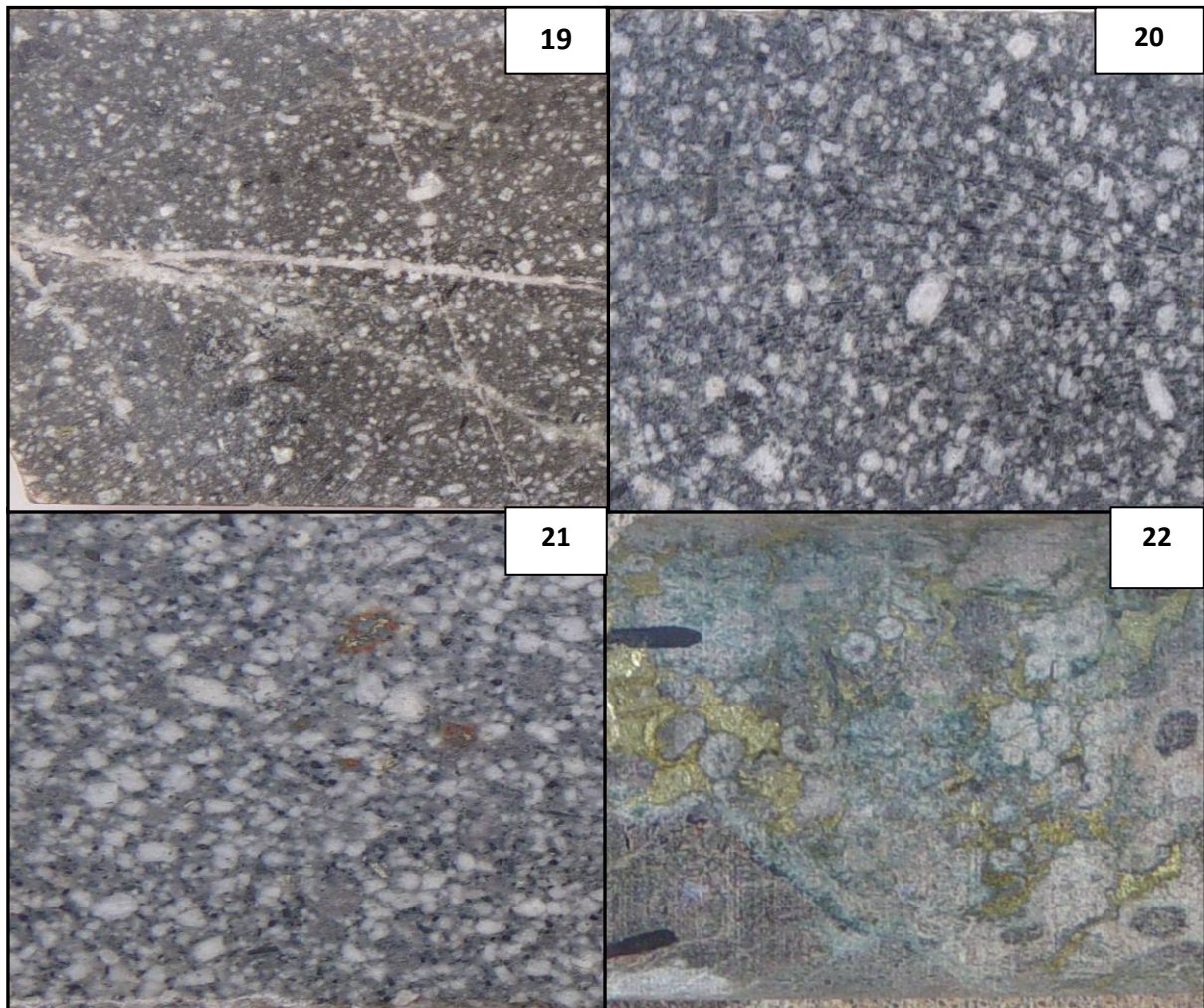
La MZM, que se encuentra en el sector N, presenta algunos niveles enriquecidos con cuprita y cobre nativo y trazas de calcosita (cc) asociadas con óxidos de Fe.

La mineralización de calcopirita en los sistemas del tipo pórfido se presenta en forma diseminada y en algunas venillas de cuarzo.





Chalcobamba. Fotos: 15. Skarn de granate marrón – amarillo con mineralización masiva de calcopirita, 16. Skarn de magnetita y piroxeno con mineralización de calcopirita masiva, 17. Diorita (DI) de grano fino, 18. Monzonita hornbléndica con venillas de cuarzo ± calcopirita y débil halo de ortosa.

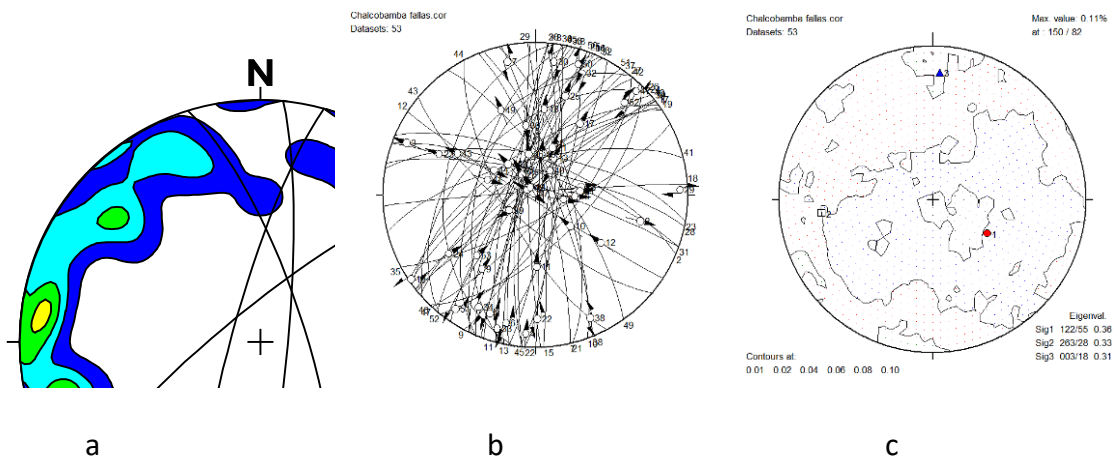


Chalcobamba. Fotos: 19. Monzonita máfica (MZM) con fuerte alteración de biotita secundaria y venillas de cuarzo  $\pm$  calcopirita, 20. Monzonita biotítica (MZB), 21. Monzonita cuarzosa (MZQ) con trazas de calcopirita, 22. Alteración retrógrada: granate alterado a anfíbol y especularita, con calcopirita en masas irregulares.

### 5.2.5. Geología Estructural

El yacimiento Chalcobamba está controlado por dos estructuras principales de dirección ONO-ESE (falla Chuspiri-Fuerabamba al S y la falla Pichacani al N del yacimiento) y entre ambas se sitúan fallas tensionales postminerales de tendencia normal NNE-SSO (Fig. 12); además entre otras estructuras existen numerosos lineamientos que están asociados a los planos de diaclasamiento de los diversos plutones monzoníticos del lugar. Por otro lado se ha reconocido restos de un antiforme con gruesas secuencias de estratos de Skarn de Magnetita (MSK) localizados al S del cerro Pichacani.

Lipa (2007) desarrolló un análisis estructural y reconoció cinco patrones de fallamientos, un patrón ONO-ESE con buzamiento al NNE coherente con el fallamiento principal en la zona (Fig. 11a). Los otros cuatro patrones están relacionados a fallamiento tensional en la zona, dentro de los cuales uno principal tiene orientación NNE-SSO con buzamiento al ENE cercano a los 90°, las otras dos familias con orientaciones de tendencia N-S y buzamientos al E de alto ángulo cercano a los 90°. El análisis de los estereogramas (Círculos máximos y tensores de esfuerzos) evidencian regímenes extensional-transcurrentes en la dirección N-S asociados a fallamientos de tendencia normal y tipo *strike slip fault* (Figs. 11b, 11c) y de modo general pueden relacionarse a un fallamiento tipo *riedel*.



Figs. 11 a, b y c: Diagramas de frecuencia y estereogramas de fallas del Yacimiento Chalcobamba. Se indica la orientación calculadas de los ejes de esfuerzos  $\sigma$  1 rojo,  $\sigma$  2 blanco,  $\sigma$  3 azul (Tomado de Lipa, 2007).

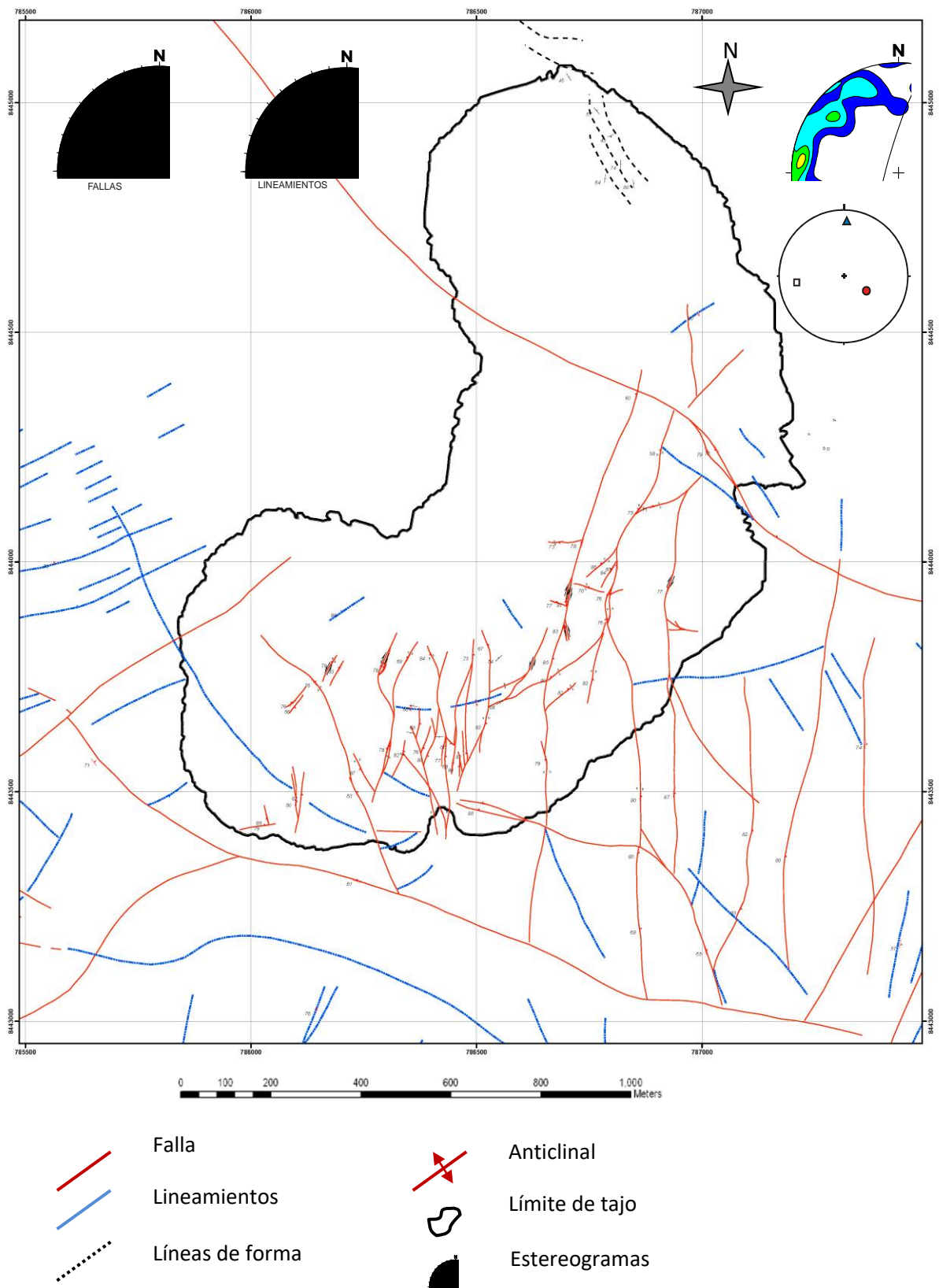


Fig. 12. Mapa estructural del yacimiento Chalcobamba (Tomado de Lipa, 2007)



## **VI. LA GEOMETALURGIA EN EL DESARROLLO DE UN PROYECTO MINERO**

En esta parte del trabajo se exponen las consideraciones geometalúrgicas generales que se deben tener en cuenta para desarrollar el trabajo de selección de muestras para las pruebas. En este capítulo se describe en términos sencillos los procesos involucrados en la ejecución de las pruebas metalúrgicas. También se hace un análisis brevemente las fases por las que transita un proyecto minero, como referencia general.

### **6.1. Definición**

La Geometalurgia es una disciplina que integra básicamente a la Geología y la Metalurgia extractiva. De este modo, la Geometalurgia se ocupa de clasificar los minerales dentro de un yacimiento según deba ser su comportamiento frente a un tratamiento metalúrgico.

La Geometalurgia es una disciplina transversal dentro de las actividades mineras, que tiene el objetivo de sistematizar varias de las complejidades asociadas a la determinación del valor del recurso y consecuentemente su explotación económicamente favorable. Además, la Geometalurgia es totalmente aplicable, tanto en los estudios de factibilidad como en las etapas de operación.

Es una premisa fundamental de la Geometalurgia que las características geológicas de un depósito mineral condicionan enormemente la respuesta metalúrgica.

La Geometalurgia es una disciplina joven, emergente, que pretende llenar la brecha disciplinaria entre geología y metalurgia.

### **6.2. Alcance**

El propósito de la Geometalurgia es definir y cuantificar todas las propiedades del mineral (mineralógicas, físicas, químicas) que pueden tener un impacto sobre la minería y el procesamiento del mineral en la vida útil de la mina.

Se refiere a la relación existente entre el comportamiento metalúrgico del mineral que es tratado en la planta de beneficio y las características geológicas que afectan dicho comportamiento, tales como las especies mineralógicas presentes, la dureza, el grado de fracturamiento, las texturas presentes, entre otras.

Un proyecto de geometalurgia provee valiosa información a los departamentos de mina y procesamiento, a fin de poder predecir el comportamiento del mineral dentro del proceso en términos de eficiencia y recuperación metalúrgica, basado en las características del mineral.

### **6.3. Plan geometalúrgico**

Previo al comienzo de una operación minera (o cuando una operación en curso lo necesite), se debe determinar la cantidad y calidad de mineral que va a tener valor económico y que será vendido luego. Esto requiere la implementación de un programa de pruebas metalúrgicas. Cronológicamente, en la vida de la mina, comienza durante la exploración del proyecto y continúa aún en la explotación.

La selección se debe hacer con la información geológica conocida de un grupo de muestras de prueba para determinar parámetros metalúrgicos y la distribución de estos parámetros a través de un cuerpo mineral usando una técnica estadística aceptada que soporte la modelación de procesos.

La distribución puede estar influenciada por la estructura geológica del cuerpo mineral, en donde la litología puede tener un efecto sobre alguno de los parámetros. Dicha distribución cuantifica la variabilidad del depósito mineral en términos de parámetros de proceso tales como dureza, cinética de flotación y cinética de lixiviación, por ejemplo. Los datos son entonces aplicados al modelo de bloque del depósito (modelo geológico) o al plan minero, típicamente a través del uso de la geoestadística. Desafortunadamente, no existe una fórmula sencilla para el desarrollo de este plan. La cantidad y distribución de muestras y las pruebas a desarrollarse deben definirse con el conocimiento disponible del yacimiento.

La cantidad de muestras para las pruebas debe ser limitada, pero lo suficientemente representativa para garantizar que la información producida pueda ser atribuida luego a todo el depósito o a una parte significativa del mismo.

#### **6.4. Caracterización geometalúrgica**

En la mayoría de yacimientos existe la suficiente variación como para justificar la existencia de varias categorías para describir diferentes tipos de mena. Si bien el análisis químico y la mineralogía pueden hacerlo, no son suficientes. Las menas también deben describirse de acuerdo a la respuesta metalúrgica que se espera tengan.

Esta modelización geometalúrgica se puede definir como un enfoque que mide la variabilidad dentro de un yacimiento y de la cuantificación de esta variabilidad en la respuesta metalúrgica del mineral, y cómo se podría extrapolar a la producción en gran escala.

Así, al integrar una definición geológica y metalúrgica, se dice que una Unidad Geometalúrgica (UGM) o *End Member* es un conjunto de minerales (menas) y/o rocas que poseen un único arreglo de propiedades texturales y de composición a partir de las cuales se puede predecir que tendrán similar respuesta metalúrgica. Se recomienda hacer una cantidad importante de estudios petrográficos, que sirva como base para establecer los diferentes tipos End Members.

En el desarrollo de este trabajo, los parámetros principales para definición de un End Member serán, entre otros:

- Tipo de roca que aloja al mineral económico.
- Tipo de alteración que aloja al mineral económico
- Ley económica de elementos químicos.
- Dureza.
- Mineralogía Modal.
- Tamaño de grano.
- Relaciones elementales entre minerales (ratios).

Una correcta aplicación de la caracterización geometalúrgica ayudará en la definición del proceso final de conminución (moliendabilidad) y de recuperación (flotación o lixiviación).

## 6.5. Muestreo

La cantidad de muestra, el método para obtenerla, su ubicación dentro del depósito y las características químicas, físicas y mineralógicas debieran definirse por adelantado. Esto requiere que el programa de pruebas metalúrgicas para elegir las muestras debe delinearse con el mayor detalle posible, previo a la toma de dichas muestras.

La determinación del criterio a usarse en el muestreo debe basarse en el mejor entendimiento disponible de la geología, de las composiciones químicas y mineralógicas de las zonas mineralizadas y del plan minero. El programa de muestreo debe cubrir todo el rango de las características del depósito mineral (ley, dureza, % de mineral soluble, etc.) usando el menor número de muestras; además, debe proporcionar el material suficiente que sirva para cuantificar la variación de dichos parámetros dentro de cada End Member.

Las pruebas metalúrgicas utilizan frecuentemente sólo las muestras tomadas durante el programa de perforación geológica, de modo que estas pueden ser núcleos completos de perforación diamantina o rípios de perforación RC (*Reverse Circulation Drilling* – Perforación por circulación de aire en reverso), aunque estos últimos no son muy apropiados para pruebas metalúrgicas, debido a que presentan una distribución granulométrica anormal.

Un punto importante es la verificación final de las características geológicas de las muestras; se debe asegurar que, en efecto, tengan las características adecuadas para las pruebas metalúrgicas planificadas.

La manipulación y almacenamiento de las muestras deben ser planificados y ejecutados para eliminar peligros de contaminación y alteración o cambio de las propiedades físicas o químicas de las muestras que puedan afectar los resultados. Muchos procesos metalúrgicos son afectados por el tamaño de material, la

humedad y la exposición a las condiciones atmosféricas. Por ejemplo, los sulfuros no estables deben almacenarse en bolsas selladas con nitrógeno en lugar de aire, para que no ocurran procesos de oxidación y los minerales de cobre permanezcan inertes.

## **6.6. Pruebas Metalúrgicas**

Los principales parámetros de las plantas de proceso, tales como el tamaño de grano para la molienda, el número de etapas de flotación, los tiempos de permanencia en los procesos de lixiviación, etc., se deben completar a partir de muestras especialmente tomadas para las pruebas metalúrgicas. Estas pruebas se encargan de conocer la respuesta de las muestras a los diferentes objetivos de los procesos metalúrgicos, tratando de reproducir las condiciones de una futura planta de procesos.

Dado que el propósito del trabajo no es explicar la mecánica de dichas pruebas, sólo se describirá brevemente la naturaleza las pruebas metalúrgicas aplicadas en el proyecto minero Las Bambas.

### **6.6.1. Conminución**

La conminución es la reducción progresiva y sistemática del tamaño de un material. Normalmente es la primera etapa en el procesamiento de minerales.

Los objetivos de la conminución son, entre otros:

- Producir partículas de tamaño y forma adecuadas para su utilización directa.
- Liberar los materiales valiosos de la ganga de modo que ellos puedan ser concentrados.
- Aumentar el área superficial disponible para reacción química.

Dependiendo del rango de tamaño de partículas la conminución se acostumbra a dividir en:

- Chancado para partículas gruesas mayores que 2"
- Molienda para partículas menores de 1/2" - 3/8"

La conminución en una planta de procesamiento de minerales es una secuencia de procesos de chancado y molienda.

Se reduce el tamaño de partícula de la mena desde la operación en mina hasta un nivel tal que el mineral y la ganga se encuentran como partículas separadas.

El chancado se alcanza por compresión del mineral contra superficies rígidas o por su impacto contra superficies moviéndose forzosamente en una trayectoria rígida.

La molienda es acompañada por abrasión e impacto del mineral debido al movimiento libre de medios de molienda no conectados, tales como, barras, bolas o *pebbles* (guijarros).

### **6.6.2. Flotación**

La flotación es un proceso hidrometalúrgico, de naturaleza físico-química, que permite la separación de los minerales sulfurados del resto de los minerales que componen la mayor parte de la roca original, una vez que ha sido reducido a partículas de tamaño tales que se puedan aprovechar sus propiedades químicas para colectarse al añadir diferentes insumos al proceso. En las celdas de flotación (grandes tanques que contienen la pulpa, que es la mezcla de mineral molido y agua), se genera espuma cuyas burbujas arrastran el cobre y otros minerales sulfurados contenidos en la pulpa. Luego de varios ciclos en que las burbujas rebasan el borde de las celdas, se obtiene el concentrado, con el contenido de cobre aumentado hasta 30 veces desde sus valores originales en roca (alrededor de 1%).

Los reactivos que se incorporan en la molienda tienen diferentes naturalezas y cumplen diferentes funciones:

- **Espumante:** Reactivo que se agrega a la pulpa de mineral en el proceso de flotación, con el objeto de reducir la tensión superficial de la pulpa y producir burbujas que permitan captar las partículas de minerales sulfurados. El más conocido de éstos es el aceite de pino.

- **Colector:** Reactivo de formulación compleja que se agrega a la pulpa de mineral y que tiene por objeto recubrir las partículas de minerales sulfurados y provocar una separación del agua (efecto hidrófobo) y una adherencia a las burbujas de aire, lo cual permite finalmente colectarlas en forma selectiva en la parte superficial de las celdas que contienen la pulpa. Para el Cu, son de uso común los xantatos.
- **Depresante:** Reactivo de formulación compleja que se agrega a la pulpa de mineral, que actúa en forma selectiva con el objeto de impedir que ciertos minerales sulfurados que no se consideran útiles (como la pirita, que es un sulfuro de hierro) sean colectados en el proceso de flotación.
- **Dispersante:** Reduce las lamas de lodo que se encuentran sobre los minerales económicos, devolviéndolas a la pulpa nuevamente.
- **Otros aditivos:** Como la cal, sirven para estabilizar la acidez de la mezcla en un valor de pH determinado, proporcionando el ambiente adecuado para que ocurra todo el proceso de flotación.

### **6.6.3. Procedimientos generales para circuitos de conminución y flotación**

Existen dos tipos de pruebas, dependiendo del volumen de material analizado: Pruebas a escala de laboratorio (*bench-scale*) y pruebas a escala de planta piloto (*pilot-scale*). Las pruebas bench-scale requieren menor cantidad de muestra, generalmente son en circuito cerrado y muy pocas son plenamente continuas en el tiempo. Los requerimientos de muestra para estas pruebas son 250 Kg aproximadamente.

Un programa de pruebas para planta piloto está caracterizado por dos factores primarios: operación continuada y el circuito operativo funcionando con el mismo diseño de la futura operación.

## VII. GEOMETALURGIA EN LA EXPLORACION DE LOS YACIMIENTOS FERROBAMBA Y CHALCOBAMBA

Los estudios geometalúrgicos desarrollados en el proyecto Las Bambas comienzan en el año 2006 y se prolongan hasta el 2008. Se expone a continuación la secuencia de los mismos, explicando con mayor detenimiento los correspondientes a la “Fase Conceptual” y “Fase de Prefactibilidad” en los que el suscrito tuvo participación directa.

### 7.1. Estudios Preliminares

En 2006 se seleccionaron muestras de 2 sondajes de Ferrobamba para formar compósitos que fueron enviados a Canadá. Los resultados de las pruebas metalúrgicas fueron alentadores:

- Las características de composición y fragmentación de las muestras se presentaron favorables para el procesamiento metalúrgico.
- Las simulaciones en circuito cerrado de circuitos continuos de flotación fueron estables y los resultados metalúrgicos, excelentes.

Tabla 3. Resumen de muestras enviadas para pruebas metalúrgicas (2006)

Sondaje	Línea	Características
FE39650-2	HQ	¼ de testigo para pruebas de molienda y flotación (Pórfido)
FE40050-6	HQ	¼ de testigo para pruebas de molienda y flotación (Skarn)

### 7.2. Fase Conceptual

#### 7.2.1. Definición de End Members

En conjunto con la oficina de Xstrata Servicios Técnicos (Chile), los End Members que se definieron fueron:

- Ferrobamba: Intrusivo y Skarn.
- Chalcobamba: Intrusivo, Skarn y Skarn de magnetita



### 7.2.2. Campaña de Perforación

Entre mayo y junio de 2007 se desarrolló una campaña de perforación en Ferrobamba (6 sondajes) y Chalcobamba (4 sondajes), para seleccionar muestras que soporten el estudio geometalúrgico conceptual conducido por la oficina de Xstrata Servicios Técnicos. Para el programa de perforación se ejecutaron “sondajes gemelos” (*Twin holes* en inglés), paralelos y muy cercanos (< 1 m) a otros sondajes que sirvieron para evaluación de recursos, los cuales tenían resultados conocidos de leyes de cobre<sup>4</sup>.

En esta campaña se perforaron 880.25 m. en línea HQ.

Tabla 4. Resumen de campaña de perforación geometalúrgica Las Bambas – Fase Conceptual

Sondaje Geometalúrgico	Sondaje de Recursos	Area	Este	Norte	Cota	Azimet (°)	Inclinación (°)	Profundidad (m)
FEM39750-1	FE39750-1	Ferrobamba	793650.45	8439758.15	3835.58	35	-59.0	72.95
FEM39750-2	FE39750-2	Ferrobamba	793432.76	8439751.50	3822.37	35	-57.2	92.00
FEM40000-1	FE40000-2	Ferrobamba	793228.55	8439998.94	3871.29	35	-59.3	100.00
FEM40075-1	FE40075-2	Ferrobamba	793112.64	8440079.07	3876.03	45	-58.9	100.00
FEM40675-1	FE40675-2	Ferrobamba	793382.01	8440685.77	3922.36	35	-58.7	85.00
FEM40700-1	FE40700-2	Ferrobamba	793359.62	8440712.18	3926.93	20	-59.3	82.25
CHM43600-1	CH43600-1	Chalcobamba	786462.33	8443601.01	4580.72	0	-69.7	70.00
CHM43600-3	CH43600-3	Chalcobamba	786171.84	8443603.22	4584.21	315	-58.7	106.60
CHM43625-2	CH43625-3	Chalcobamba	786593.38	8443630.48	4592.04	0	-69.5	85.00
CHM44250-4	CH44250-5	Chalcobamba	786761.70	8444244.10	4443.62	180	-60.1	86.45

### 7.2.3. Procedimientos para muestreo geometalúrgico

El procedimiento se basa en estos principios:

- Pocas muestras: Simplificar, obteniendo pocas unidades geometalúrgicas y, dentro de ellas, un número suficiente de muestras.
- Alta representatividad (composición y distribución espacial): Las muestras deben representar a un porcentaje significativo del depósito (>90%).
- Garantizar que las pruebas metalúrgicas se ejecuten con muestras homogéneas (95% confianza).
- Realizar pruebas estandarizadas, con protocolos detallados.

<sup>4</sup> La lista completa de elementos ensayados es: Ag, Al, As, Au, Ba, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Te, Ti, Tl, V, W, Zn, Zr

Cuando los puntos anteriores han sido satisfechos, la información que se obtiene es confiable, la caracterización metalúrgica es sólida, espacialmente identificable, de validez bien acotada y con resultados trazables.

#### 7.2.4. Selección de muestras para pruebas de molienda y flotación

##### 7.2.4.1. Pruebas de Molienda:

Se seleccionaron fragmentos enteros de testigo de perforación o *core* (previos al corte para preparación de muestra) entre 10 y 20 cm para pruebas de JK Drop Weight Test<sup>5</sup> (llamada también Prueba de Caída), para cada una de los End Members definidos en 7.2.1.

Tabla 5. Resumen de selección de muestras para pruebas de molienda (JK Drop Weight Test), Proyecto Las Bambas-Fase Conceptual

Yacimiento	End Member	Muestras	Peso (Kg)
Ferrobamba	Intrusivo	100	47.59
	Skarn	100	60.25
Chalcobamba	Intrusivo	100	47.30
	Skarn	100	61.68
	Skarn de magnetita	100	70.13
		<b>500</b>	<b>286.95</b>

##### 7.2.4.2. Pruebas de Flotación:

Se seleccionaron fragmentos de 3/4 de core, obtenidos después de la recolección de muestras para pruebas de molienda. La cuarta parte restante fue enviada a análisis químico; con estos datos de leyes se determinaron las muestras que formaron los compósitos<sup>6</sup> para cada uno de los End Members definidos en 7.2.1.

<sup>5</sup> La prueba de JK Drop Weight Test y las pruebas de conminución adicionales son brevemente descritas en el Anexo B

<sup>6</sup> Estos compósitos se distribuyeron en tres grupos: De ley alta, de ley promedio y de ley baja

Tabla 6. Resumen de selección de muestras para pruebas de flotación, Proyecto Las Bambas- Fase Conceptual

Yacimiento	End Member	Muestras	Peso (Kg)
Ferrobamba	Intrusivo	37	226.80
	Skarn	30	241.10
Chalcobamba	Intrusivo	27	197.40
	Skarn	35	334.40
	Skarn de magnetita	22	264.98
		<b>151</b>	<b>1264.68</b>

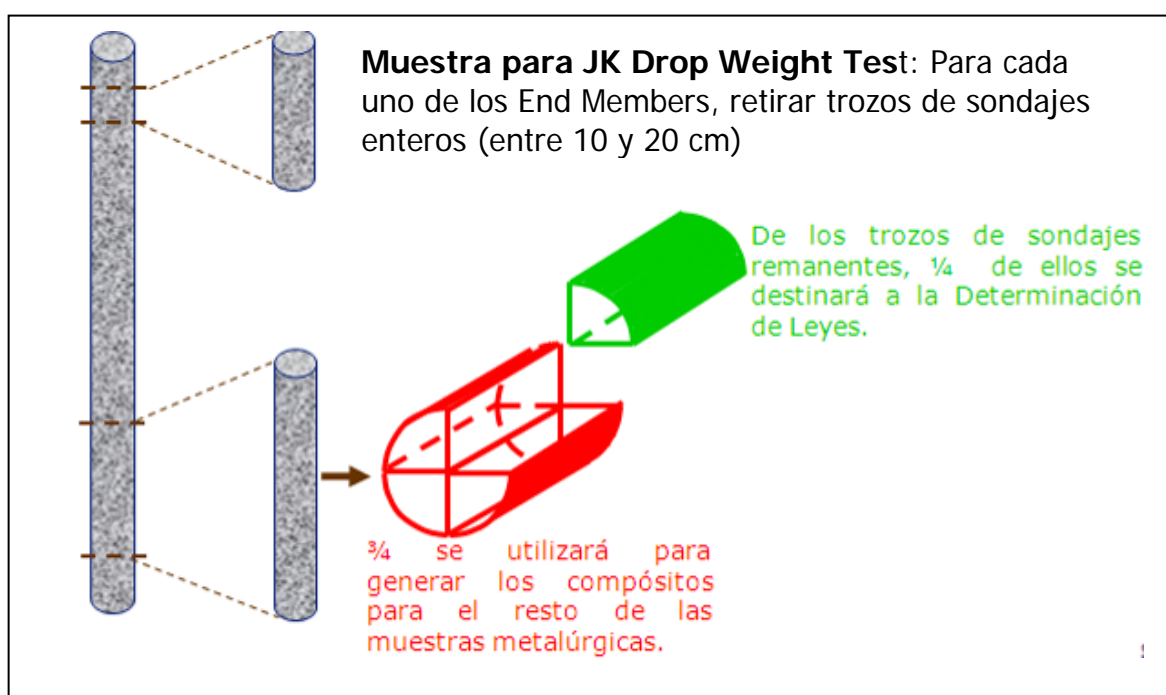


Fig. 13. Fase Conceptual: Proceso esquematizado de selección de muestras de molienda y flotación

#### 7.2.4.3. Embalaje y envío de muestras:

Las muestras para JK Drop Weight Test se dispusieron en bolsas plásticas y se embalaron en cajas acolchadas con espuma plástica. Los compósitos para flotación se colocaron en bolsas plásticas, las que se acomodaron en cilindros. Todas las bolsas plásticas se sellaron al calor.

Para identificar las bolsas se utilizaron diferentes colores: Azul (skarn), rojo (intrusivo) y negro (skarn de magnetita).

Para el pesaje de las muestras se utilizó una balanza de plato de 10 kg de capacidad, con precisión de 10 g.

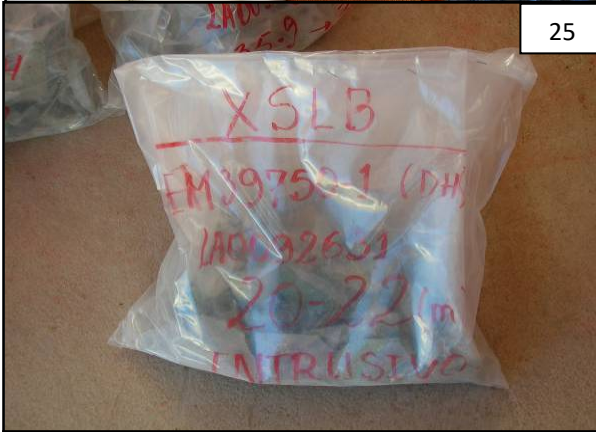
El cuidadoso embalaje de las muestras sirvió para protegerlas durante su viaje al laboratorio de pruebas metalúrgicas en Chile.



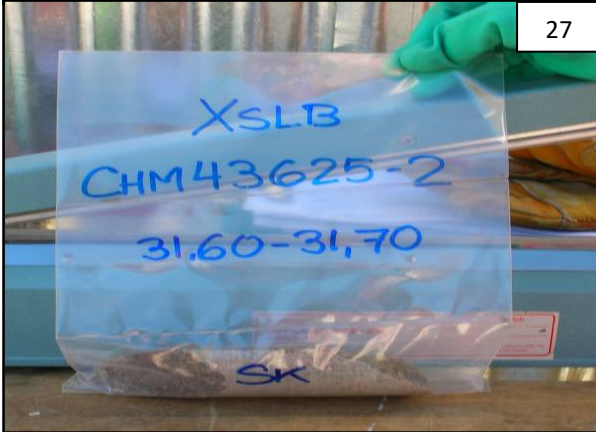
23



24



25



27



28

Fotos: 23. Embalaje de muestras para pruebas de molienda, 24. Caja con muestras para enviar, 25. Muestra para prueba de flotación (Intrusivo), 26. Muestra para prueba de molienda, siendo pesada en balanza, 27. Sellado de muestra al calor, 28. Cilindro con muestras para flotación para enviar.

## 7.3. Fase de Prefactibilidad

### 7.3.1. Visita de campo Xstrata Process Support

En junio de 2007 Anne Charland, geóloga de Xstrata Process Support (Canadá), visitó el proyecto Las Bambas con los siguientes objetivos:

- Definir los End Members -de Ferrobamba y Chalcobamba- y tomar muestras, para completar el estudio de caracterización mineralógica (Se recolectaron 298 muestras de ambos depósitos, para preparar secciones pulidas).
- Diseñar, junto con el grupo de geólogos del proyecto, un programa de perforación para muestreo metalúrgico.

### 7.3.2. Definición de End Members

#### 7.3.2.1. Ferrobamba:

Se definieron 3 End Members, incluyendo Skarn con sulfuros, Pórfido con sulfuros<sup>7</sup> y Skarn con óxidos. El Skarn con sulfuros puede ser subdividido en dos “Sub End Members”<sup>8</sup>: Skarn de Granate (GSK) y Skarn de Piroxeno (PSK).

Dentro del skarn sería muy difícil separar unidades representativas de GSK y PSK, ya que más bien se presentan juntas. Desde un punto de vista de explotación minera esta división tampoco tiene sentido. Sin embargo, y para estudiar el impacto en el proceso de flotación que podría tener la presencia de matrices arcillosas y cloríticas provenientes del PSK, es que se ha tomado igual número de muestras de ambos “Sub End Members”.

#### 7.3.2.2. Chalcobamba:

---

<sup>7</sup> Debido a la escasa significancia en volumen del pórfido con mineralización de óxidos de Cu, para el muestreo metalúrgico se agrupó con el pórfido con sulfuros en un solo End Member: PORF.

<sup>8</sup> Esta subdivisión sólo se estableció para fines de estudios mineralógicos. En la práctica, ambos (GSK y PSK) fueron muestreados como un único End Member.

Se definieron 4 End Members, incluyendo Skarn con sulfuros, Skarn de magnetita, Pórfido (Monzonita Máfica) y Brecha.

Tabla 7. Definición de End Members para Ferrobamba

End Member	Abreviatura	“Sub” End Members	Comentarios
Skarn (con sulfuros Cu)	SKSU	Skarn de piroxenos (PSK)	Mineralización en finas disseminaciones y venillas. Bn, cp, cc de grano más fino.
		Skarn de granates (GSK)	Mineralización en coágulos, intersticios, venillas y disseminaciones. Bn > cp (grano más grueso).
Skarn (con óxidos Cu)	SKOX		PSK + GSK. Puede ser 100% óxidos Cu o mezcla de sulfuros/óxidos.
Pórfido (con sulfuros Cu)	PORF		MZB+MBF+MZM+(MZH) (MZH en su mayoría es estéril). Cp>bn en venillas y disseminaciones.

Tabla 8. Definición de End Members para Chalcobamba

End Member	Abreviatura	Comentarios
Skarn (con sulfuros Cu) <sup>9</sup>	SKSU	Mineralización en disseminaciones y venillas (cp >> bn).
Skarn de magnetita (con sulfuros Cu)	SKMT	Mineralización de cp masiva y en franjas.
Pórfido (con sulfuros de Cu) <sup>10</sup>	MZM	Principalmente mineralización contenida en MZM (cp en venillas y disseminaciones).
Brecha (con sulfuros Cu)	BX	Brecha tectónica, mayormente clasto-soportada. Mineralización disseminada en matriz (cp > bn, también óxidos Cu).

### 7.3.2.3. Otras litologías (Ferrobamba y Chalcobamba):

La MZB de Chalcobamba fue muestreada como un “End Member especial”, dado que contiene alguna mineralización de calcopirita, aunque no es uniforme. Además, es muy pequeña volumétricamente. Se tomaron algunas muestras tanto para las pruebas de conminución y flotación.

<sup>9</sup> Aquí también está incluido skarn con óxidos de cobre

<sup>10</sup> Aquí también está incluido pórfido con óxidos de cobre

En Ferrobamba se muestrearon también tramos de EPG, SHL/HFL y MZQ (Este pórfido, aunque estéril, engloba fragmentos de rocas preexistentes mineralizadas).

En ambos depósitos, es preferible no incluir al endoskarn en los intrusivos, ya que tiene condiciones de alteración que lo hacen diferente; está alterado por metasomatismo de contacto, hay crecimiento de nuevas especies minerales que lo hacen más duro (granates, plagioclasas, epidota, etc.). Además, es pequeño en volumen, con respecto a las otras litologías en ambos yacimientos.

En Ferrobamba y Chalcobamba, el MZQ (pórfido postmineral) y el MBL/LMT no han sido considerados como End Members, ya que son litologías que no presentan mineralización. En Chalcobamba, en particular, los pórfidos MZH, QFP y la GD y DI tampoco han sido considerados como End Members al no tener un importante contenido de mineralización.

### **7.3.3. Muestreo para Caracterización Mineralógica**

Se seleccionaron muestras de sondajes que representen toda la heterogeneidad de ambos yacimientos, teniendo como criterios: Que estén presentes los End Members definidos (respetando la proporción de estos en el depósito), la abundancia de los minerales (formadores de roca y minerales de mena), los principales estilos de mineralización, presencia/ausencia de óxidos de Cu, etc.

Los detalles de cada proceso de selección de muestras se describen a continuación:

#### **7.3.3.1. Ferrobamba:**

- Muestras recolectadas: 170
- Sondajes examinados: 25
- End Members estudiados: 3

Tabla 9. Lista de sondajes examinados en Ferrobamba

Sondaje	Desde (m)	Hasta (m)	Longitud (m)
FE39750-5	0	100	100
FE39650-3	150	430	280
FE39850-6	200	450	250
FE40050-3	75	300	225
FE40075-6	0	240	240
FE39750-8	200	600	400
FE39900-2	520	570	50
FE40150-1	0	350	350
FE40075-8	70	280	210
FE39750-3	0	150	150
FE40450-1	90	260	170
FE39750-6	0	110	110
FE40500-4	60	250	190
FE40625-1	110	200	90
FE40050-7	270	350	80
FE40700-4	0	140	140
FE40000-4	20	100	80
FE40000-4	390	460	70
FE39850-5	290	350	60
FE40075-3	150	450	300
FE39975-2	250	600	350
FE40075-7	270	340	70
FE40875-5	150	240	90
FE40525-7	250	350	100
FE40900-2	110	220	110
FE41050-1	60	130	70
FE40875-4	0	200	200

Tabla 10. Lista de muestras recolectadas por End Member (Ferrobamba)

End Member	"Sub" End Member	# Muestras
SKSU	GSK	34
	PSK	28
SKOX		30
PORF (con sulfuros)		51
PORF (con óxidos/mixto)		20
OTROS	Mármol con calcosilicatos	7



### 7.3.3.2. Chalcobamba:

- Muestras recolectadas: 133
- Sondajes examinados: 23
- End Members estudiados: 4

Tabla 11. Lista de sondajes examinados en Chalcobamba

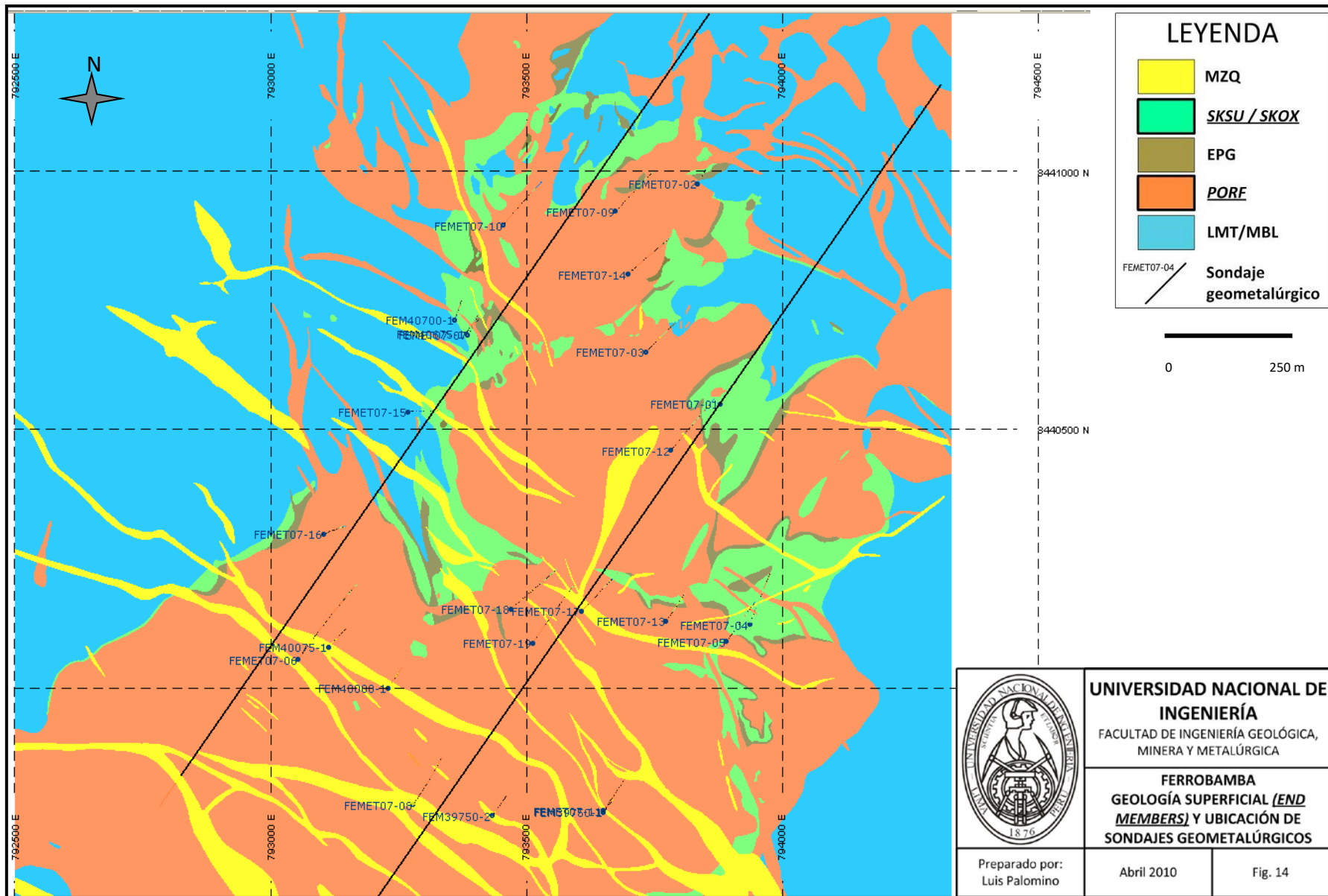
Sondaje	Desde (m)	Hasta (m)	Longitud (m)
CH44500-3	170	240	70
CH43900-4	0	90	90
CH44275-3	60	230	170
CH43725-1	40	150	110
CH44250-6	10	130	120
CH44325-2	60	120	60
CH44000-4	0	60	60
CH44550-3	60	130	70
CH44550-3	270	340	70
CH44250-5	0	180	180
CH43750-1	0	120	120
CH44025-3	0	110	110
CH44500-2	0	230	230
CH44500-2	260	310	50
CH44650-2	50	150	100
CH43700-3	0	140	140
CH44675-2	245	290	45
CH43650-6	45	165	120
CH43550-4	0	160	160
CH43900-1	70	110	40
CH43675-1	120	210	90
CH43675-1	0	35	35
CH43850-6	80	195	115
CH43700-5	110	170	60
CH43525-1	220	280	60
CH43925-1	25	100	75

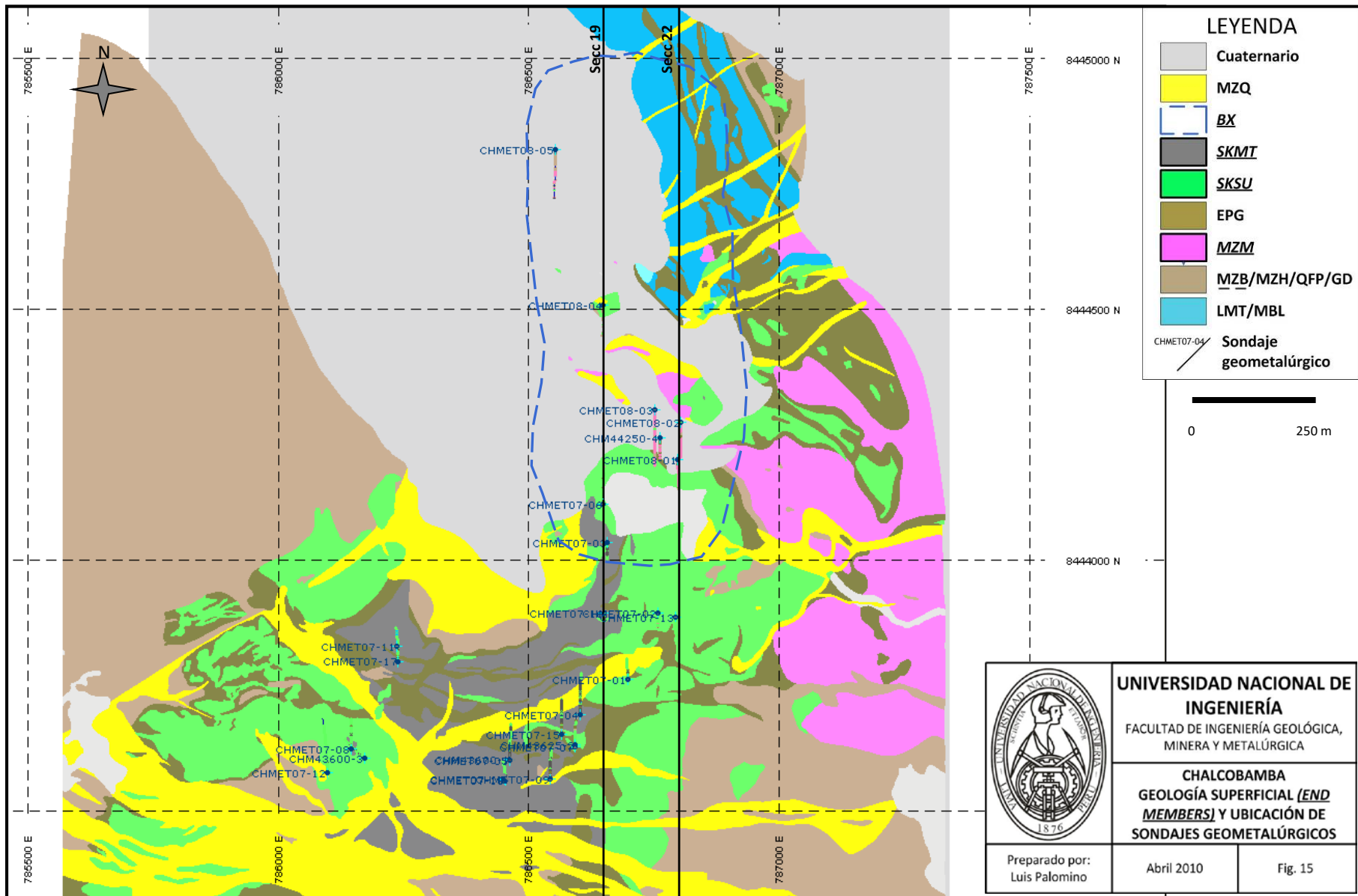
Tabla 12: Lista de muestras recolectadas por End Member (Chalcobamba)

End Member	# Muestras
SKSU	44 <sup>11</sup>
SKMT	16
BX	24
MZM (con sulfuros)	34
MZM (con óxidos/mixto)	11

---

<sup>11</sup> Incluidas 11 muestras de skarn con óxidos. Dicha litología, volumétricamente, es insignificante.







Fotos: 29. Skarn de granate con bornita masiva, 30. Skarn de granate con calcopirita y bornita en coágulos y diseminaciones, 31. Skarn de granate con óxidos de Cu, 32. Skarn de granate con vetillas cuarzo-calcopirita-bornita, 33. Coágulos de bornita crecidos en espacios intersticiales dentro de granates de grano grueso, 34. Skarn de piroxenos (verde claro) con venillas milimétricas de cuarzo (+sulfuros) cortándolo.

#### 7.3.4. Caracterización Mineralógica

La caracterización mineralógica de los depósitos de Ferrobamba y Chalcobamba fue realizada por Anne Charland y Kevin Chisholm en Canadá, el 2007 (“Las Bambas Ore Characterisation Program”). Para este estudio se seleccionaron 126 muestras de cores de Ferrobamba y Chalcobamba, con el propósito de conocer la mineralogía modal y la variabilidad textural para todos los minerales de cobre, así como información de tamaño de grano y el comportamiento del cobre en los End Members definidos.

Las muestras se analizaron usando el QEMSCAN (*Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscope*) y EPMA (*Electron Probe Microanalysis*), métodos automatizados que en conjunto producen mapas con un código de color por mineral, que cuantifican la mineralogía modal, liberación y tamaño de grano en c/u de las muestras.

En Ferrobamba, el principal mineral de cobre es la bornita, mientras que en Chalcobamba es la calcopirita. La calcosita aparece principalmente como bordes sobre bornita y calcopirita.

En Chalcobamba, generalmente la calcopirita tiene un tamaño entre 60 y 293 micras; sin embargo en el skarn de piroxeno el tamaño promedio de la calcopirita está debajo de 34 micras, aunque no es muy abundante.

La bornita es predominante y de grano más grueso en Ferrobamba, sus dimensiones varían entre 100 y 200 micras en los End Members no oxidados.

La presencia de calcosita es variable dentro de los End Members, con tamaños de grano entre 15 y 40 micras; presenta una textura a manera de cobertura sobre los bordes de otros sulfuros de cobre (*rimming texture*), lo que podría tener un impacto sobre la cinemática de flotación de la calcopirita y bornita.

Algo más del 10% del recurso en Ferrobamba, consiste de un horizonte mixto; donde los sulfuros de cobre han sido remplazados parcial o totalmente por un nuevo grupo de minerales de cobre que incluyen óxidos, carbonatos y silicatos

hidratados de Cu. Este horizonte ha sido identificado, como ya se ha descrito, como el End Member “Skarn con óxidos” (SKOX).

Tanto en Ferrobamba como Chalcobamba, en la zona de oxidación, el mineral más abundante es la crisocola, siguiendo en orden la malaquita y cuprita. Estos End Members oxidados no deberían responder consistentemente en un proceso convencional de molienda y flotación, siendo mejor su recuperación en procesos de lixiviación en pilas.

#### 7.3.4.1. Ferrobamba:

El Skarn Ferrobamba (End Member SKSU) presenta variables rangos de ensambles mineralógicos, que se resumen en dos tipos de Skarn: Piroxeno y Granate. Como están asociados espacialmente no pueden ser minados por separado, pero si fueron investigados independientemente.

El Skarn de Piroxeno está compuesto mayoritariamente de diópsido (mayor que ortopiroxenos) y cantidades variables de cuarzo-calcita-actinolita-ortoclasa-biotita-clorita-arcillas. El principal mineral de cobre es la bornita a modo de finas disseminaciones, hay menor calcopirita y calcosita.

El Skarn de Granate, también contiene cuarzo-diópsido-ortoclasa-calcita-actinolita-clorita-arcillas. Los sulfuros de cobre se presentan como coágulos, finas disseminaciones y venillas. La bornita predomina por sobre la calcopirita y calcosita; ésta reemplaza a la bornita y calcopirita, las que comúnmente aparecen como una masa de sulfuros.

El Pórfido Ferrobamba (End Member PORF) presenta un ensamble ortoclasa-plagioclasa-cuarzo-biotita-calcita con menor actinolita-clorita-óxidos Fe. Los minerales de cobre incluyen calcopirita, bornita y menor calcosita; la molibdenita es frecuente también. Los sulfuros se presentan en venillas, rellenando fracturas y en finas disseminaciones.

En el Pórfido Ferrobamba con óxidos de cobre (dentro del End Member PORF) los minerales predominantes son la crisocola y otras formas de silicatos hidratados de Fe-Ca-Cu. Silicatos y óxidos de cobre se emplazan en venillas y rellenan fracturas.

El Skarn Ferrobamba con óxidos de cobre (End Member SKOX), exhibe minerales provenientes del remplazo de sulfuros de cobre; el skarn presenta un ensamble de granate, diópsido, cuarzo, calcita y clorita. Dentro de este End Member los principales minerales de cobre son: crisocola, malaquita y cuprita; también hay sulfuros residuales, que dan lugar a una zona mixta con mayor calcosita que bornita y calcopirita.

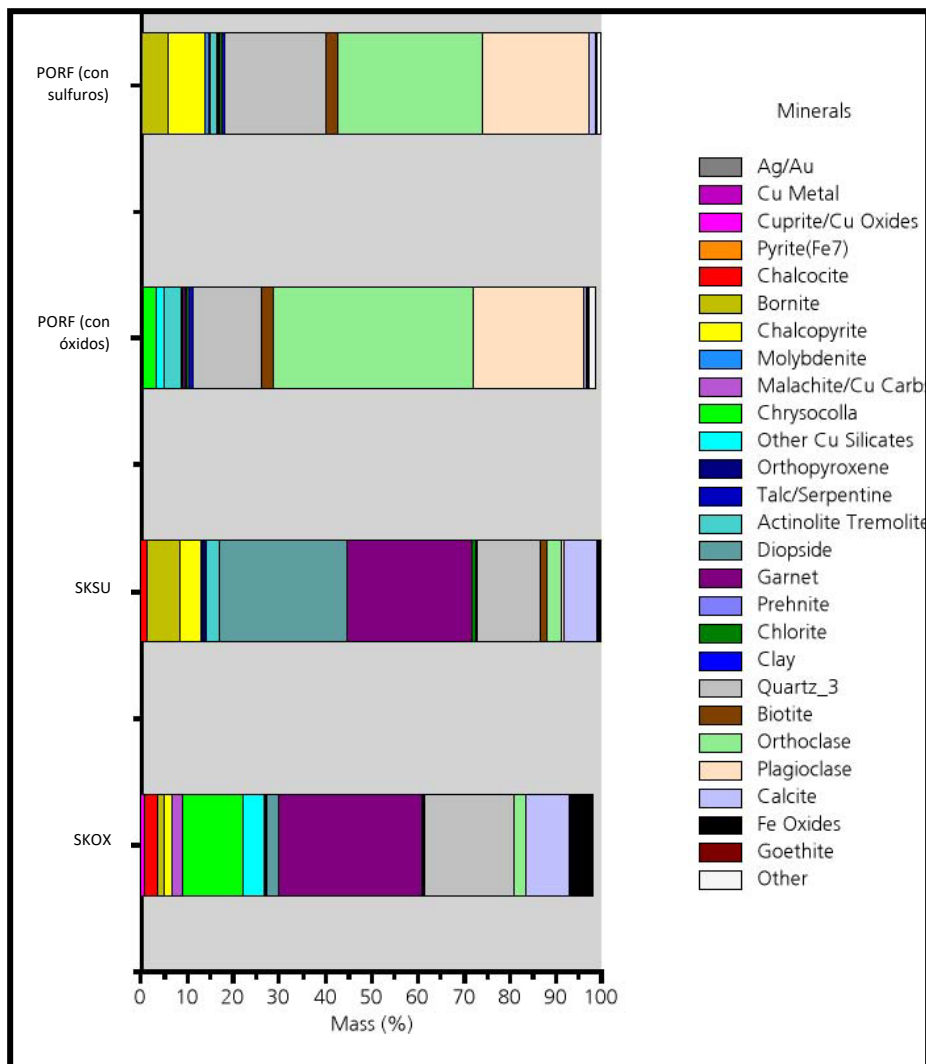
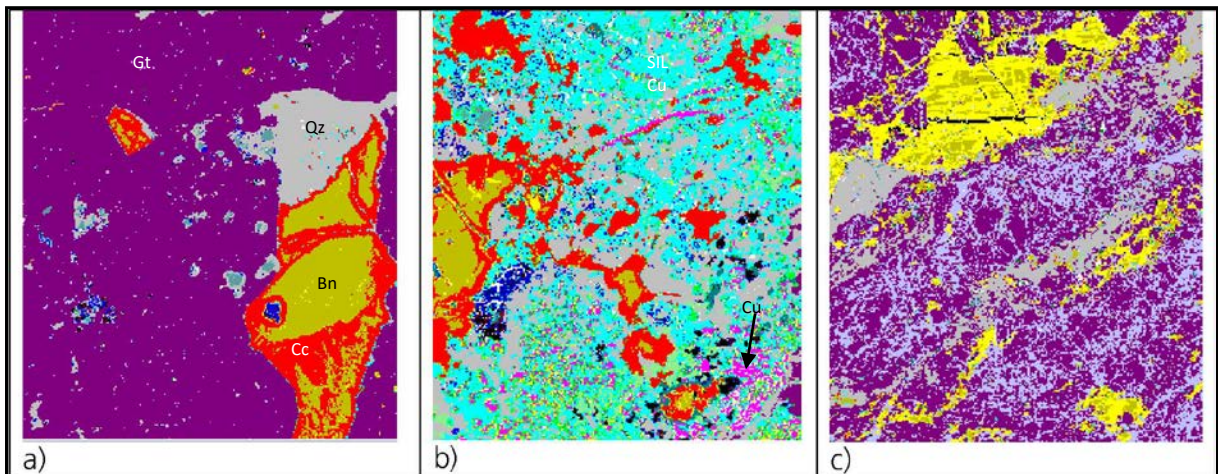
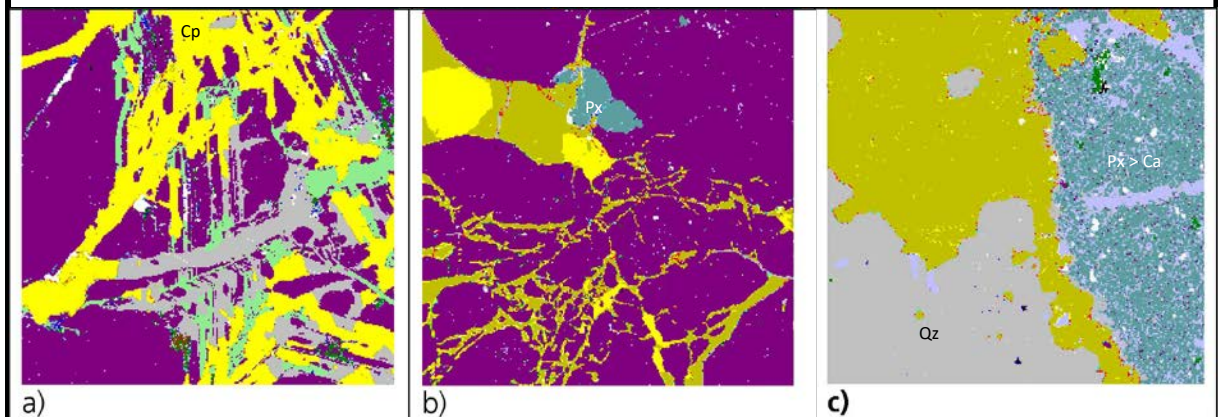


Fig. 16. Imagen QEMSCAN de la mineralogía modal para los diferentes End Members en Ferrobamba (Tomado de Charland, 2007)

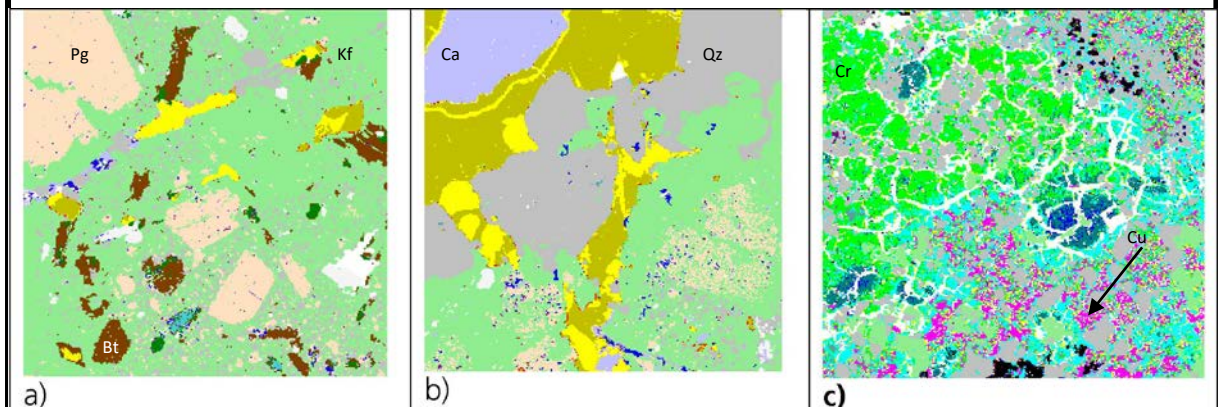




**Fig. 17. a) y b)** Calcosita (rojo) remplazando bornita (bronce), **c)** bornita en calcopirita (amarillo), en arreglo reticulado. Otros minerales: granate (púrpura), calcita (púrpura pálido). Imágenes de QEMSCAN - 2.7 mm de ancho (Tomado de Charland, 2007).



**Fig. 18. a) y b)** Texturas observadas en GSK: Cristales euhedrales de granate fracturados y dislocados, con calcopirita y bornita relleno de estas fracturas, **c)** PSK compuesto de diópsido (celeste acero) y calcita, con diseminaciones y coágulos de bornita. Imágenes de QEMSCAN - 2.8 mm de ancho (Tomado de Charland, 2007).



**Fig. 19. a) y b)** PORF compuesto de ortosa (verde claro), cuarzo (gris claro), plagioclasa (rosa claro) y biotita (marrón), bornita y calcopirita se encuentran en venillas y diseminaciones, **c)** SKOX con mineralogía de crisocola (verde brillante), cuprita (rosado brillante), crisocola rica en Fe (celeste) que ha remplazado a los sulfuros. Imágenes QEMSCAN - 2.8 mm de ancho (Tomado de Charland, 2007).

#### 7.3.4.2. Chalcobamba:

El Skarn de Magnetita (End Member SKMT) es un componente significativo del recurso del depósito y está localizado en el sector S. Los minerales predominantes son magnetita, diópsido, granate y cuarzo con menor actinolita, clorita, plagioclasa y ortoclasa. La calcopirita es el principal mineral de cobre.

El Skarn Chalcobamba (End Member SKSU), agrupa a los skarns de piroxeno y granate. La mineralogía global incluye cantidades variables de granate, diópsido, cuarzo, calcita, plagioclasa y ortosa, principalmente. El mineral de cobre más abundante es la calcopirita, que se presenta como diseminaciones, coágulos, relleno de fracturas, en venillas y masiva.

El Pórfido Chalcobamba (End Member MZM) está compuesto de plagioclasa, ortoclasa, cuarzo, diópsido, actinolita, granate y clorita. El mineral de Cu predominante es la calcopirita, que se presenta como finas diseminaciones y relleno de fracturas; la bornita es muy escasa y la crisocola, casi insignificante.

La Brecha Chalcobamba (End Member BX) es polimíctica, la matriz es de grano fino. Los clastos presentan una mezcla de minerales de skarn (diópsido, granate, calcita, actinolita) y de pórfido (plagioclasa, ortoclasa, cuarzo). La matriz es rica en calcita, talco y arcillas muy finas. La calcopirita es el mineral de cobre más abundante, encontrándose tanto en los fragmentos o finas diseminaciones en la matriz. La oxidación es pervasiva y se refleja en la presencia de crisocola.

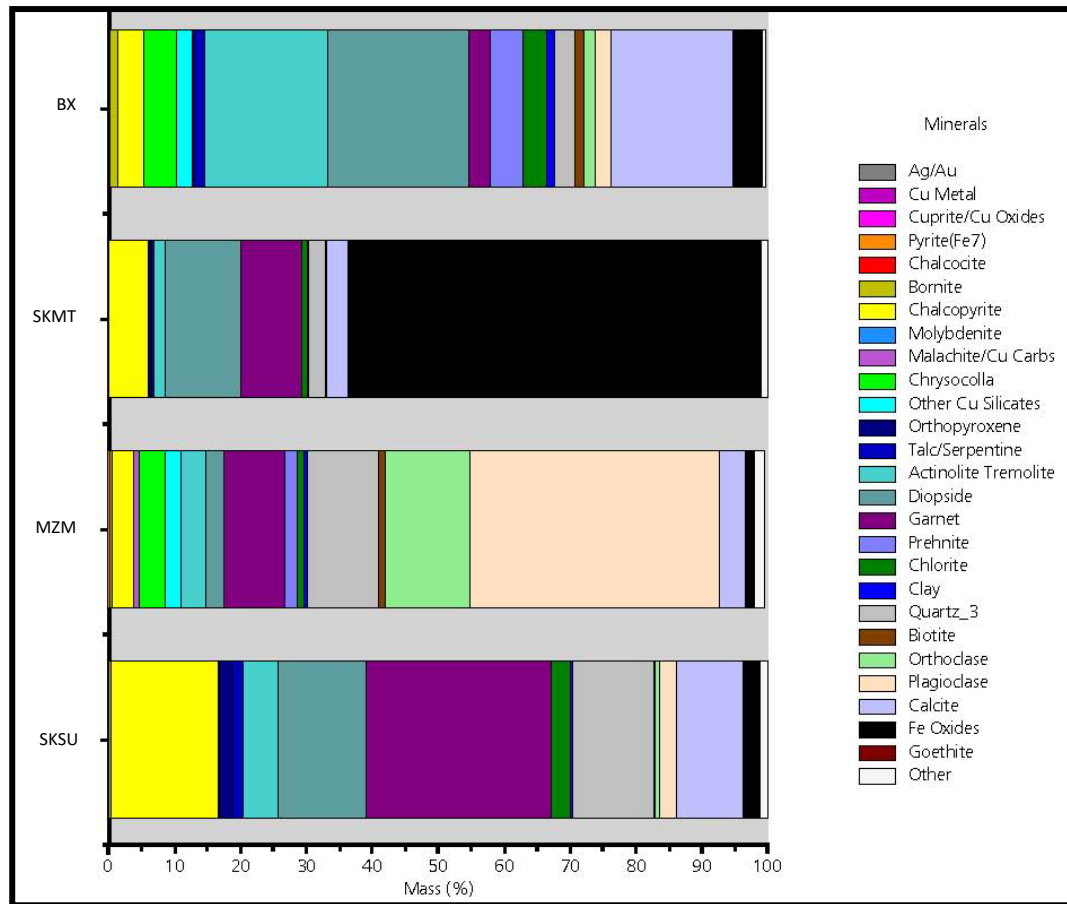
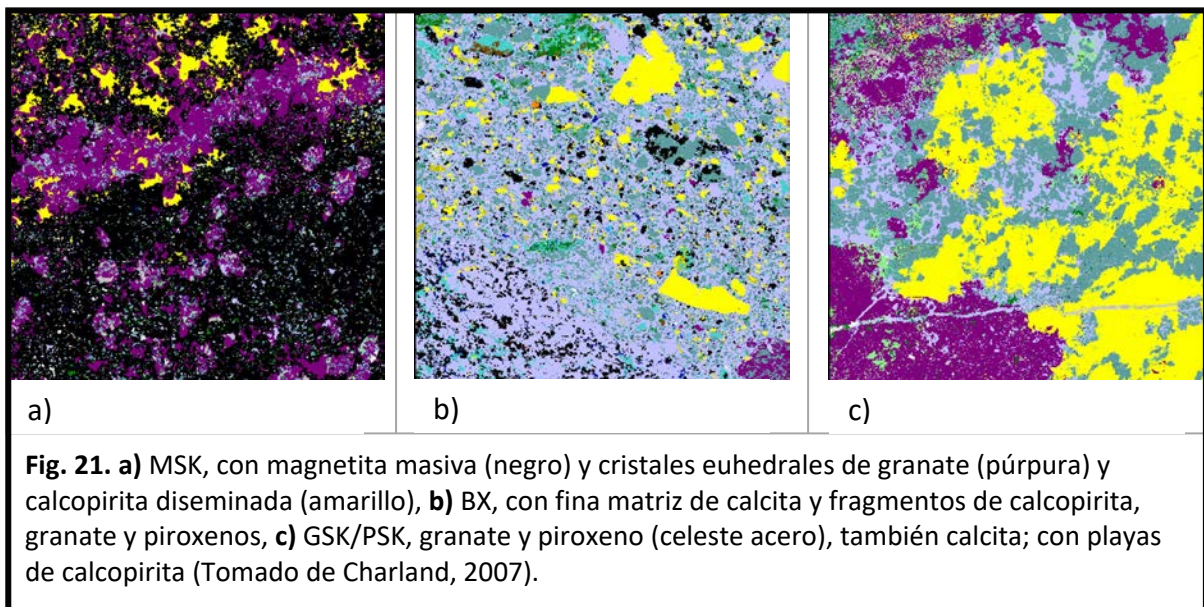


Fig. 20. Imagen QEMSCAN de la mineralogía modal para los diferentes End Members en Chalcobamba (Tomado de Charland, 2007)



**Fig. 21. a)** MSK, con magnetita masiva (negro) y cristales euhedrales de granate (púrpura) y calcopirita diseminada (amarillo), **b)** BX, con fina matriz de calcita y fragmentos de calcopirita, granate y piroxenos, **c)** GSK/PSK, granate y piroxeno (celeste acero), también calcita; con playas de calcopirita (Tomado de Charland, 2007).

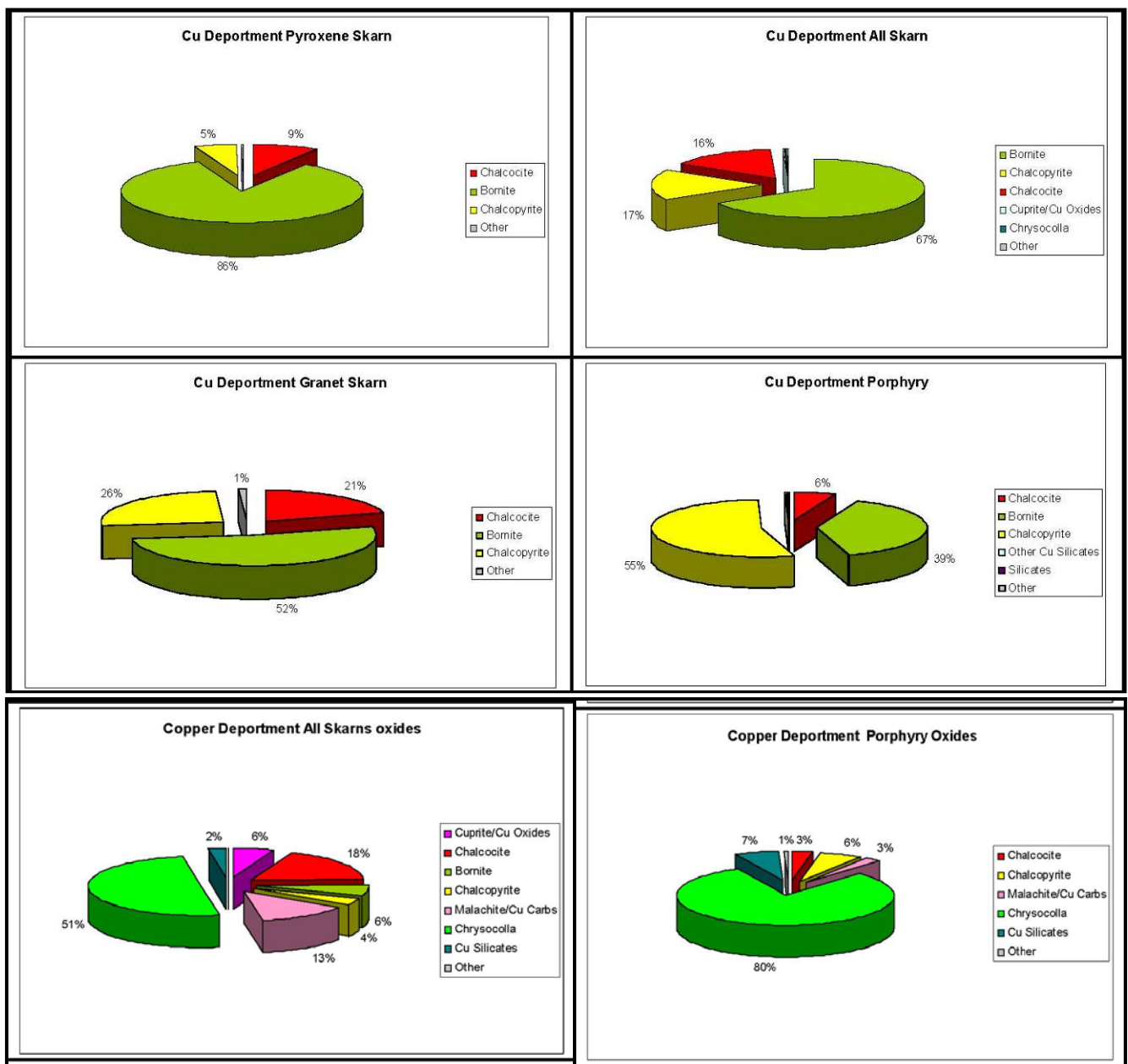


Fig. 22. Distribución de cobre para los diferentes End Members en Ferrobamba (Tomado de Charland, 2007)

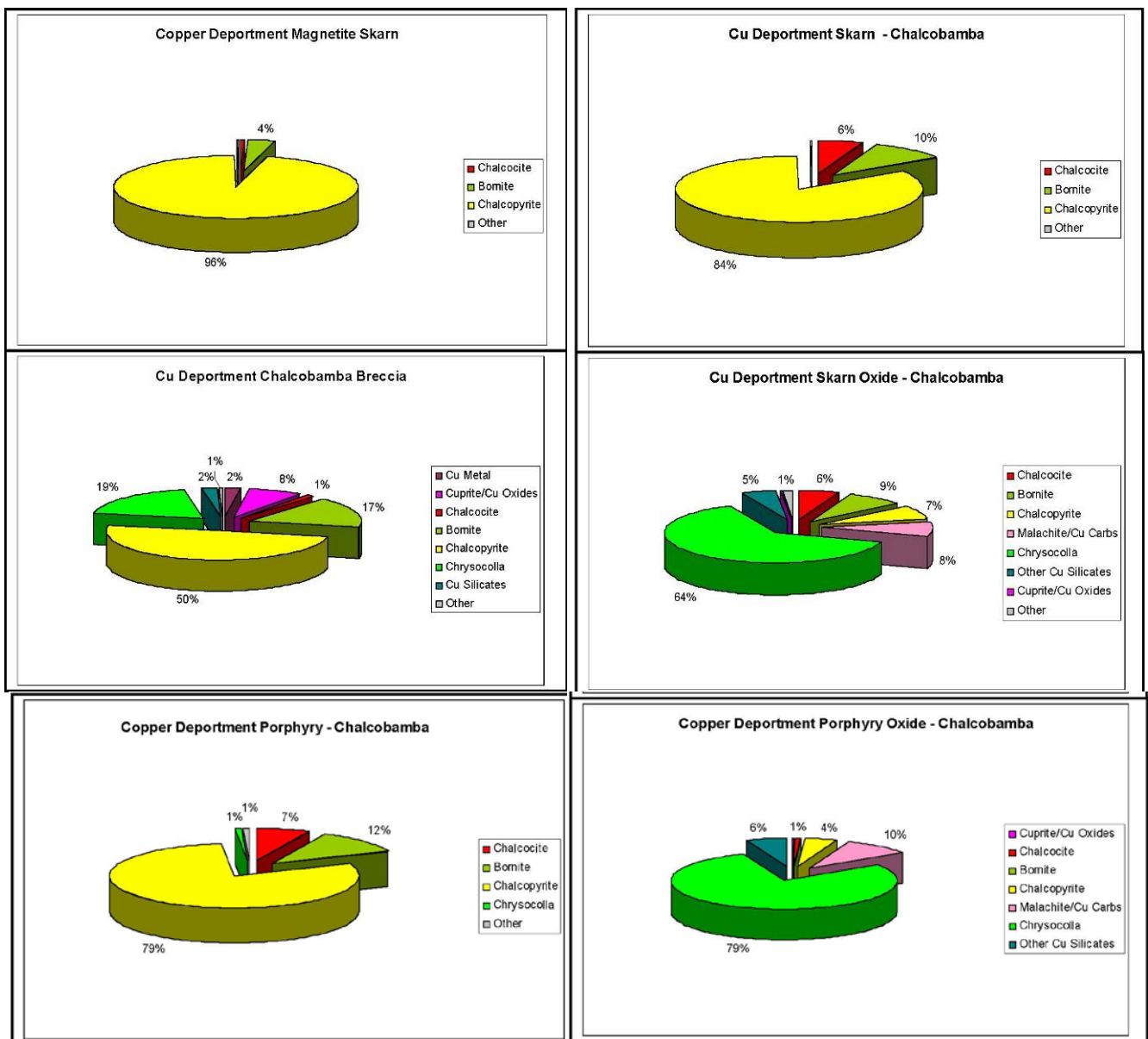


Fig. 23. Distribución de cobre para los diferentes End Members en Chalcobamba (Tomado de Charland, 2007)

### 7.3.5. Campaña de Perforación

Entre junio de 2007 y mayo de 2008 se desarrolló una campaña de perforación en Ferrobamba (25 sondajes) y Chalcobamba (26 sondajes), para seleccionar muestras que soporten el estudio metalúrgico de prefactibilidad, con la configuración de taladros gemelos ya explicada en la pag. 46.

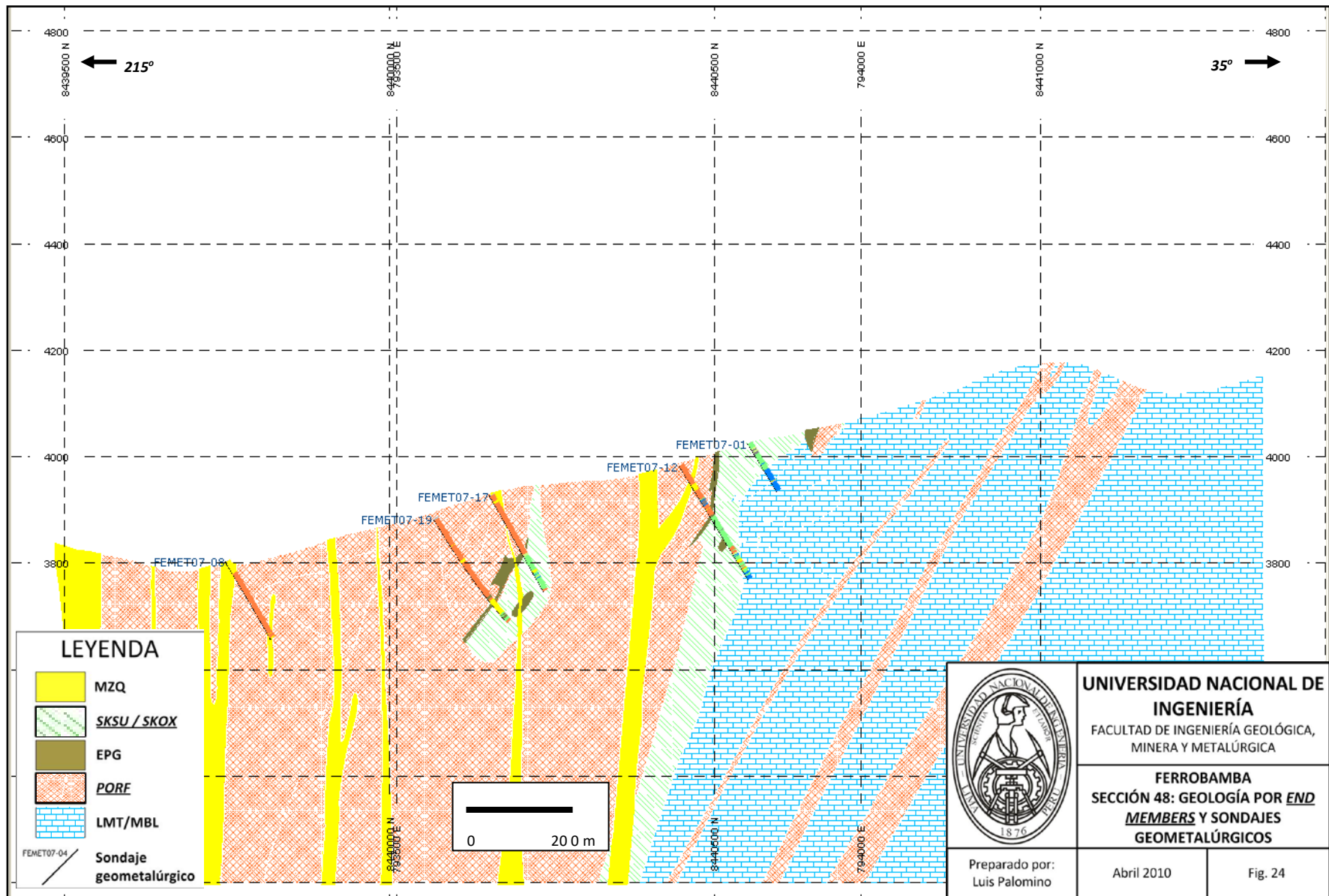
Entre las dos líneas de perforación (PQ y HQ) se ejecutaron 6930.10 m.

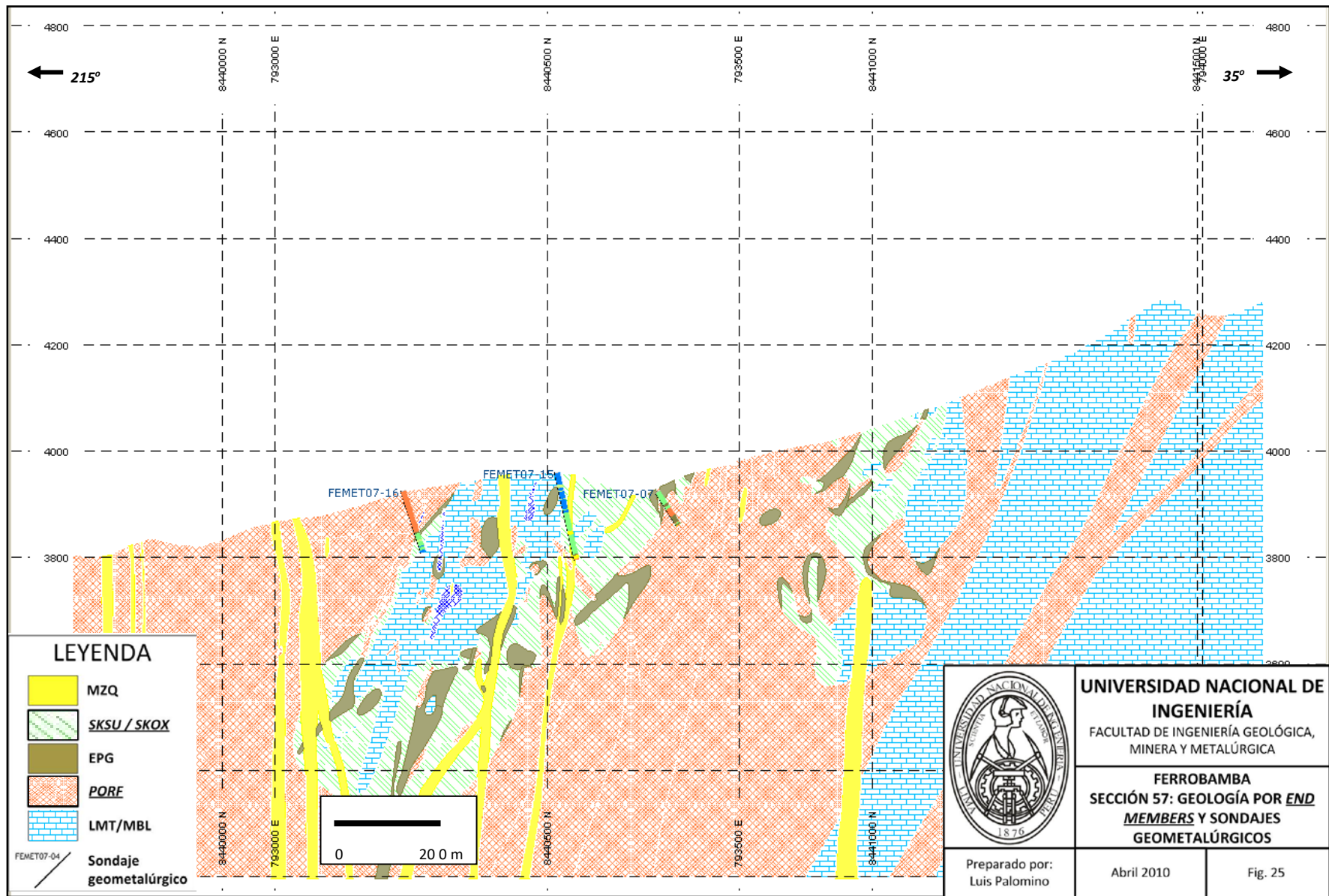
Tabla 13. Resumen de campaña de perforación geometalúrgica Ferrobamba – Fase Prefactibilidad

Sondaje Geológico	Sondaje Metalúrgico	Este	Norte	Cota	Az (°)	Dip (°)	Profundidad (m)	En línea PQ (m)	En línea HQ (m)	Diámetro core
FE40550-5	FEMET07-01	793878.81	8440549.78	4024.43	35	-60	<b>105.10</b>	105.10		PQ
FE40975-1	FEMET07-02	793834.90	8440976.48	4072.91	30	-60	<b>60.00</b>	60.00		PQ
FE40650-2	FEMET07-03	793733.29	8440650.42	3994.57	45	-60	<b>170.00</b>	170.00		PQ
FE40125-1	FEMET07-04	793936.56	8440122.28	3897.85	20	-60	<b>207.50</b>	207.50		PQ
FE40075-6	FEMET07-05	793891.08	8440089.18	3907.42	35	-60	<b>200.00</b>	200.00		PQ
FE40050-6	FEMET07-06	793053.39	8440054.18	3853.52	35	-60	<b>340.00</b>	75.00	265.00	PQ/HQ
FE40675-5	FEMET07-07	793384.69	8440683.68	3922.17	35	-60	<b>75.00</b>	75.00		PQ
FE39775-1	FEMET07-08	793278.01	8439772.95	3802.75	35	-60	<b>215.00</b>	160.00	55.00	PQ/HQ
FE40925-3	FEMET07-09	793674.42	8440922.78	4020.74	45	-60	<b>200.00</b>		200.00	HQ
FE40900-2	FEMET07-10	793454.83	8440895.99	4011.17	40	-60	<b>225.05</b>	225.05		PQ
FE39750-8	FEMET07-11	793649.85	8439761.33	3835.60	35	-60	<b>140.05</b>		140.05	HQ
FE40450-1	FEMET07-12	793782.78	8440459.87	3982.72	40	-60	<b>250.00</b>	250.00		PQ
FE40125-8	FEMET07-13	793772.66	8440128.71	3939.63	35	-60	<b>121.30</b>	121.30		PQ
FE40800-3	FEMET07-14	793697.75	8440800.82	4017.35	50	-60	<b>200.00</b>		200.00	HQ
FE40525-2	FEMET07-15	793268.06	8440534.71	3959.19	90	-70	<b>175.00</b>	130.00	45.00	PQ/HQ
FE40300-12	FEMET07-16	793102.40	8440297.60	3924.56	70	-70	<b>124.50</b>	124.50		PQ
FE40150-2	FEMET07-17	793607.13	8440148.16	3926.45	45	-60	<b>206.40</b>	206.40		PQ
FE40150-5	FEMET07-18	793469.22	8440152.69	3885.88	50	-60	<b>210.10</b>		210.10	HQ
FE40100-4	FEMET07-19	793511.55	8440086.42	3883.67	35	-60	<b>240.05</b>		240.05	HQ
<b>TOTAL</b>							<b>3465.05</b>			

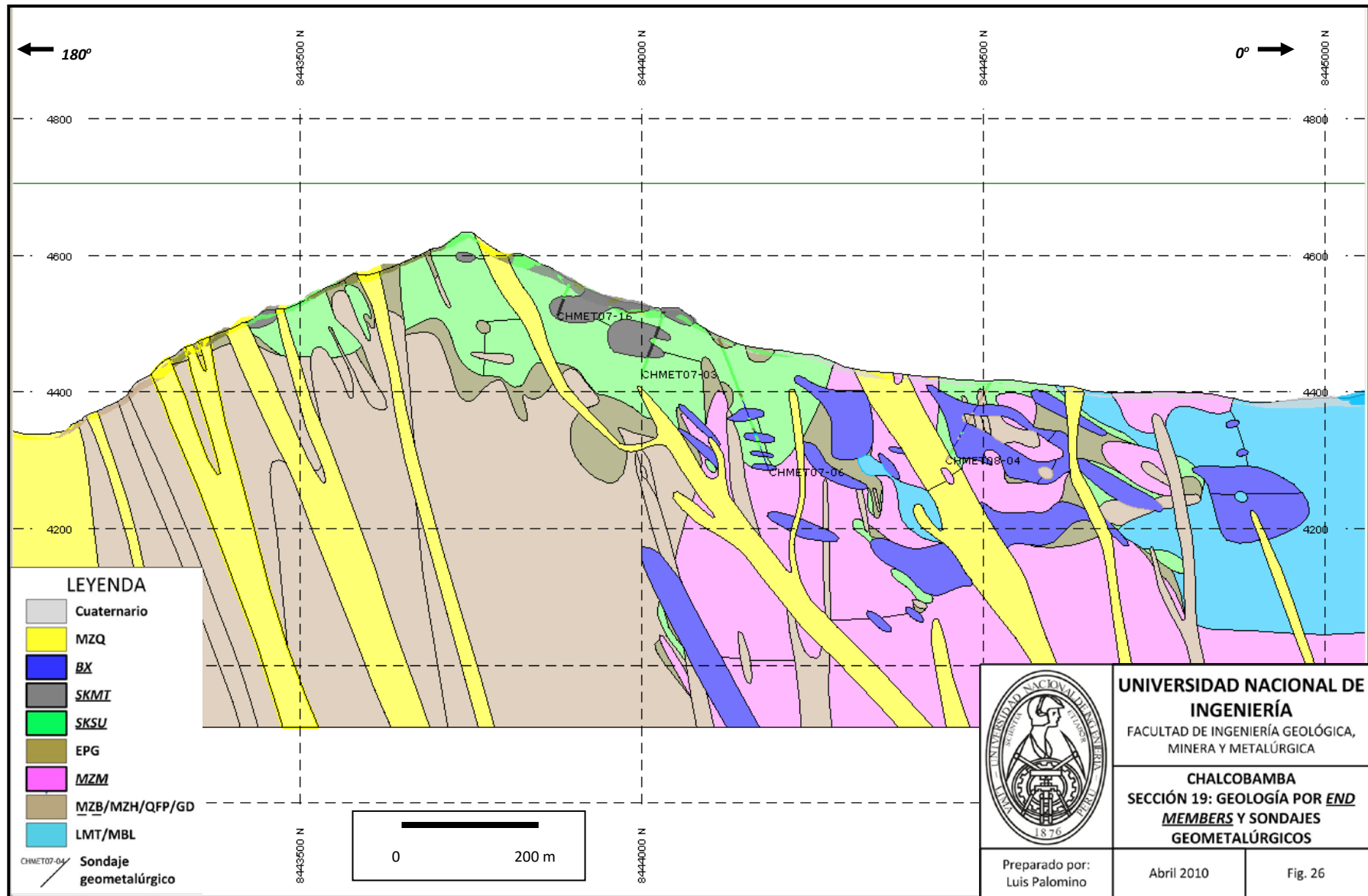
Tabla 14. Resumen de campaña de perforación geometalúrgica Ferrobamba – Fase Prefactibilidad

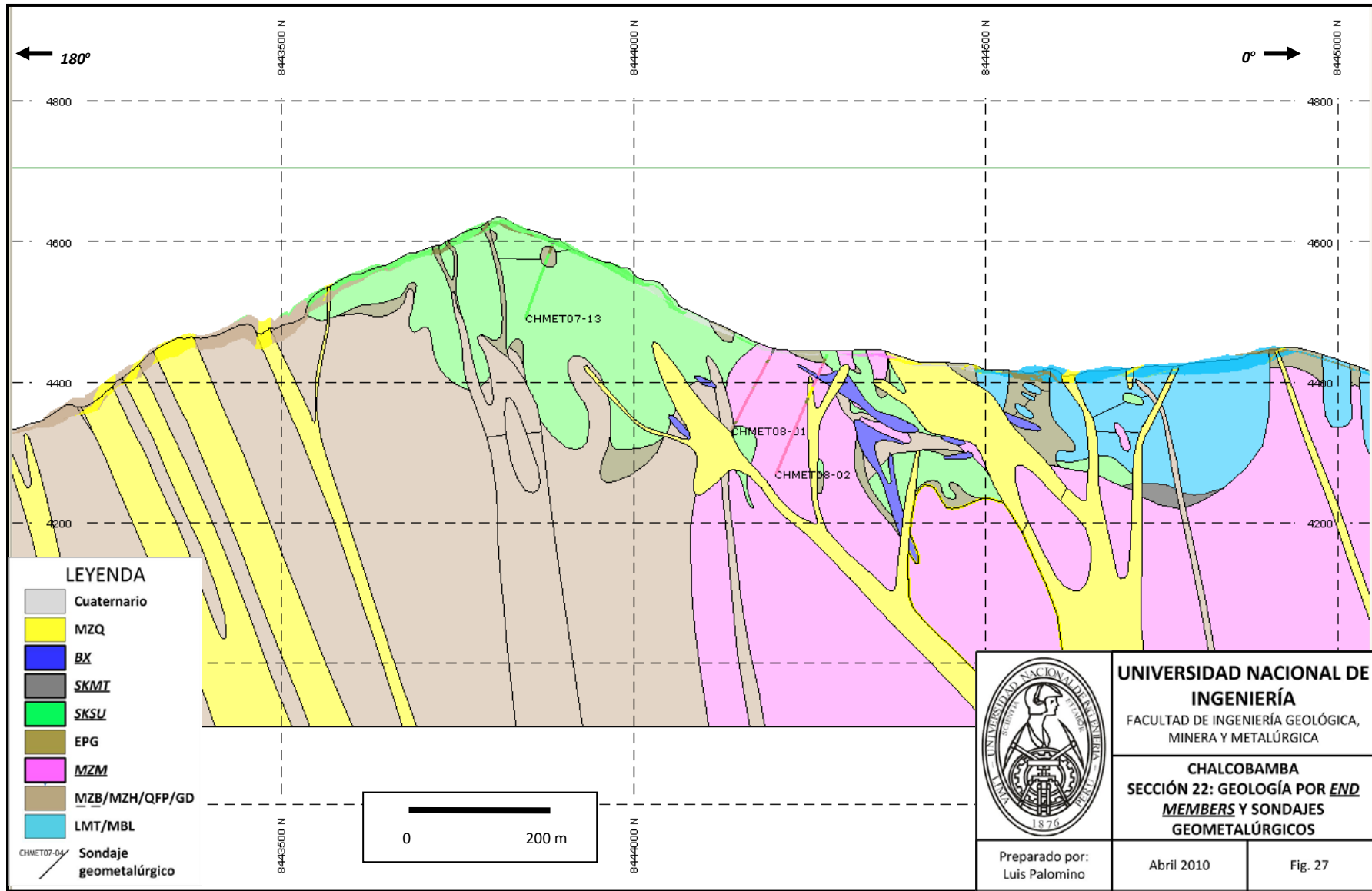
Sondaje Geológico	Sondaje Metalúrgico	Este	Norte	Cota	Az (°)	Dip (°)	Profundidad (m)	En línea PQ (m)	En línea HQ (m)	Diámetro core
CH43750-1	CHMET07-01	786697.22	8443760.90	4625.38	0	-70	<b>125.00</b>	125.00		PQ
CH43900-2	CHMET07-02	786757.61	8443893.04	4596.73	180	-70	<b>80.00</b>	80.00		PQ
CH44025-3	CHMET07-03	786656.96	8444033.83	4519.79	180	-70	<b>100.00</b>	100.00		PQ
CH43700-3	CHMET07-04	786602.04	8443690.90	4613.54	0	-60	<b>170.00</b>	91.90	78.10	PQ/HQ
CH43600-1	CHMET07-05	786461.91	8443599.77	4580.71	0	-70	<b>220.10</b>	51.00	169.10	PQ/HQ
CH44100-7	CHMET07-06	786648.83	8444111.93	4479.43	0	-70	<b>210.30</b>	210.30		PQ
CH43625-1	CHMET07-07	786592.50	8443626.31	4592.05	0	-70	<b>170.00</b>		170.00	HQ
CH43625-4	CHMET07-08	786144.70	8443623.42	4598.88	0	-65	<b>150.00</b>	81.20	68.80	PQ/HQ
CH43575-1	CHMET07-09	786543.08	8443561.95	4586.04	0	-60	<b>130.05</b>	130.05		PQ
CH43550-4	CHMET07-10	786453.27	8443560.57	4563.49	0	-75	<b>170.05</b>	170.05		PQ
CH43850-6	CHMET07-11	786236.14	8443827.96	4588.25	0	-70	<b>18.90</b>	18.90		PQ/HQ
CH43575-2	CHMET07-12	786097.52	8443574.26	4578.42	0	-60	<b>220.35</b>		220.35	HQ
CH43900-5	CHMET07-13	786792.41	8443885.97	4598.56	180	-70	<b>115.00</b>	115.00		PQ
CH43550-3	CHMET07-14	786452.23	8443561.94	4563.54	180	-80	<b>50.00</b>	50.00		PQ
CH43650-6	CHMET07-15	786565.40	8443651.03	4608.48	0	-60	<b>150.45</b>		150.45	HQ
CH43900-3	CHMET07-16	786650.67	8443893.56	4558.23	180	-70	<b>50.00</b>		50.00	HQ
CH43800-4	CHMET07-17	786239.56	8443797.45	4593.26	0	-69	<b>196.00</b>	120.00	76.00	PQ/HQ
CH44200-1	CHMET08-01	786798.19	8444199.60	4447.01	180	-62	<b>130.55</b>	130.55		PQ
CH44275-5	CHMET08-02	786804.11	8444275.09	4440.35	180	-65	<b>187.20</b>	187.20		PQ
CH44300-2	CHMET08-03	786751.93	8444299.51	4437.88	180	-60	<b>234.00</b>	234.00		PQ
CH44500-2	CHMET08-04	786648.92	8444509.28	4413.31	180	-60	<b>130.10</b>	130.10		PQ
CH44825-4	CHMET08-05	786552.87	8444819.31	4380.76	180	-65	<b>240.75</b>	240.75		PQ
<b>TOTAL</b>							<b>3248.80</b>			











### 7.3.6. Procedimientos para muestreo geometalúrgico

Se redefinió los requerimientos de muestras para las pruebas metalúrgicas, a instancias de David Way, director de metalurgia de Xstrata Copper. Percy Zambrano y Jorge Ganoza (metalurgistas de proyecto) coordinaron directamente con el suscrito para los trabajos de muestreo.

#### 7.3.6.1. Pruebas de Conminución:

- Muestras para prueba JK Drop Weight Test – Se deberían continuar seleccionando en pares (“A” y “B”) intervalos enteros de core, de 10 a 20 cm de longitud, uno a continuación del otro. Esta selección es la primera en hacerse, previo al corte longitudinal del testigo.

Para poder realizar pruebas de conminución adicionales al JK Drop Weight Test, se incluyó dos tipos de muestras extras a seleccionar:

- Muestras para caracterización – Muestras continuas de aproximadamente 135 Kg de peso, que representen las características comunes de cada End Member (dureza, especies minerales presentes, fracturamiento, etc.). Estas muestras deberían ser sometidas a las siguientes pruebas: *SMC, Point Load, Bond Rod Mill, Bond Ball Mill y Abrasion Index*<sup>12</sup>.
- Muestras para variabilidad – Muestras continuas de aproximadamente 35 Kg de peso, que representen la variabilidad, en términos de la conminución, de cada End Member. Estas muestras deberían ser sometidas a las siguientes pruebas: *SMC, Point Load, Bond Rod Mill y Bond Ball Mill*.

#### 7.3.6.2. Pruebas de Flotación:

- Muestras para variabilidad – Muestras continuas (no compósitos) de aproximadamente 100 Kg. de peso, con el fin de representar la

---

<sup>12</sup> Estas pruebas se describen en el Anexo B

variabilidad existente dentro de cada End Member. Cada muestra debe representar una particular variedad dentro del End Member; debiera distinguirse: tramos con litologías uniformes dentro del End Member, tramos con leyes uniformes (altas, medias, bajas), tramos con especies de cobre típicas predominantes, tramos con un tipo de alteración característica, etc. Si se composita se pierde esta heterogeneidad que se busca resaltar.

Estas muestras deberían empacarse en bolsas plásticas rellenas con  $N_2$ <sup>13</sup> gaseoso (previamente se debe haber extraído el aire al interior de las mismas), para prevenir la oxidación pronta de las especies sulfuradas de cobre -evitando además la exposición a temperaturas ambientes-, lo que debe preservar las características de la mineralización para un adecuado desarrollo de las pruebas metalúrgicas.

#### 7.3.6.3. Orden de los muestreos:

El orden seguido para realizar los muestreos ha sido:

- a) Selección para prueba JK Drop Weight Test.
- b) Selección para pruebas de variabilidad (flotación).
- c) Selección para pruebas de caracterización (conminución)
- d) Selección para pruebas de variabilidad (conminución).

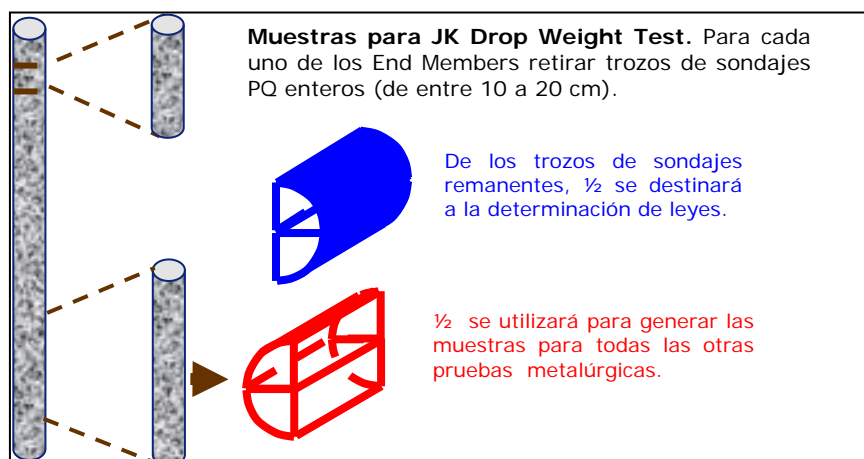


Fig. 28. Fase de Prefactibilidad: Proceso esquematizado de selección de muestras de molienda y flotación

<sup>13</sup> El nitrógeno gaseoso es de común uso para evitar la oxidación o el crecimiento de microorganismos en la preservación de sustancias o alimentos (Fuente: encyclopedia.airliquide.com)

### 7.3.7. Selección de muestras para pruebas de conminución y flotación

#### 7.3.7.1. Muestras para Pruebas de Conminución:

- Muestras para prueba JK Drop Weight Test - Se seleccionaron fragmentos enteros de core (previos al corte para preparación de muestra) de entre 10 y 20 cm para pruebas de JK Drop Weight Test en cada uno de los End Members definidos en 6.3.2 (tomados en pares “A” y “B”: Si alguna sufría daño durante el transporte, podía ser suplida por la otra). Sólo se escogieron muestras con diámetro PQ, ya que tienen mayor sección que las de HQ, y son apropiadas para la realización de las pruebas.

Tabla 15: Selección de muestras para pruebas JK Drop Weight Test (Ferrobamba)

Sondaje Metalúrgico	Diámetro de core	Nº Muestras	Nº Muestras	Nº Muestras
		SKOX	SKSU	PORF
FEMET07-01	PQ	22	2	
FEMET07-02	PQ	12		2
FEMET07-03	PQ	8	24	26
FEMET07-04	PQ	12	34	14
FEMET07-05	PQ	12	42	16
FEMET07-06	PQ/HQ			28
FEMET07-07	PQ	6	10	4
FEMET07-08	PQ/HQ			44
FEMET07-10	PQ		8	26
FEMET07-12	PQ	8	30	6
FEMET07-13	PQ	8	4	10
FEMET07-15	PQ/HQ		16	
FEMET07-16	PQ	4	10	16
FEMET07-17	PQ		20	8
		<b>92</b>	<b>200</b>	<b>200</b>
<b>TOTAL</b>		<b>492</b>		

Tabla 16: Selección de muestras para pruebas JK Drop Weight Test (Chalcobamba)<sup>14</sup>

Sondaje metalúrgico	Diámetro de core	Nº Muestras	Nº Muestras
		SKMT	SKSU
CHMET07_14	PQ	22	4
CHMET07_10	PQ	28	40
CHMET07_09	PQ	32	18
CHMET07_03	PQ	32	24
CHMET07_02	PQ		22
CHMET07_13	PQ		30
CHMET07_04	PQ/HQ	10	6
CHMET07_17	HQ/PQ	2	10
CHMET07_08	PQ/HQ	6	18
CHMET07_05	PQ/HQ	46	
CHMET07_01	PQ	4	10
CHMET07_06	PQ		18
CHMET07_11	PQ	18	
		<b>200</b>	<b>200</b>
<b>TOTAL</b>		<b>400</b>	

- Muestras para caracterización – Se seleccionaron tramos continuos de ½ core hasta alcanzar un peso aproximadamente de 135 Kg, de modo que en estos tramos estuvieran representadas las características principales de cada End Member, según lo explicado en 6.3.6.2. Algunos End Members, que no completaban tramos continuos con el peso requerido, fueron muestreados igualmente, a fin de que todos los End Members se encuentren representados al momento de aplicar las pruebas.

<sup>14</sup> Los sondajes metalúrgicos de Chalcobamba perforados el 2008 no fueron muestreados para prueba de caída; sólo por caracterización y variabilidad (conminución).

Tabla 17: Resumen de selección de muestras para pruebas de caracterización (conminución) en Ferrobamba y Chalcobamba

Yacimiento	End Member	# Muestras	Peso (Kg)
Ferrobamba	PORF	43	1864.79
	SKSU	15	623.67
	SKOX	3	123.82
	EPG (MZM)	1	46.54
	MZQ	2	87.96
	SHL/HFL	1	52.02
Chalcobamba	MZM	19	789.18
	BX	3	97.23
	SKMT	14	636.02
	SKSU	25	1138.14
	MZB	3	121.83
<b>TOTAL</b>		<b>129</b>	<b>5581.2</b>

- Muestras para variabilidad – Se seleccionaron tramos continuos de ½ core hasta alcanzar un peso aproximadamente de 35 Kg, de modo que en estos tramos representarían la variabilidad existente en cada End Member, según lo explicado en 6.3.6.2. Algunas muestras que no completaban el peso requerido fueron seleccionadas igualmente, a fin de que todos los End Members se encuentren representados al momento de aplicar las pruebas.

Tabla 18: Resumen de selección de muestras para pruebas de variabilidad (conminución) en Ferrobamba y Chalcobamba

Yacimiento	End Member	# Muestras	Peso (Kg)
Ferrobamba	PORF	9	1341.23
	SKSU	2	278.98
	SKOX	1	123.2
	EPG (MZM)	0	0
	MZQ	1	162.41
	SHL/HFL	0	0
Chalcobamba	MZM	8	1054.48
	BX	1	73.58
	SKMT	0	0
	SKSU	7	1086.63
	MZB	1	149.13
<b>TOTAL</b>		<b>30</b>	<b>4269.64</b>

### 7.3.7.2. Muestras para Pruebas de Flotación:

- Muestras para variabilidad – Se seleccionaron muestras de aproximadamente 100 Kg. Algunos End Members, que no completaban tramos continuos con el peso requerido, fueron muestreados igualmente, a fin de que todos los End Members se encuentren representados al momento de aplicar las pruebas.

Para preservar estas muestras, de acuerdo a 6.3.6.2, se realizó el siguiente procedimiento:

- Se identificaron los tramos a muestrear ( $\frac{1}{2}$  core).
- Estos tramos se embolsaron en bolsas de polytubing<sup>15</sup>.
- Se procedió a extraer el oxígeno presente dentro de estas bolsas usando un extractor de aire.
- Se inyectó nitrógeno gaseoso en las mismas<sup>16</sup>.
- Se selló al calor y se rotuló adecuadamente.

Tabla 19: Resumen de selección de muestras para pruebas de variabilidad (flotación) en Ferrobamba y Chalcobamba

Yacimiento	End Member	# Muestras	Peso (Kg)
Ferrobamba	PORF	36	3468.315
	SKSU	39	3792.585
	SKOX	16	1494.085
Chalcobamba	MZM	21	1986.04
	BX	8	792.8
	SKMT	23	2515.28
	SKSU	24	2641.87
	MZB	2	209.52
<b>TOTAL</b>		<b>169</b>	<b>16900.495</b>

<sup>15</sup> Es un polietileno de baja densidad, diseñado para ser sellado al calor, cerrado en uno o dos de sus extremos (Fuente: [www.packagingsupplies.com/poly\\_tubing.htm](http://www.packagingsupplies.com/poly_tubing.htm)). Las bolsas de polytubing utilizadas para el muestreo tenían unas dimensiones de 60 x 15 cm.

<sup>16</sup> Para desarrollar Este nuevo trabajo se procedió a la identificación de peligros y evaluación de riesgos (IPER) asociados al mismo. Dicho documento se adjunta como Anexo D.



Para representar la variabilidad litológica dentro del End Member PORF en Ferrobamba, las 21 muestras tomadas se subdividieron dentro de las diferentes litologías que lo conforman.

Tabla 20: Muestras según litologías dentro del End Member PORF (Ferrobamba)

<b>Litología</b>	<b># Muestras</b>
MBF	17
MZB	4
MZH	6
MZM	9
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>



35



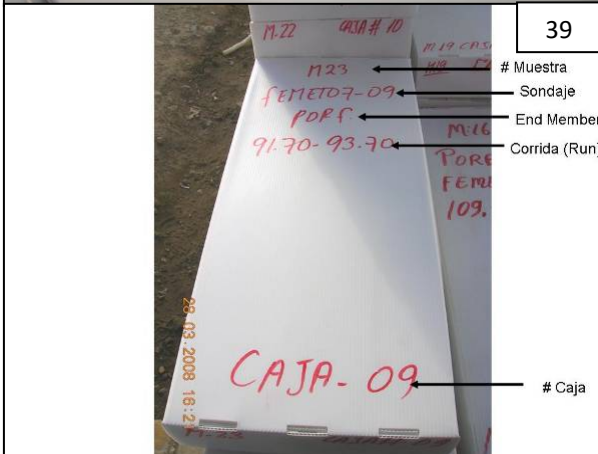
36



37



38

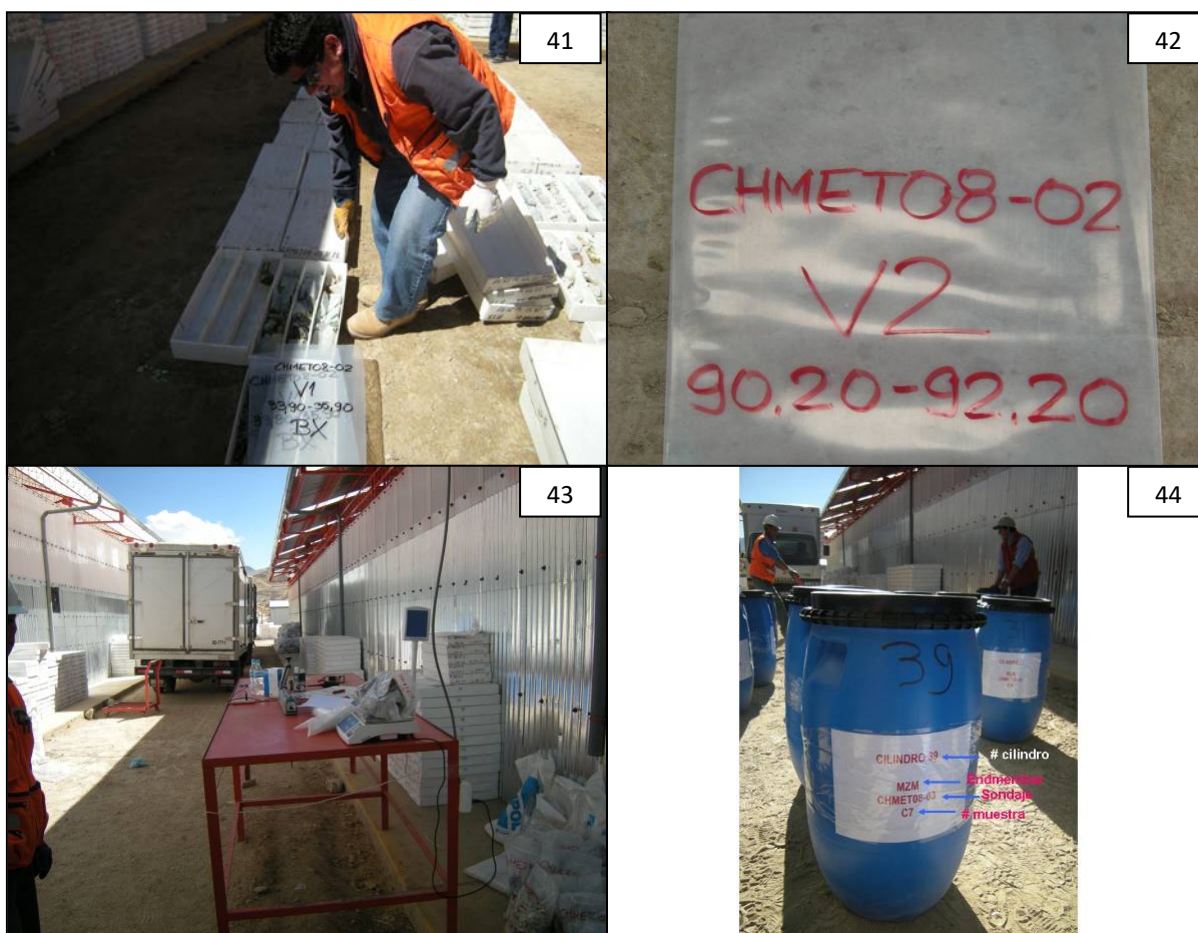


39



40

Fotos Muestreo Flotación 2008: 35. Cilindro de nitrógeno utilizado para los trabajos de muestreo, sujetado para un correcto trabajo, 36. Selección de muestras, 37. Disposición de las bolsas de polytubing con muestras dentro de las cajas de muestras, 38. Etiquetado interior de las muestras, 39. Rotulado externo de las cajas, 40. Forrado final de las cajas con *stick* plástico, para el envío de muestras.



Fotos Muestreo Conminución 2008: 41. Selección de muestras, 42. Identificación de bolsas, 43. Pesado de muestras, 44. Cilindro con muestras mostrando rotulado externo.

### 7.3.7.3. Embalaje y envío de muestras:

Las muestras recolectadas para pruebas de conminución (6.3.7.1) fueron acondicionadas en cilindros plásticos; las muestras para pruebas de flotación (6.3.7.2) fueron embaladas en bolsas de *polytubing* y dispuestas en cajas plastificadas. Las primeras se enviaron a Lakefield SGS (Chile) y las segundas a G&T Metallurgical Services (Canadá).

Este envío de muestras es el último que se realizó y culmina con los trabajos de campo para los estudios geometalúrgicos de la Fase de Prefactibilidad.

## VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Una secuencia de trabajo definida y ordenada ha permitido alcanzar el objetivo de realizar las pruebas metalúrgicas a las muestras generadas en el Proyecto Las Bambas.
- La definición de End Members (realizada en ambas fases) es una parte muy importante del trabajo, ya que es el punto de partida para todas las tareas que se sucederán (campaña de perforación, ensayos químicos, selección de muestras, desarrollo de pruebas metalúrgicas).
- La definición de End Members se ha basado en criterios litológicos (mayoritariamente) y mineralógicos. Los End Members, que agrupan diferentes litologías, tienen diferencias marcadas en dureza, granulometría, estilos de mineralización, presencia de especies minerales, etc.; propiedades que van a determinar que los procesos de conminución y flotación aplicados a cada uno de ellos sean distintos. El conocimiento de estos procedimientos es el objetivo principal de la aplicación de las pruebas metalúrgicas.
- Los trabajos de geometalurgia se enfocaron exclusivamente en Ferrobamba y Chalcobamba ya que estos serán -y en ese orden- los dos primeros depósitos en entrar en etapa de explotación, y era necesario conocer los parámetros geometalúrgicos que los gobiernan. El depósito de Sulfobamba entrará en explotación años después, y por eso no era tan prioritaria su investigación.
- Si bien toda la secuencia de actividades debe seguir normativas corporativas, hubo oportunidad de adecuarlas a la realidad del proyecto y optimizarlas. Las mejoras fueron compartidas con el grupo de Las Bambas y con otros grupos dentro de la División Sur de Xstrata. Esta experiencia de trabajo fue aplicada en el proyecto Antapaccay (Espinar, Cusco), cuando se desarrollaron los trabajos de definición de End Members, identificación de tramos a muestrear y selección y embalaje de muestras.
- La malla de sondajes geometalúrgicos debe distribuirse uniformemente en el depósito, de modo que pueda representar toda la heterogeneidad del mismo. Solo así los resultados de las pruebas metalúrgicas serán confiables y trazables en todo el depósito.
- La cantidad de sondajes (que indirectamente refleja la cantidad de muestras a obtenerse y las pruebas a efectuarse) estuvo en función de la fase del estudio geometalúrgico. Así, en la Fase Conceptual se necesitó sólo la ejecución de 10

sondajes y en la de Prefactibilidad, se requirió la perforación de 51 sondajes, esto en función de la naturaleza y del detalle del estudio a realizar. Obviamente, la fase de Prefactibilidad se asocia a un conocimiento detallado, con resultados que se integran a un estudio económico y de ingeniería, que deben sustentar la viabilidad futura del proyecto

- Las metodologías aplicadas en la formación de los compósitos o muestras ha variado de acuerdo al enfoque que la oficina técnica le otorgó al trabajo. Así, mientras que en la Fase Conceptual se formaron compósitos con una determinada característica, en la Fase de Prefactibilidad se formaron muestras continuas que representaran la variabilidad existente.
- Los horizontes con óxidos o mixtos (óxidos + sulfuros) están mejor desarrollados en Ferrobamba (especialmente dentro del skarn), donde representan como un 10% de todo el recurso mineral conocido, por esta razón se le separó como un End Member (SKOX). En Chalcobamba, las zonas con óxidos no están bien definidas y son poco considerables en volumen, por lo que no se vio conveniente considerarlas como End Member.
- Las principales menas de cobre en son sulfuros primarios de cobre (bornita y calcopirita), en contenidos mayoritarios respecto de especies de sulfuros secundarios de cobre (calcosita, covelita) u óxidos (crisocola, malaquita): En Ferrobamba los sulfuros primarios aportan el 84% de cobre en los skarns y el 94% en los pórfidos; en Chalcobamba, el 94% en los skarns y el 91% en los pórfidos. Es por ello que el método metalúrgico de recuperación que se empleará en la futura planta de Las Bambas será el de flotación.
- La razón de ser de las pruebas de caracterización (conminución y flotación) y variabilidad (flotación) es: representar las características comunes de un End Member (caracterización) y resaltar las diferencias dentro de ellos (variabilidad). Los datos recogidos servirán para el ajuste de los parámetros operativos que la planta metalúrgica tendrá para el tratamiento de los distintos materiales (rocas, minerales) que lleguen a ella.
- El muestreo para variabilidad (flotación) dentro del End Member PORF (Ferrobamba) tomó en consideración las variaciones litológicas dentro de él. Se tomaron muestras “puras” de las litologías que lo conforman, y en proporción al porcentaje en volumen que las mismas representaban dentro del End Member PORF; así, se obtuvo una mejor representación de muestras.

- Todo resultado exitoso de una tarea se basa en el concepto de trabajo en equipo. La feliz culminación de esta actividad se debió al compromiso del personal del área de Geología, que estuvo participando activamente durante todas las fases de los trabajos, así como al apoyo de las oficinas técnicas y sus responsables fuera de Perú (Oscar Alruiz, Karina Arburo, Anne Charland, Raúl Roco, David Way, Percy Zambrano y Jorge Ganoza).
- Se recomienda (como documento interno Xstrata) la elaboración de un “Manual para Trabajos de Geometalurgia”, que complemente y desarrolle en profundidad los temas que se han expuesto en el presente informe.

## IX. BIBLIOGRAFIA

- Aldana, M.; Ramírez, J.; Rangel, C.; Romero, L.; Villavicencio, E. (1995). Fauna y Flora Fósil del Perú. Boletín 17. Serie "D". INGEMMET, 332 pp.
- Alfaro, E. (2009). La Gometalurgia: Prosopectiva en minería y formación académica de especialistas: Presentación en la 29ª Convención Minera, Arequipa, Perú.
- Brookes, M. (2006). Structural Review of the Las Bambas Project Area: Informe Interno Xstrata Perú, 20 pp.
- Bulled, D. y McInnes, C. (2005). Flotation Plant Design and Production Planning Through Geometallurgical Modelling: Centenary of Flotation Symposium, Brisbane, QLD, Australia, 6 pp.
- Cardozo, M. (2006). Peruvian Andes: Geology & Mineral Potential: Presentación en la convención "Prospectors & Developers Association of Canada".
- Charland, A. (2007). Las Bambas Trip Report July 2007: Informe Interno Xstrata Process Support, 15 pp.
- Charland, A. y Chisholm K. (2007). Las Bambas Ore Characterisation Program: Informe Xstrata Process Support, 197 pp.
- G & T Metallurgical Services Ltd (2006). An Assesment of Metallurgical Response Las Bambas – Ferrobamba Zone. Apurímac – Perú: Reporte para Xstrata, 168 pp.
- Guillén, F. y Palomino, L. (2009). Informe Programa de Exploración Geología 2008, Las Bambas – Perú: Informe Interno Xstrata Perú, 103 pp.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Geometallurgy>
- [http://www.jktech.com.au/Products\\_Services/Laboratory-Services/Comminution-Testing/pointloadtesting.htm](http://www.jktech.com.au/Products_Services/Laboratory-Services/Comminution-Testing/pointloadtesting.htm)
- [http://www.met.sgs.com/metallurgy\\_home\\_v2/services/connecting\\_sites\\_comminution\\_services.htm](http://www.met.sgs.com/metallurgy_home_v2/services/connecting_sites_comminution_services.htm)
- Intercade (2009). Apuntes de Diplomado Virtual "Metalurgia Extractiva y Geometalurgia".
- Lipa, V. (2005). Análise Estrutural do Plúton Abancay e sua importância na evolução tectônica da porção sul de Abancay – Perú: Tesis para optar el Título de Master en Geociencias, Instituto de Geociencias, Universidad Estadual de Campinas (Brasil), 113 pp.

- Lipa, V. (2007). Informe Estructural Preparatorio – Proyecto Minero Las Bambas: Informe Interno Xstrata Perú, 38 pp.
- Morrell, S. (2006). Design of AG/SAG Mill Circuits using the SMC Test, 20 pp.
- Mosher, J. y Bigg, T. (2002). Bench-scale and Pilot Plant Tests for Conminution Circuit Design: Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control - Vol 1, 2422 pp.
- Muñoz, C.; Staude, J-M.; Cuadros, P.; Cardoso, S. y otros (2001). Las Bambas District Evaluation (Apurimac, Peru) - Part of Las Bambas Project Report: Informe Interno BHPBilliton, 109 pp.
- Pecho, V. (1981). Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomás: Boletín 35. Serie "A". INGEMMET, 93 pp.
- Perello, J; Carlotto, V.; Zarate, A.; Ramos, P.; Posso, H.; Neyra, C.; Caballero, A.; Fuster, N.; Muhr, R. (2003). Porphyry-Style Alteration and Mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region. Peru. Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, V 98. N 8, 31 pp.
- Sutulov, A. (1963). Flotación de Minerales, 321 pp.
- Tampakan Copper Project (2007). Metallurgical Core Sample Handling Procedure: Manual de Procedimientos, 12 pp.
- Taylor, A. (1992). Metallurgical Sampling and Testing: SME Mining Engineering Handbook, 2394 pp.
- Xstrata Process Support (2007). Process Mineralogy: Presentación interna.
- Xstrata Servicios Técnicos (2007). Metodología de Caracterización Metalúrgica de un Yacimiento: Presentación Interna.



## ANEXO A: Códigos geológicos utilizados

Códigos Geológicos (Modificado de <i>Geology Codes - Las Bambas Project.xls</i> )							
Litología 1		Litología 2		Estructura		Estilo de la magnetita	
Diorita	DI	Diorita	DI	Fractura	FRC	Masiva	MA
Granodiorita	GD	Granodiorita	GD	Gouge > 50%	FLG	Laminada	LM
Granodiorita biotítica	GDB	Monzonita biotítica	MZB	Gouge < 50%	FLF	Diseminada	DM
Granodiorita hornbléndica	GDH	Monzonita biotítica fina	MBF	Zona de falla	FLZ	Venillas	VE
Monzonita biotítica	MZB	Monzonita hornbléndica	MZH	Espejo de falla	SLK		
Monzonita hornbléndica	MZH	Monzonita máfica	MZM	Estratos	BED	<b>Óxidos / Hidróxidos / Sulfatos</b>	
Monzonita máfica	MZM	Monzonita cuarzosa	MZQ	Contacto	CON		
Monzonita biotítica fina 1	MBF1	Pórfido cuarzo-feldespató	QFP	Laminación	LAM	Cobre nativo	Cn
Monzonita biotítica fina 2	MBF2	Pórfido cuarzo-feldespató seriado	QFS	Estilolitas	STY	Cuprita	Cu
Monzonita cuarzosa	MZQ	Andesita	AN			Crisocola	Cr
Pórfido cuarzo-feldespató	QFP	Latita	LA			Malaquita	MI
Pórfido cuarzo-feldespató seriado	QFS	Arenisca	SND	<b>Minerales formadores de rocas ígneas</b>		Azurita	Az
Pórfido cuarzo-feldespató tardío	QFL	Lutita-Limolita	SHL			Tenorita	Tn
Andesita	AN	Caliza	LMT	Cuarzo	Qz	Goethita de cobre/neotocita	Gc
Latita	LA	Caliza chértica	CHL	Plagioclasa	Pg		
Pórfido hornbléndico	HP	<b>ENDOSKARNS</b>		Feldespato	Kf	Hematita	Hm
Arenisca	SND	Endoskarn de granate	EGT	Hornblenda	Hn	Jarosita	Ja
Lutita-Limolita	SHL	Endoskarn de epidota	EEP	Biotita	Bt	Goethita	Go
Caliza	LMT	Endoskarn de plagioclasa-piroxeno	EPG	<b>Minerales accesorios</b>		Óxidos de hierro	Feo
Caliza chértica	CHL	<b>EXOSKARNS</b>		Magnetita	Mt	Óxidos de manganeso	Mno
Brecha tectónica	TBX	Skarn de magnetita	MSK	Esfena	Sh	<b>Sulfuros</b>	
Brecha hidrotermal	HBX	Skarn de granate	GSK			Calcopirita	Cp
Brecha freatomagmática	PBX	Skarn de piroxeno	PSK			Bornita	Bn
Brecha magmática	MBX	Skarn de epidota	ESK	<b>Minerales de alteración</b>		Calcosita	Cc
Brecha sedimentaria	SBX			Granate	Gt	Covelita	Cv
Cuaternario	QT	Mármol con calcosilicatos	MBC	Piroxeno	Px	Molibdenita	Mo
Sin recuperación	NR	Hornfels	HFL	Magnetita	Mt	Galena-Esfalerita	Ga/Sp
		Mármol	MBL	Epídota	Ep	Pirita	Py
		Cuarcita	QTZ	Anfibol	Am	Pirrotita	Po
<b>Color</b>				Actinolita-tremolita	Ac/Tr	Arsenopirita	Ap
Negro	BC	Brecha	BX	Especularita	Sc		
Blanco	WH	Cuaternario	QT	Albita	Ab		
Amarillo	YE	Sin recuperación	NR	Anortita	An	<b>Tipo de venillas</b>	
Verde	GN			Clorita	Ct	Qz+Mt±Cp±Bn±Mo	QMS
Rojo	RD	<b>Tamaño de grano</b>		Calcita	Ca	Qz+Bn>Cp±Mo	QBC
Azul	BL	Fino	F	Dolomita	Do	Qz+Cp>Bn±Mo	QCB
Naranja	OR	Medio	M	Wollastonita	Wo	Qz+Kf	QK
Rosado	PI	Grueso	C	Sericita	Se	Qz+Mo	QMO
Marrón	BW			Feldespato	Kf	Sulfuros	SU
Gris	GY	<b>Estilo de alteración</b>		Biotita	Bt	Qz	QZ
		Pervasivo	PV	Fluorita	Fl	Rd-Gn-Ef	RSU
<b>Textura</b>		Selectivo	SE	Yeso	Gy	Rd	RD
Porfirítica	PO	Venillas	VE	Anhidrita	Ah		
Afanítica	AP			jaspe	Jp	<b>Zona mineral</b>	
Equigranular	EQ	<b>Estilo de mineralización</b>		Arcillas	Cl	Cr-Tn-Gc-MI-Az	1
Granoblástica	GR	Diseminado	DM	Rodonita	Rd	Cn-(Cu)	2
Laminada	LM	Venillas	VE			Cc ≥ Cp    Cc ≥ Bn	3
Estratificada	BE	Venillas/diseminado	VD			Cp > Bn	4
Masiva	MA	Masivo	MA			Bn ≥ Cp	5
Brechosa	BX	Fracturas	FC			Ox Fe	6
						Roca Fresca +Py	7

## **ANEXO B: Breve descripción de pruebas de conminución aplicadas.**

### **Prueba de caída (JK Drop Weight Test)**

Determina la energía específica vs. la distribución de tamaño de producto de ruptura. Se usa los parámetros de ruptura de la prueba de Caída de Peso JK y el paquete de software JK SimMet para simular circuitos de conminución para propósitos de optimización (por ejemplo, tamaño de bolas, área abierta de malla, etc.) o para integrarlo a un diseño en base a CEET® (modelos computacionales para investigaciones o para propósitos de proyección de producción).

### **Prueba SMC (SAG Mill Conminution)**

Es un ensayo de molienda a nivel laboratorio, que tiene como objetivo caracterizar un yacimiento en cuanto a su dureza para molienda semi-autógena. El SMC Test requiere entre 10 y 20 Kg de muestra de sondaje, y permite determinar la variabilidad en dureza para la molienda SAG dentro del yacimiento. Fue desarrollado por Steve Morrell de SMC Testing Pty Ltd., Australia, y es una versión modificada del JK Drop Weight Test

### **Prueba de carga puntual (Point Load Test)**

Es una manera rápida y conveniente para determinar la fuerza y la resistencia a la fractura de un mineral. Se usa para la caracterización de los materiales que van a ser sometidos a procesos de trituración.

### **Prueba de Molienda del Molino de Barras Bond (Bond Rod Mill)**

Determina el Índice de Trabajo del Molino de Barras Bond que es usado para determinar los requisitos netos de energía para dimensionar molinos de barras. La prueba es una prueba de molienda seca, de circuito cerrado, realizada en un molino de barras estándar.

### **Prueba de Molienda del Molino de Bolas Bond (Bond Ball Mill)**

Determina el Índice de Trabajo del Molino de Bolas Bond usado para determinar los requisitos netos de energía al dimensionar molinos de bolas. Esta prueba es una prueba de molienda seca, de circuito cerrado. Es realizada en un molino de bolas estándar y puede ser realizada con tamaños de malla que van desde malla 48 (aproximadamente 320  $\mu\text{m}$ ) a malla 400 (37  $\mu\text{m}$ ). Los datos del Índice de Trabajo

del Molino de Bolas Bond (y el Índice de Trabajo Bond Modificado) pueden ser usados en el simulador de molienda CEET® .

**Prueba de Abrasión (Abrasion Index)**

Determina el Índice de Abrasión, el que puede ser usado para determinar los medios de acero y recubrimientos en chancadores, molinos de barras y molinos de bolas.

## **ANEXO C: Breve descripción de pruebas de flotación aplicadas.**

Para la fase 1 (Evaluación de la variabilidad de cada depósito) se efectuaron pruebas de cinética de flotación rougher-scavenger para evaluar tamaño de partícula, y dosificación de colector. Con los mejores parámetros obtenidos se efectuaron pruebas de flotación cleaner, las cuales incluyen flotación rougher con condiciones óptimas de las pruebas, remolienda para evaluar la liberación de las partículas mixtas, y tres etapas de limpieza. De la tercera etapa de limpieza se obtiene el concentrado final. En cada una de las muestras enviadas de Ferrobamba y Chalcobamba se efectuaron las pruebas a fin de evaluar el comportamiento de cada muestra de manera individual.

Para la fase 2 se trabajó sobre muestras de Ferrobamba y no de Chalcobamba en razón de que el primero de los nombrados será minado los primeros años de operación. Las muestras de Ferrobamba se clasificaron en tres grupos de muestras según el contenido de cobre soluble en ácido sulfúrico, y por la proporción respecto al cobre total (CuOx/CuT). Se obtuvieron muestras de bajo, medio y alto contenido de cobre soluble en ácido sulfúrico. El primer grupo incluye solubilidad hasta 15%, el segundo entre 15 y 40%, y el tercero es mayor a 40%.

Una vez clasificados las muestras se efectuaron de manera similar a la fase 1 pruebas de cinética de flotación rougher-scavenger, cleaner y de ciclo cerrado (locked cycle test). Las pruebas de ciclo cerrado buscan evaluar los resultados obtenidos en las pruebas cleaner mediante la circulación de productos intermedios.

Para la Fase 3 (Planta Piloto y pruebas a escala de laboratorio) se formaron dos compósitos, uno de los cuales tiene niveles más altos de molibdeno. Cada compuesto pesaba unos 4000 a 5000 Kg. Posteriormente, el mineral será procesado a una tasa nominal de 100 Kg por aproximadamente diez días de funcionamiento. El concentrado con alta ley de molibdeno se utilizó en un estudio de separación de cobre y molibdeno. Esta fase incluyó también una evaluación mineralógica del concentrado, y del material de las pruebas rougher y cleaner. El programa culminó con cuatro pruebas de ciclo cerrado.

ANEXO D: Matriz de Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos (IPER) para el embalado de muestras con nitrógeno



IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES y PELIGROS EN HSEC

REG-01-P02/00

PROYECTO: LAS BAMBAS  
 Área: GEOMETALURGIA  
 Responsable: ENRIQUE VEGA HUJAR  
 Fecha de Rpte. 15/03/2008

Participantes en el análisis

Nombre y Apellido  
 1 ENRIQUE VEGA HUJAR  
 2 ABELARDO SUAREZ  
 3 LUIS PALOMINO  
 4 MARISOL LOZANO

Rutinario

No Rutinarios (Proyectos)

No.	Actividad / Proceso	H S E	Descripción del Peligro / AA	Grupo Aspecto	Recurso/Residuo	Descripción del Riesgo	Riesgo Inicial			Controles Requeridos			Riesgo Residual			Controles adicionales
							Consecuencia	Probabilidad	Iv. Riesgo	Descripción de los Elementos del SGI HSEC	Implementados	Por Implementar	Consecuencia	Probabilidad	Iv. de Riesgo	
1	EMBALADO DE MUESTRAS CON NITROGENO	S	Incendio			No combustible	B	3	8	EST- 06 Uso de Equipos de protección personal (EPPs) EST-07-00 Orden y Limpieza	X		B	1	3	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
2		H	Asfixia	Inhalación		Debilidad y pérdida de conocimiento	C	3	13	EST-06-00 Uso de Equipos de Protección Personal (EPPs), ventilación	X		C	2	9	Air limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica. La administración de oxígeno puede ser beneficiosa siempre que sea efectuada por una persona experta.
3		H	Frio Extremo quemadura	piel		En contacto con el líquido congelación	A	1	1	Guantes aislantes del frío de cuero	X		A	1	1	EN CASO DE CONGELACION: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa y proporcionar asistencia médica.
4		H	Contacto con los ojos	ojos		Dolor, quemaduras profundas graves	C	3	13	EST-06-00 Uso de Equipos de Protección Personal (EPPs) Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	X		B	2	5	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
5		S	Impacto por salida a alta presión del gas	Los anteriores descritos en 2,3 y 4		Los anteriores descritos en 2,3 y 4	C	3	13	Chequear buen estado de manómetros y mangueras. La presión de salida no debe exceder los 15 psi. Los balones deben estar bien sujetos (encadenados).		X	B	2	5	Checklist (antes de empezar el trabajo y en intervalos de tiempo a establecer) del estado de los balones, accesorios y del mecanismo de sujeción.