UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

CARACTERIZACION MICROSCOPICA DE LA MOLIBDENITA Y SU INFLUENCIA EN LA RECUPERACION DE MOLIBDENO EN EL YACIMIENTO FERROBAMBA-LAS BAMBAS-APURIMAC

PRESENTADO POR:

Br. MYLAGROS HUANCA TTITO Br. JASHIRA FIORELA LEZANO OCHOA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE: INGENIERO GEÓLOGO

ASESOR M. Sc. ING. MAURO ALBERTO ZEGARRA CARREON

CUSCO-PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado: <u>Caradengouen</u>, <u>microscopica</u> <u>de la</u> <u>Holibdenila</u>, <u>y su influencia en la recuperación de Holibdent en di racimiento Fendambo las Bankas Aperance</u> presentado por: <u>Mylagros Huanca Hilo</u>, <u>y bahira Fiorela Legano Ochoa</u> con Nro. de DNI: <u>Mesos 283, y HIJ35209</u>, para optar el título profesional/grado académico de <u>Jugeorero</u> <u>Geologo</u> Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por <u>I</u>, veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6º del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de <u>8</u>.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	×
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad acadêmica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 24. de Agosto de 20.23

Post firma. Mauna ORCID del Asesor. 0000-0003 0716-3980

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.

010:27259:257723932

1 turnitin

Identificación de reporte de similitud. oid:27259:257723932

NOMBRE DEL TRABAJO

CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA DE LA MOLIBDENITA Y SU INFLUENCIA EN LA RECUPERAC.pdf AUTOR

Mylagros Huanca Ttito

RECUENTO DE PALABRAS

15664 Words

RECUENTO DE PÁGINAS

119 Pages

FEGHA DE ENTREGA

Aug 24, 2023 3:08 PM GMT-5

REQUENTO DE CARACTERES

94409 Characters

TAMANO DEL ARCHIVO

7.4MB

FECHA DEL INFORME

Aug 24, 2023 3:10 PM GMT-5

8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- · 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- Excluir del Reporte de Similitud
- Material citado
- · Bloques de texto excluídos manualmente

- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr
 - Fuentes excluidas manualmente

DEDICATORIA

A mis padres Julio y Juana, quienes, con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño más. Gracias por inculcar en mi el ejemplo de esfuerzo y valentía. A mis hermanos: Mildrehth y Kevin por su cariño Y apoyo incondicional durante Todo este proceso *Jashira L.O.*

A Dios, por siempre acompañarme y ponerme

ángeles en el camino.

A mis padres, Leonarda y Nicomedes, por todo su amor,

fortaleza y haberme enseñado a ser la persona que soy hoy,

mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño.

A mis hermanas, Elizabeth y Yahjayra, por brindarme

su apoyo moral cuando más las necesitaba.

Mylagros H.T.

RESUMEN

El yacimiento Ferrobamba es un Skarn-pórfido de Cu-Mo ubicado en las Bambas, obteniendo como producto final concentrado de cobre (Cu) y molibdeno (Mo). El proceso metalúrgico es por flotación de espuma convencional de Cu-Mo.

El presente estudio tiene como finalidad identificar los tipos de molibdenita, su ocurrencia en mina y la influencia en la recuperación de molibdeno, con el propósito de llevar un mejor control desde mina y su recuperación en planta.

Según los análisis macroscópicos y microscópicos realizados en zonas de mayor concentración de molibdeno (leyes >100 ppm), se determinan dos politipos de molibdenitas de acuerdo a su estructura cristalina: 2H (cristalografía hexagonal) y 3R (cristalografía romboédrica), de las cuales se conoce que las molibdenitas 2H, son predominantemente laminares, cinéticamente más rápida para flotar y con altas recuperaciones; en cambio la molibdenita 3R, presentan dificultad, son cinéticamente más lentas para la flotación. Identificamos que las molibdenitas de tipo 3R se encuentran presentes en las rocas PSK evidenciando recuperaciones bajas, así mismo, en las rocas GSK y MZB la recuperación de Mo es favorable, siendo las molibdenitas 2H las más abundantes.

También se identifica concentrado con baja recuperación a elementos contaminantes como molibdeno ocluido en calcio, en sulfuros de cobre, en silicatos y en elementos como plomo y fosforo, teniendo bajas recuperaciones de acuerdo con este tipo de asociación y granulometría que presenta el concentrado.

Palabras clave:

Molibdenita, molibdeno, recuperación, skarn, monzonita

ABSTRACT

The Ferrobamba deposit is a Cu-Mo skarn-porphyry located in Las Bambas, obtaining concentrated copper (Cu) and molybdenum (Mo) as a final product. The metallurgical process is by conventional Cu-Mo foam flotation.

The purpose of this study is to identify the types of molybdenite, its occurrence in the mine and the influence on the recovery of molybdenum, with the purpose of having a better control from the mine and its recovery in the plant.

According to the macroscopic and microscopic analyzes carried out in areas of higher molybdenum concentration (grades >100 ppm), two molybdenite polytypes were determined according to their crystalline structure: 2H (hexagonal crystallography) and 3R (rhombohedral crystallography), of which Know that 2H molybdenites are predominantly laminar, kinetically faster to float and with high recoveries; On the other hand, 3R molybdenite presents difficulties, they are kinetically slower for flotation. We identified that 3R type molybdenites are present in the PSK rocks, evidencing low recoveries, likewise, in the GSK and MZB rocks the recovery of Mo is favorable, with 2H molybdenites being the most abundant.

Concentrate with low recovery of polluting elements such as molybdenum occluded in calcium, copper sulfides, silicates and elements such as lead and phosphorus, is also identified, having low recoveries according to this type of association and granulometry that the concentrate presents.

Keywords:

Molybdenite, molybdenum, recovery, skarn, monzonite

INDICE

CAPÍTULO	I : GENERALIDADES	. 17
1.1.	Planteamiento del problema	. 17
	1.1.1. Descripción del problema	. 17
1.2.	Objetivos	. 18
1.2.1.	Objetivo General	. 18
1.2.2.	Objetivos secundarios	. 18
1.3.	Antecedentes	. 18
1.4.	Variables de la Investigación	. 19
1.4.1.	Variables independientes	. 19
1.4.2.	Variables dependientes	. 19
1.4.3.	Indicadores	. 19
1.5.	Hipótesis de la investigación	. 19
1.6.	Justificación de la investigación	. 20
1.7.	Metodología	. 20
1.8.	Ubicación	. 22
1.9.	Accesibilidad	. 22
Vía ao	érea	. 25
Via T	errestre	. 25
CAPÍTULO	II : GEOLOGIA REGIONAL	. 26
2.1	Introducción	. 26
2.2	Metalogenia	. 26
2.3	Estratigrafía del Mesozoico	. 28
2.3.1	Formación Ferrobamba o Arcurquina (Kis-a/s)	. 28
2.3.2	Formación Soraya (Kis-a/i)	. 29
2.3.3	Formación Mara o Murco (Ki-mu)	. 29
2.4	Estratigrafía del Cenozoico	. 30
2.4.1	Unidad Progreso, plutón Chalcobamba, granodiorita (Pn-p/ch-tn-gd)	. 30
2.4.2	Unidad Llajua, plutón Ferrobamba, diorita (Pn.ll/f-di)	. 30

2.4.3	Grupo Barroso, complejo volcánico Vilcarani (Nq-b-tb)	
2.4.4	Grupo Barroso, complejo volcánico Malmanya (Nq-b.pi)	
2.5	Depósitos Cuaternarios	
2.5.1	Depósitos aluviales (Qh-al)	
2.5.2	Depósitos glaciares y fluvioglaciares (Qh-gl), (Qh-glfl)	
2.5.3	Depósitos fluviales (Qh-fl)	
2.6	Geología estructural regional	
CAPÍTULO	III : GEOLOGIA DEL YACIMIENTO	
3.1	Geología Local	
3.1.1	Formación Soraya o Huallhuani (ki-so)	
3.1.2	Formación Mara o Murco (ki-ma)	
3.1.3	Formación Ferrobamba o Arcurquina (ki-fe)	
3.2	Controles estructurales locales	
3.3	Rocas ígneas	
3.3.1	Monzonita máfica (MZM)	
3.3.2	Monzonita biotítica (MZB)	
3.3.3	Monzonita hornbléndica (MZH)	
3.3.4	Monzonita cuarzosa (MZQ)	
3.4	Rocas metamórficas	
3.4.1	Endoskarn (ENDO):	
3.4.2	Exoskarn de Magnetita:	
3.4.3	Exoskarn de Granate:	
3.4.4	Exoskarn de piroxeno:	
3.5	Zoneamiento del yacimiento Ferrobamba	
CAPÍTULO	IV : CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA Y MICROS	CÓPICA DE
LA MOLIB	DENITA	48
4.1	Sobre la metodología de la caracterización	
4.2	Muestreo	
4.3	Logueo	50
4.4	Análisis químicos	50

4.5	Análisis estadístico descriptivo	
4.5	Caracterización de la Molibdenita	
4.5.1	Caracterización macroscópica de la Molibdenita	
4.5.2	2 Caracterización microscópica de la Molibdenita	74
4.6	Pruebas metalúrgicas	
4.6.1	Resultados de pruebas metalúrgicas	
CAPÍTUL	D V : ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	86
5.1	Correlación entre los resultados de análisis químicos	
5.2	Análisis de datos geoquímicos	
5.3	Histograma de la ley de molibdeno	
5.4	Histograma-Gráfica de caja de la ley de molibdeno por litología.	
5.5	Correlación entre variables	
5.6	Asociaciones representativas del molibdeno	
5.6.1	Molibdeno en el concentrado de molibdeno	
5.6.2	2 Calcio en el concentrado de molibdeno	
5.6.3	Cobre en el concentrado de molibdeno	
5.6.4	Insolubles en el concentrado de molibdeno	
5.6.5	As, Pb y P en el concentrado de molibdeno	
CONCLUS	IONES	113
RECOME	NDACIONES	
BIBLIOGI	RAFÍA	115
ANEXOS A	ABREVIATURAS	117
ANEXO M	APAS	117

INDICE DE FIGURAS

Figura I-1 : Mapa de Ubicación del yacimiento Ferrobamba23
Figura I-2 : Mapa de Accesibilidad del yacimiento Ferrobamba24
Figura II-1 Mapa Metalogenético de la Región de Apurímac27
Figura II-2 : Columna estratigráfica Regional33
Figura II-3 : Dominios geotectónicos del Perú35
Figura II-4 : Deflexión de Abancay y su posible evolución cinemática
Figura IV-1 Sección esquemática de muestreo, 6 inserciones equidistantes
Figura IV-2 Mapa de logueo de blastholes de las muestras en la zona Noreste
Figura IV-3 : Mapa Litológico y de isovalores, diferenciando la concentración de Mo (ppm) en 7
zonas
Figura IV-4 : Estructura de cristal de Politipo 2H y 3R e la molibdenita75
Figura IV-5 : Muestra GSK, se observa cristales tabulares, alargados, intercrecidos con
calcopirita76
Figura IV-6 : Muestra GSK, se observa cristales tabulares intercrecidos con calcopirita, estas
caras desarrolladas son favorables para la flotación y su respectiva recuperación de Mo76
Figura IV-7 : Muestra ENDO, se observa cristales de forma tabular en 4X de flotación rápida y
cristales amorfos en 10X de flotación lenta, recuperación muy baja77
Figura IV-8 : Muestra ENDO, se observa cristales alargados en 4X y cristales esféricos
(Romboédricos) en 10X, molibdenita de flotación lenta77
Figura IV-9 : Muestra PSK, se observa cristales sin bordes definidos e intercrecidos con una
matriz de piroxenos, calcopirita intercrecida en la molibdenita, caracterizada como flotación lenta y
recuperación muy baja
Figura IV-10 : Muestra PSK, se observa cristales sin borde definido

Figura IV-11 : Muestra MZQ, se observa cristales tabulares de disposición radial y cristales
amorfos de manera fina
Figura IV-12 : Muestra MZQ, se observa cristales tabulares con disposición radial y cristales
amorfos, difíciles de flotar por su fino tamaño79
Figura IV-13 : Muestra zona de falla, se observa cristales amorfos, difíciles de flotar y con baja
recuperación
Figura IV-14 : Muestra en espejo de falla, se observa cristales amorfos y pequeños80
Figura IV-15 : MZB se observa cristales tabulares y alargados desarrollados en minerales de
ganga, presentan caras desarrolladas están asociados a calcopirita81
Figura IV-16 : MZB se observa cristales tabulares y alargados, asociados a calcopirita81
Figura IV-17 : MZM y MZH se observa cristales amorfos y tabulares, asociados a calcopirita y
cuarzo
Figura IV-18 : Gráfica entre la recuperación de Cu y el % de recuperación de Cu84
Figura IV-19 : Gráfica entre la recuperación de Mo y el % de recuperación de Mo85
Figura V-1 : Histogramas de molibdeno en las siete zonas identificadas
Figura V-2 : Derecha histograma por litología de Mo con densidad poblacional en la monzonita
biotítica; izquierda, gráfico de caja de Mo89
Figura V-3 : Derecha, histograma por litología de Mo con importancia litológica en el exoskarn
y la monzonita biotítica-, izquierda, gráfico de caja de Mo89
Figura V-4 : Derecha, histograma por litología de Mo con una superior densidad poblacional en
la monzonita biotítica, así como evidencia valores anómalos de concentración de Mo90
Figura V-5 : Derecha, histograma por litología de Mo con importancia litológica en el exoskarn
Figura V-6 : Derecha, histograma por litología de Mo con concentraciones de Mo inferiores a los
100 ppm en todas las litologías, así mismo evidencia la ínfima data poblacional91

Figura V-10 Izquierda correlación lineal por litología entre Mo-Cu (Coeficiente de correl	ación
en la monzonita biotítica es de 0.26 y en la monzonita cuarcífera 0.40); derecha densidad de datos	
correlacional entre Mo-Cu	93

Figura V-11	Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en la	
monzonita biotítica es	0.07 v en la monzonita cuarcífera 0.12)	.94

Figura V-12 Izquierda correlación lineal de 0.25 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de

Figura V-13 Izquierda correlación lineal por litología entre Mo-Cu (coeficiente de correlaci	ón es
--	-------

de 0.03 y endoskarn es 0.13); derecha densidad de datos correlacional entre Mo-Cu.95

Figura V-14 Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación es

Figura V-15 Izquierda correlación lineal de 0.32 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de

Figura V-17 Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en la

monzonita biotítica es 0.02 y en la monzonita cuarcífera 0.06)......97

Figura V-18 Izquierda correlación lineal de 0.24 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de

.22 entre Mo-Ag	97
-----------------	----

Figura V-19 Correlación lineal por litología entre Mo-Cu (coeficiente de correlación en el
exoskarn 0.09 y en el endoskarn es 0.36)98
Figura V-20 Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en el
exoskarn 0.10 y en el endoskarn es 0.33)98
Figura V-21 Izquierda correlación lineal de 0.48 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de
0.49 entre Mo-Ag
Figura V-22 Correlación lineal por litología entre Mo-Cu (coeficiente de correlación el exoskarn
es 0.24 y endoskarn es 0.30)
Figura V-23 Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en el
exoskarn es 0.23 y endoskarn es 0.38)100
Figura V-24 Izquierda. correlación lineal de 0.11 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de
0.13 entre Mo-Ag100
Figura V-25 Correlación lineal por litología entre Mo-Cu (coeficiente de correlación en el
exoskarn 0.06, endoskarn es 0.21 y en la monzonita biotítica es 0.22)101
Figura V-26 Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en el
Exoskarn 0.07, Endoskarn 0.20 y Monzonita Biotítica es 0.27)101
Figura V-27 Izquierda correlación lineal de 0.35 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de
0.23 entre Mo y Ag102
Figura V-28 Correlación lineal por litología entre Mo-Cu (coeficiente de correlación en la
monzonita hornbléndica es 0.34 y en la monzonita máfica 0.36)102
Figura V-29 Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en la
monzonita hornbléndica es 0.33 y en la monzonita máfica 0.002)103
Figura V-30 Asociaciones de la molibdenita y porcentaje de liberación
Figura V-31 Asociaciones de la molibdenita106
Figura V-32 Asociaciones de calcita y liberación de calcita107
Figura V-33 Asociaciones de calcita107

Figura V-34	Se evidencia que a mayor contenido de carbonatos mayor contenido de calcita	108
Figura V-35	Partículas de calcita (CaCO3) asociada a la molibdenita	.108
Figura V-36	Incremento de calcita relacionado con el alto porcentaje de calcita	.109
Figura V-37	Asociaciones de Sulfuros de Cu y su respectiva liberación	.110
Figura V-38	Asociaciones de la molibdenita con Sulfuros de Cu	.110
Figura V-39	Asociaciones de silicatos y su respectiva liberación	.111
Figura V-40	Asociaciones de molibdenita con silicatos	.111
Figura V-41	Asociaciones de molibdenita con As (Sulfuro de As), Pb (Galena), P(Apatito)	.112

INDICE DE TABLAS

Tabla I.1 Distancias y tiempo de viaje vía aérea	25
Tabla I.2 : Distancias de viaje vía terrestre	25
Tabla IV.1 : Resultado del análisis estadístico	53
Tabla IV.2 : Muestra LB_101, monzonita biotítica definida como MZB	59
Tabla IV.3 : Muestra LB_201, exoskarn de piroxenos definida como PSK	60
Tabla IV.4 : Muestra LB_301, monzonita cuarzosa definida como MZQ	61
Tabla IV.5 : Muestra LB_302, monzonita cuarzosa definida como MZQ	62
Tabla IV.6 : Muestra LB_303, monzonita biotítica definida como MZB	63
Tabla IV.7 : Muestra LB_401, exoskarn de granates definida como GSK	64
Tabla IV.8 : Muestra LB_402, exoskarn de granates definida como GSK	65
Tabla IV.9 : Muestra LB_403, exoskarn de piroxenos definida como PSK	66
Tabla IV.10 : Muestra LB_404, endoskarn definida para el presente estudio como ENDO	67
Tabla IV.11 : Muestra LB_601, Exoskarn de granates definida como GSK	68
Tabla IV.12 : Muestra LB_602, exoskarn de piroxenos definida como PSK	69
Tabla IV.13 : Muestra LB_701, monzonita máfica definida como MZM	70
Tabla IV.14 : Muestra LB_702, espejo de falla en la zona de monzonita máfica	71
Tabla IV.15 : Muestra LB_703, monzonita máfica definida como MZM	72
Tabla IV.16 : Muestra LB_704, monzonita hornbléndica definida como MZH	73
Tabla IV.17 : Ley ce cabeza, concentrado de Cu, Mo y recuperación de Cu, Mo	83
Tabla V.1 Fuente Planta Concentradora	104

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia II-1: Formación Soraya, Ferrobamba, Mara, volcánicos de Vilcarani,	30
Fotografía III-1: Formación Ferrobamba	39
Fotografia III-2III-2: Fallas principales	41
Fotografía III-3: Monzonita máfica	42
fotografía III-4: Monzonita biotítica	43
Fotografía III-5: Monzonita hornbléndica	43
Fotografía III-6: Distribución de monzonitas en el tajo Ferrobamba	44
Fotografía III-7: Endoskarn, presencia de Molibdenita en fracturas.	45
Fotografía III-8: Exoskarn de Granates, presencia de Molibdenita	46
Fotografía III-9: Exoskarn de piroxenos	47
Fotografia IV-1: Muestreo de Bh (cono de detrito)	49
Fotografía IV-2: Perforadora de aire reversa que genera blastholes	49

INTRODUCCION

El yacimiento Ferrobamba pertenece al distrito minero Las Bambas, ubicado en parte de los distritos de: Challhuahuacho (Provincia de Cotabambas), Coyllurqui y Progreso (Provincia de Grau) en el departamento de Apurímac; a una altitud variable desde los 3700 hasta los 4650 m. s. n. m.

+El distrito minero Las Bambas, está ubicado en la franja XV de yacimientos tipo Pórfido-Skarn de Cu-Mo (Au,Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusivos del Eoceno-Oligoceno; esta franja metalogenética está controlada por el batolito Andahuaylas-Yauri que se ha emplazado al sur de la "Deflexión de Abancay", con lineamientos de dirección NW-SE, NE-SW y otros que fueron generados principalmente por la Orogenia Andina. Localmente el área del yacimiento Ferrobamba 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. Las monzonitas asociadas a los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas, Sulfobamba y Azuljaja obedecen a un alineamiento estructural ONO-ESE de la misma dirección que el trend del batolito Andahuaylas – Yauri.

Las estimaciones de sus recursos del yacimiento Ferrobamba se estiman en 1178 Mt de Cu y Mo con una ley de 0.6% de Cu y 173 ppm de Mo. La producción del año 2019 es de 380 mil toneladas de cobre fino, también se obtienen 1700kg de Mo al año.

El Molibdeno es un subproducto del yacimiento, el cual presenta escasa información, que permita realizar una planificación minera para su recuperación de manera eficiente; sumado a ello el modelo carece de información geológica relativa a la Molibdenita, el cual es el principal mineral de mena de Mo y que concentra aproximadamente el 98% del Molibdeno en el yacimiento. Es por

este motivo que se realiza una caracterización microscópica de la molibdenita enfocada en conocer el hábito de cristalización y en consecuencia sectorizar las zonas de mayor recuperación de Molibdeno.

A partir de estudios microscópicos, geoquímicos y mineralógicos de las muestras extraídas de las diferentes litologías del yacimiento, identificaremos los hábitos de cristalización relacionados a la mayor recuperación de Molibdeno, zonas con leyes >200 ppm de Molibdeno y asociaciones mineralógicas que influyen en la recuperación de los procesos geometalúrgicos. Como consecuencia se sectorizará las zonas favorables para la recuperación de Molibdeno. Además, se incorporaron diversos factores geológicos en la base de datos para identificar el control que ejercen las características geológicas de la roca sobre el comportamiento del Molibdeno en el yacimiento. Los factores geológicos evaluados serán dominios litológicos, la alteración de la roca, dominio estructural y las características mineralógicas de la molibdenita.

Mediante el estudio y la aplicación de la geometalurgia, se busca optimizar la recuperación de molibdenita de manera eficiente y rentable, teniendo en cuenta las características específicas del depósito mineral y las condiciones de procesamiento.

CAPÍTULO I : GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Descripción del problema

El molibdeno es un importante subproducto del yacimiento Ferrobamba, se tiene zonas con leyes de Molibdeno de 100ppm hasta 1000ppm, en zonas de Skarn y Pórfido.

El problema surge al analizar la disminución de los valores de recuperación de Molibdeno en los últimos periodos, lo cual genera complicaciones en el blending de control y envió de mineral, afectando los valores de recuperación promedios mensuales y anuales. Por tal motivo se plantea identificar los tipos de molibdenita, su ocurrencia en mina y el impacto en la recuperación de Molibdeno, con el propósito de llevar un mejor control desde mina y evitar las pérdidas en la recuperación de Molibdeno.

1.1.1.1. Formulación del problema

1.1.1.1.1. Problema General

 ¿Cuál es la caracterización microscópica de la molibdenita en el yacimiento Ferrobamba?

1.1.1.1.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los estilos de mineralización que presenta la molibdenita en el yacimiento Ferrobamba?
- ¿Cuáles son las zonas con valores de Molibdeno >100ppm en el yacimiento Ferrobamba?
- ¿Cuáles son las litologías que tienen mayor concentración de Molibdenita?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

a) Caracterizar microscópicamente la molibdenita y cuál es su influencia en la recuperación de Molibdeno en el yacimiento Ferrobamba – Las Bambas - Apurímac.

1.2.2. Objetivos secundarios

b) Determinar los diferentes estilos de mineralización

c) Identificar las litologías con mayor concentración de molibdenita

d) Identificar la correlación de Molibdeno con el Cobre en las diferentes zonas de estudio.

1.3. Antecedentes

En el estudio y plan de minado del tajo Ferrobamba de Las Bambas no se tienen estudios microscópicos y ensayos de recuperación referente a la molibdenita y a su minado diario, pero si se tiene estudios que corresponde al cobre. Para el desarrollo de la presente tesis se ha recopilado y analizado diferentes trabajos y estudios realizados en otras unidades mineras.

e) Xtrata Tintaya (2003), informe técnico, Recuperación de Molibdeno a partir de los
 Hábitos Cristalográficos de la molibdenita, TintaYa – Perú

f) Xtrata Copper (2008), informe programa de exploración, las Bambas-Perú.

g) C.R. McClung (2016), paper, Molybdenite polytypism and its implications for processing and recovery: a geometallurgical-based case study from Bingham Canyon Mine, Utah.

 h) L.Valderrama, H. Toledo, L. Gómez y M. Berrios (2004), efectos de dispersantes
 en la flotación de molibdenita, revista de la facultad de ingeniería universidad de Atacama-Chile-

i) Chayña Panta, Samuel Christian (2019), Interpretación del yacimiento Ferrobamba
– tipo pórfido Skarn – unidad minera: Las Bambas MMG. (Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de San Agustin).

1.4. Variables de la Investigación

1.4.1. Variables independientes

- a) Caracterización macroscópica y microscópica de la Molibdenita
- b) Características geoquímicas del Molibdeno

1.4.2. Variables dependientes

- c) Influencia en la recuperación de Molibdeno
- d) Zonificación del Molibdeno

1.4.3. Indicadores

- e) Geología regional y local.
- f) Geoquímica y cristalografía
- g) Petrología

1.5. Hipótesis de la investigación

Al realizar el estudio de la litología, concentración de la molibdenita en el yacimiento Ferrobamba, identificaremos los estilos de mineralización tipos y su ocurrencia de la Molibdenita en mina y la influencia en la recuperación de Molibdeno; lo cual permitirá mejorar el planeamiento de minado, blending, envió desde mina hacia planta.

1.6. Justificación de la investigación

La presente tesis se justifica porque se pretende mejorar la recuperación de Molibdeno en el yacimiento Ferrobamba, contribuyendo con la zonificación según su estilo de mineralización que influye en el proceso geometalúrgico, sumado a ello el yacimiento carece de información geológica relativa a la molibdenita, el cual es el principal mineral de mena de Molibdeno.

Por lo anterior, la tesis está orientada a la caracterización microscópica de la molibdenita utilizando estudios mineralógicos, geoquímicos y cristalográficos de las muestras extraídas de las diferentes litologías del yacimiento, lo cual permitirá definir los parámetros en los procesos geometalúrgicos de la recuperación de Molibdeno.

1.7. Metodología

El presente estudio a desarrollar tiene carácter descriptivo, ya que se encuentra apoyado por una investigación instrumental (microscópica) y desarrollo analítico; además de ser una investigación de carácter prospectivo, porque los resultados servirán en tomar medidas correctivas de envió y control del mineral.

Según los objetivos, la escala y el nivel de detalle de los estudios la metodología a emplear será distinta, para lo cual se puede establecer una secuencia de investigación que contará con el apoyo de diversas ciencias; empezando de la recopilación de información preexistente; levantamiento de nueva información; y la realización de una caracterización microscópica preliminar que sustentará la influencia en la recuperación de Molibdeno

El presente trabajo de investigación se realizó en tres etapas:

I. Etapa de recopilación de información o gabinete 1:

En esta etapa se realizará la búsqueda, revisión y recolección de información general existente, publicada, así como trabajos previos realizados en la zona, procediéndose a su revisión bibliográfica. También se procederá a la revisión de los modelos geológicos de largo y corto plazo, y se elaborará un mapa litológico y geoquímico preliminar para poder identificar las zonas con valores considerables de Molibdeno.

- II. Etapa de levantamiento de información
- Mediante un tratamiento estadístico se identificará las zonas con valores considerables de Molibdeno
- Se realizará el análisis litológico del logueo de blastholes del yacimiento Ferrobamba
- Se realizará la toma de muestras de campo de cada zona identificada (Envió a laboratorio)
- III. Etapa de análisis e interpretación o gabinete 2:
- Registro y análisis de los datos
- Elaboración de diagramas y mapas geoquímicos
- Uso de softwares como Vulcan, ArcGis y IoGAS, Minitab, las cuales se usarán como herramientas procesamiento de la data.
- Descripción macroscópica de las muestras de campo
- Elaboración y descripción microscópica de las secciones pulidas.
- Análisis de muestras por Qscam para el concentrado de Molibdeno.
- Pruebas metalúrgicas por hábitos de cristalización según las zonas definidas.
- Análisis e interpretación de los resultados
- Discusión de resultados.
- Elaboración de informe.

1.8. Ubicación

El distrito minero Las Bambas, operado por MMG, se encuentra ubicado a 565 km. al SE de la ciudad de Lima y a 73 km. al SW de la ciudad de Cusco, ocupa parte de los distritos de Challhuahuacho y Coyllurqui (provincia de Cotabambas) y Progreso (Provincia de Grau) en el departamento de Apurímac (Fig. 01); a una altitud variable desde los 3700 hasta los 4650 m.s.n.m. El cuadrante geológico de referencia para la ubicación es el 29r (Santo Tomás) de la carta geológica nacional escala 1: 100,000.

Cuenta con 33,063 hectáreas de concesión minera, dentro de la cual existen

•	Ferrobamba	400 ha.
•	Chalcobamba	600 ha.
•	Sulfobamba	400 ha.
•	Charcas	400 ha.

1.9. Accesibilidad

Dadas las características geográficas de ubicación, el acceso por vía terrestre desde la ciudad de Lima es demasiado extenso por lo que es recomendable tomar vías aéreas y terrestres para cortar el tiempo estimado de viaje (Fig.2).



Figura I-1 : Mapa de Ubicación del yacimiento Ferrobamba

Figura I-2 : Mapa de Accesibilidad del yacimiento Ferrobamba



Vía aérea

Por vía aérea desde la ciudad Lima-Cusco con un tiempo estimado de 1h y 30min, de allí se continua en helicóptero (40 min) con destino a Ferrobamba (Tabla 1).

Tabla I.1

Distancias y tiempo de viaje vía aérea

Charled Destine	Distancia	Tiempo
Ciudad - Destino	(km)	
Lima - Cusco	740	1 hr y 30 min
Cusco – Ferrobamba (helicóptero)	73	40 min

Via Terrestre

El primer tramo se realiza vía aérea desde Lima – Cusco, luego se continua por vía terrestre (250 km. aprox. en 6 horas). Para llegar al proyecto desde Lima y las principales ciudades del sur del Perú, existen varias rutas, mencionadas en la tabla 2.

 Tabla I.2 : Distancias de viaje vía terrestre

Ciudad - Destino	Distancia (km)	Tipo de carretera
Cusco – Cotabambas – Tambobamba – Challhuahuacho - Las Bambas	250	Carretera afirmada
Cusco- Cotabambas- Ñahuiña- Pamputa- Las Bambas	240	Carretera afirmada
Cusco – Yaurisque – Ccoyabamba – Ccapacemarca – Mara – Chalhuahuahuacho – Las Bambas	220	Carretera afirmada
Arequipa – Imata - Espinar – Vellille - Santo Tomás – Haquira – Challhuahuacho – Las Bambas	340	Arequipa-Imata vía asfaltada, y el resto carretera afirmada

CAPÍTULO II : GEOLOGIA REGIONAL

2.1 Introducción

El distrito minero Las Bambas, está ubicado en la franja XV de yacimientos tipo Pórfido-Skarn de Cu-Mo (Au,Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe, ubicados en la parte sureste del Perú. (Figura N°03)

Esta franja metalogenética está controlada por el batolito Andahuaylas-Yauri de edad Eoceno-Oligoceno, 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 sur de la "Deflexión de Abancay", con lineamientos de dirección NW-SE, NE-SW y otros que fueron generados principalmente por la Orogenia Andina.

2.2 Metalogenia

En la región Apurímac se han reconocido hasta 5 franjas metalogenéticas, de las cuales solo las franjas XV y XXI son importantes ya que en ellas se encuentran numerosos proyectos mineros. (J. Acosta et al., 2011).

La franja XV de pórfidos-skarns de Cu-Mo (Au,Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusiones del Eoceno-Oligoceno.

Figura II-1

Mapa Metalogenético de la Región de Apurímac



Fuente: INGEMMET, Metalogenia y geología económica por regiones, J. Acosta et al., 2011

Esta es la franja más importante de esta región. La mineralización está relacionada con granitoides dioríticos a granodioríticos del Batolito Andahuaylas-Yauri del Eoceno-Oligoceno, emplazados en condiciones transpresionales (Carlotto, 1999; Perelló et al., 2003) y controlados por los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo, Abancay-Andahuaylas-Totos-Chincheros-Licapa y Abancay-Condoroma-Caylloma. Los intrusivos intermedios a ácidos están relacionados con la mineralización Cu-Mo (Au) y en el contacto con secuencias carbonatadas del Albiano-Turoniano desarrollan cuerpos de Skarn de Cu-Zn.

Los depósitos más representativos de esta franja son las Bambas, Cotabambas, Haquira, Los Chancas, Antilla, Trapiche, entre otros. Las unidades de mineralización están registradas entre 42 y 30 Ma.

2.3 Estratigrafía del Mesozoico

2.3.1 Formación Ferrobamba o Arcurquina (Kis-a/s)

William Jenks (1951) describe con este nombre a una secuencia potente de calizas que aflora en el área de las operaciones mineras en el tajo Ferrobamba, situado a 16 km al NW del pueblo de Haquira y 17 km del pueblo de Mara, en el cuadrángulo de Santo Tómas, presenta una datación Re-Os de: 33,5±0.2 Ma (Ruiz & Marthur et al., 2003).

Es la unidad sedimentaria de mayor extensión y espesor en el proyecto. Está constituida por delgadas secuencias de calizas masivas, fosilíferas, con nódulos de chert, laminadas y calizas clásticas. Aflora en las cuatro áreas de interés (Ferrobamba, Chalcobamba, Sulfobamba y Azuljaja). Es un "metalotecto" importante, ya que en contacto con intrusivos mineralizantes da lugar a la formación de cuerpos de skarn de Cu (Mo-Au). Su edad es Albiano-Turoniano del Cretáceo medio y su espesor dentro del proyecto sobrepasa los 300 metros. (Informe Técnico).

2.3.2 Formación Soraya (Kis-a/i)

El nombre de esta unidad se debe a que su mayor afloramiento se encuentra en las cercanías del poblado de Soraya, ubicado en la provincia de Aymaraes, próxima al proyecto Los Chancas

Está constituida por una secuencia monótona de cuarcitas y areniscas cuarcíticas de grano fino a medio (Acosta J. et al., 2011), aunque existen con granos gruesos de cuarzo. La edad de esta unidad es Titoniano-Hauteviriano del Jurásico superior a Cretáceo inferior (Gutiérrez, 1981).

En las inmediaciones del proyecto, el espesor de esta secuencia no es mayor a 300 metros.

2.3.3 Formación Mara o Murco (Ki-mu)

Esta formación fue denominada así por W. Jenks (1951) al referirse a unos afloramientos rojizos que se encuentran en los alrededores del pueblo de Mara. En los cuadrángulos de Santo Tomás, Antabamba, Chalhuanca, la formación Mara consiste de capas de arenisca lutáceas y lutitas de color rojo.

Litológicamente en la Formación Mara se puede distinguir tres miembros, el inferior se caracteriza por la predominancia de areniscas, el intermedio es lutítico con algunas intercalaciones de areniscas y conglomerados con clastos de cuarcita y el superior está constituido por areniscas y lutitas, hacia el tope termina en algunos lugares con calizas amarillentas.



Fotografia II-1: Formación Soraya, formación Ferrobamba, Formación Mara, volcánicos de Vilcarani,

Fuente: fotografía tomada del informe de programa de exploración-2008.

2.4 Estratigrafía del Cenozoico

2.4.1 Unidad Progreso, plutón Chalcobamba, granodiorita (Pn-p/ch-tn-gd).

Unidad constituida por los plutones Fuerabamba, Progreso, Chalcobamba. En general es de textura fanerítica, de grano medio a grueso y varía en color de leucócrata a mesócrata con el predominio del color gris claro. Macroscópicamente la roca es leucócrata con manchas negras (hornblenda y biotitas).

2.4.2 Unidad Llajua, plutón Ferrobamba, diorita (Pn.ll/f-di)

Está constituida por los plutones Haquira, Oscollo, Llahuane , Abandonada y Pararani. En lámina delgada las plagioclasas presentan zonación, el cuarzo se encuentra fragmentado y algunas veces deformado, como minerales accesorios están presentes la hornblenda y biotita, la hornblenda >que la biotita, esta última en hojuelas, escamas o pajillas, estando a veces algo cloritizada.

2.4.3 Grupo Barroso, complejo volcánico Vilcarani (Nq-b-tb)

Aflora en las pampas de Vilcarani, ubicada a 41 km, son depósitos tobáceos, este primer evento está representado por tobas de arena intercalados con tobas de ceniza, esta secuencia de hasta 15 m alternada con flujos piroclásticos. Un segundo evento descritas como depósito de tobas de ceniza, pómez y líticos. Un tercer evento de toba soldada de ceniza, pómez y líticos con matriz vítrea.

Los elementos de brecha son generalmente rocas volcánicas angulares a subangulares (Escobedo A. et al., 2014). Un cuarto evento de tobas de cristales dacíticos en una matriz vítrea, es un depósito que tiene extensión limitada.

2.4.4 Grupo Barroso, complejo volcánico Malmanya (Nq-b.pi)

Conformado por rocas volcánicas como un conjunto de derrames y piroclástos de composicion andesítica, traquítica y traquiandesítica (Mendivil S. et al., 1965). En los diferentes lugares donde aflora el grupo Barroso se extiende en forma casi horizontal o con leves inclinaciones que no pasan de 10° a 12° ocupando generalmente las partes más elevadas.

2.5 Depósitos Cuaternarios

2.5.1 Depósitos aluviales (Qh-al)

El material aluvial se halla en los cauces antiguos y recientes en las laderas de los valles y quebradas, formando respectivamente terrazas y conos aluviales. Algunas terrazas se encuentran a más de 150 metros sobre el nivel de los cauces de los ríos actuales, como

consecuencia del levantamiento reciente de los Andes y el subsiguiente rejuvenecimiento de los ríos que han logrado profundos valles en V. Ejemplos notables de estas terrazas se ven en el río Chalhuanca a la altura de su confluencia con el río Vilcabamba, cerca de la desembocadura del río Chuquibambilla. Los depósitos aluviales están constituidos mayormente por gravas, cantos y otros elementos redondeados y angulosos, dentro de una matriz areno-arcillosa presentan una grosera estratificación que se acuña entre capas de arena y arcilla. El grosor de estos depósitos varía desde unos cuantos metros a más de 150 m. (Acosta J. et al., 2011)

2.5.2 Depósitos glaciares y fluvioglaciares (Qh-gl), (Qh-glfl)

Se han diferenciado dos etapas de acumulación morrénica como producto de la actividad glaciar cuaternaria. Las más antiguas se presentan muy erosionadas, apenas reconocibles y sus relictos muestran que la parte frontal llegaba hasta 3600 m.s.n.m. (Acosta J. et al., 2011). Están constituidos por bloques y gravas angulosas de diferentes tipos de rocas, englobados en una matriz de arena en parte tobácea.

Un ejemplo bastante claro se encuentra en la zona Sur del cuadrángulo de Antabamba, donde se han cartografiado como depósitos fluvioglaciares, ya que sobre ellos se ha acumulado material arrastrado por corrientes de agua que enmascaran gran parte de la morrena. Los depósitos morrénicos más recientes se encuentran bien expuestos en los tres cuadrángulos, ocupando áreas aproximadamente desde 4200 a más de 5000 m.s.n.m. asi puede verse en los nevados Malmanya (Santo Tomas) y Suparansa (Challhuanca).

2.5.3 Depósitos fluviales (Qh-fl)

Están constituido principalmente por arenas con fragmentos de diferentes tipos de roca, se hallan formando terrazas y se encuentran en el río Chalhuahuacho.



Figura II-2 : Columna estratigráfica Regional

Fuente: Maher et al., 2010 modificado.

2.6 Geología estructural regional

El Tajo Ferrobamba regionalmente está enmarcado en la margen Sur de la Deflexión de Abancay; como consecuencia de la colisión diferencial de la Dorsal de Nazca con el margen litoral pacífico peruano predisponiendo su morfología actual; asociada a este hecho esta la orogenia andina con sus diferentes direcciones de acortamiento NE, NS, EO (Megard, 1979). En conclusión, la tectónica y el estilo estructural en la región y a escala local están asociados a la evolución tectono-estructural de la deflexión de Abancay.

El proyecto Las Bambas dentro de este contexto geológico regional está localizado en el cinturón porfirítico/skarn Cu-Mo-Au denominado Skarn belt Anahuaylas-Yauri situado al SE del Perú, en una zona de anomalía atribuida a la orogénesis Inca del Eoceno al Oligoceno temprano (Brookes, 2005); este cinturón metalogénico está hospedado principalmente en el Batolito de Andahuaylas-Yauri, el cual presenta intrusiones múltiples de tendencia calcoalcalina. Las principales deformaciones en la región, causantes del fallamiento y plegamiento son asociadas a la fase Inca (Perelló et al., 2002).

El batolito Andahuaylas-Yauri es una megaestructura ígnea que debe su disposición estructural y emplazamiento (cymoid loop), (Figura II-4) a la cinemática transcurrente de otra megaestructura denominada cola de caballo (horsetail) situada al sur de la deflexión Abancay, formada como resultado de su evolución cinemática.


Figura II-3 : Dominios geotectónicos del Perú

Fuente: Carlotto et al, (2009). El área de estudio se encuentra en la Cordillera Occidental. La Línea blanca señala la deflexión de Abancay

Figura II-4 : Deflexión de Abancay y su posible evolución cinemática.



Fuente: Adaptado de Perelló et al, 2002

El magmatismo está representado por cuerpos intrusivos múltiples que regionalmente pertenecen al batolito Andahuaylas Yauri. Estas rocas afloran en un cinturón de dirección NW-SE paralela a la dirección de la región andina entre os pueblos de Andahuaylas del noroeste y Yauri en el sudeste, con una longitud aproximada de 300 km y una anchura que varía entre 10 y 60 km (Bonhome y Carlier, 1990). Los afloramientos más occidentales constituyen la masa del batolito (cuerpos de hasta 70 km en diámetro), mientras al sudoeste esta unidad aparece como un rosario de cuerpos menores, cerca de 10 km en diámetro.

Las rocas intrusivas aflorantes son de composición calcoalcalina (Parr, 2005). Los pórfidos monzoníticos son producto de la diferenciación de una serie de pulsaciones magmáticas en

un corto periodo de tiempo (entre 41 y 35 Ma: Método K-Ar (Parr, 2006)). Se han reconocido hasta cinco eventos denominados: Monzonita Biotítica (MZB), Monzonita Biotítica Fina (MBF), Monzonita Máfica (MZM), Monzonita Hornbléndica (MZH) y Monzonita Cuarzosa (MZQ). Los tres primeros están asociados a la mineralización.

CAPÍTULO III : GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

3.1 Geología Local

3.1.1 Formación Soraya o Huallhuani (ki-so)

La Formación Soraya (Pecho, 1981) corresponde a una secuencia sedimentaria, litológicamente está constituida por una secuencia monótona de cuarcitas y areniscas cuarzosas de grano fino a medio, forman prominentes crestas diferenciándolas de otras formaciones. La encontramos con mayor exposición al O y SO del yacimiento Ferrobamba.

3.1.2 Formación Mara o Murco (ki-ma)

La Formación Mara - Formación Murco (William Jenks; 1951), litológicamente esta consiste en afloramientos de areniscas lutáceas, lutitas de color rojo, que se observan con mayor claridad al NE del yacimiento Ferrobamba.

3.1.3 Formación Ferrobamba o Arcurquina (ki-fe)

La Formación Ferrobamba (William Jenks; 1951) presenta un dominio de calizas mármoles y limonitas intercalados con depósitos aluviales, se hallan intrusiones continuas en dirección NO-SE de monzonitas máficas con diques de intrusiones ígneas en la parte externa y se observa a su vez intrusiones de pórfido-cuarzo-feldespático félsico de textura fanerítica a porfirítica de naturaleza evidentemente ácida, en el endoskarn se presenta skarn de granates verdes y marrones, epidota y plagioclásas-piroxeno en la parte proximal. En el exoskarn se presenta skarn de magnetita, granate, piroxeno y epidota en la parte exógena.

Fotografía III-1: Formación Ferrobamba



3.2 Controles estructurales locales

La falla Ferrobamba y Guisela son las estructuras principales que atraviesa el tajo Ferrobamba (Fedorowich, 2016).

Otras estructuras de dirección NW-SE dispuestas principalmente en el lado N de la falla Ferrobamba; estas fallas secundarias Alexandra, Carolina, Chapi, Elvia, estrella, Jualita, lucy, Saida, Sandy y Santana, son el resultado de la cinemática de las estructuras principales. Además, existen numerosos lineamientos que están asociados a los planos de diaclasamiento de los diversos plutones monzoníticos del tajo. (Ver figura III-2).

- Falla Ferrobamba: Presenta una dirección NO-SE, se extiende a lo largo de la quebrada del rio Ferrobamba con una longitud de 6.5 km, es una estructura principal que recorre el tajo Ferrobamba
- Falla Guisela: Se extiende a lo largo de la Quebrada Vhallaqe, presenta una dirección NNE-SSO, con una longitud de 4km.



Figura III-1 : Fallas principales y secundarias del Tajo Ferrobamba

Fuente: Reporte de Geología

Fotografia III-2III-2: Fallas principales



3.3 Rocas ígneas

3.3.1 Monzonita máfica (MZM)

Posee un alto contenido de minerales máficos (hbl>>bio) plagioclasas de textura afanítica a fanerítica y cuarzo mayormente intruido en la parte norte del área del depósito y aparentemente responsable de la producción de cuerpos de granate-piroxeno>Skarn magnetita en las calizas del Ferrobamba, generándose una alteración potásica produciéndose biotita secundaria, ortoclasa y magnetita. (Swenseid et al., 2014), la Molibdenita se presenta en forma de venillas y en la zona de falla denominada Guisela al norte del tajo.

Fotografía III-3: Monzonita máfica



3.3.2 Monzonita biotítica (MZB)

Se observan dos tipos de intrusiones en el tajo Ferrobamba: monzonita biotítica fina 1 - con libros de biotita y monzonita biotitca 2 - con pequeños cristales de biotita (Palomino L. et al., 2010). Posee granos máficos, faneríticos a porfiríticos de textura euhedral a subhedral con ojos irregulares de cuarzo, cristales de plagioclasa, piroxenos, anfíboles y olivinos. Seguidos de los stocks Jahuapaylla y Ccomerjaja ricos en hornblenda ligados a mineralización de Cu y depósitos Skarn. Este intrusivo esta relacionado a la mineralización de Molibdeno y cobre asociada a la alteración potásica de biotita secundaria, en algunos caso de ortosa y magnetita, la molibdenita se observa en venillas de tipo B (Qz,Mo,Cpy +-Py), y en algunas zonas se encuentra de forma diseminada. fotografía III-4: Monzonita biotítica



3.3.3 Monzonita hornbléndica (MZH)

En esta fase de textura fanerítica presenta minerales de plagioclasa tubulares cortos y hornblendas prismáticas, con skarn granate piroxeno >> magnetita, enriquecido con stockwork y algunos diseminados de calcopirita, bornita, molibdenita, presentándose una alteración potásica, biotita secundaria, ortoclasa y magnetita, La Molibdenita se encuentra en fracturas solo en contacto con la monzonita máfica.



Fotografía III-5: Monzonita hornbléndica

3.3.4 Monzonita cuarzosa (MZQ)

Es la fase tardía y corta a todas las unidades precedentes (Palomino L. et al., 2010) posee una textura porfirítica félsica con minerales euhedrales a subhedrales de cuarzo, plagioclasas tabulares cortadas y no presenta mineralización, encontramos a la Molibdenita en fracturas cristalizada de forma acicular.



Fotografía III-6: Distribución de monzonitas en el tajo Ferrobamba

3.4 Rocas metamórficas

3.4.1 Endoskarn (ENDO):

Asociado generalmente con la magnetita, en nuestra zona de estudio se ubica en la parte ígnea proximal, genera granates aluminicos como el almandino y la espesartina de coloración marrón-rojizo y granates cálcicos como la andradita y grosularita de coloración verduzca se ubican en la de parte NE del tajo Ferrobamba.



Fotografía III-7: Endoskarn, presencia de Molibdenita en fracturas.

3.4.2 Exoskarn de Magnetita:

La encontramos en la parte distal de las monzonitas máficas y hornbléndicas, también en el pórfido dioritas y cuarzo-monzodioritas del tajo Ferrobamba se observan en los cores que vienen también acompañando ensambles mineralógicos de Qz±Py±Bn±Mo>> Plg±Fdp.

3.4.3 Exoskarn de Granate:

En la zona de estudio la encontramos con un ensamble Py±Cpy±Bn generalmente en las granodioritas máficas y cuarzo-dioritas se aprecian granates aluminicos y cálcicos de granos regulares a grandes, la Molibdenita se encuentra rellenando intersticios (espacios vacíos).

Fotografía III-8: Exoskarn de Granates, presencia de Molibdenita



3.4.4 Exoskarn de piroxeno:

En la zona de estudio se observa está en la parte distal de las cuarzo-monzodioritas, granodioritas y monzonitas máficas y hornbléndicas, encontramos clinopiroxenos: diópsido, augita, hedembergita y ortopiroxenos: enstatita, ferrosilita, generalmente en un ensamble Py±Cpy±Bn>>Au±Ag±Mo, la Molibdenita se encuentra en forma diseminada y en venillas (no es tan visible solo a la lupa).

Fotografía III-9: Exoskarn de piroxenos



Fuente: Propia

3.5 Zoneamiento del yacimiento Ferrobamba

La alteración hidrotermal, desde la parte externa hacia el centro del sistema, presenta la siguiente zonación: Mármol con wollastonita, mármol con granates-piroxenos y exoskarn de granates y piroxenos (+magnetita), dentro de las calizas de la Formación Ferrobamba. En los intrusivos se ha reconocido endoskarn (de plagioclasas, piroxeno y granate) adyacente al exoskarn y alteración potásica (biotita secundaria-feldespato potásico-magnetita-cuarzo), relacionadas con la mineralización; hacia los bordes se aprecia alteración propilítica (cloritaepídota-calcita-pirita). Los cuerpos de skarn presentan mineralización de bornita y calcopirita en forma de masas irregulares, parches, diseminaciones y en venillas de cuarzo cortando al skarn. En los intrusivos, la calcopirita, bornita y molibdenita se encuentran en venillas de cuarzo y diseminaciones.

CAPÍTULO IV : CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA DE LA MOLIBDENITA

4.1 Sobre la metodología de la caracterización

En el presente capítulo se presentará los métodos empleados en la caracterización mineralógica textural del Mo, incorporando una breve explicación de los fundamentos, alcances y resultados.

La toma de muestras representativas se realizó en diferentes niveles del tajo Ferrobamba que estaba en producción; se realizaron análisis químicos, caracterización mineralógica, macroscópica y microscópica a través de secciones pulidas, las pruebas metalúrgicas se realizaron en el laboratorio de metalurgia de las Bambas.

Para la caracterización mineralógica y textural del molibdeno se tomaron 13 muestras puntuales en los frentes de minado, según el logueo de blastholes del yacimiento y de las diferentes zonas identificadas a través de las anomalías de Molibdeno según el mapa de isovalores obtenidas por el análisis químico, a través de ella conocer la alteración, textura y habito del Mo correspondiente, realizada por la descripción macroscópica con la lupa 20X, y secciones pulidas.

4.2 Muestreo

Se realizó el muestreo de 7973 muestras de blastholes en diferentes niveles del tajo Ferrobamba, las muestras se obtuvieron por perforación de aire reverso de 15 metros de profundidad, el muestreo se realizó por el método del Auger que fue definido por el área de Geología Mina del yacimiento este método consiste en realizar 6 inserciones equidistantes para la representatividad de las muestras, cuyo peso fue de 7 - 8 kg.

48

Figura IV-1



Sección esquemática de muestreo, 6 inserciones equidistantes

Fotografia IV-1: *Muestreo de Bh (cono de detrito) generado por la perforación de aire reverso*



Fotografía IV-2: Perforadora de aire reversa que genera blastholes



4.3 Logueo

Así como el muestreo, el logueo tiene la misma cantidad de muestras (7973) en diferentes niveles del tajo Ferrobamba, las muestras se describieron según formato del área de geología mina, MZB, MZH, MZM, SK, ENDO, MBL, MBC, MZQ.

Figura IV-2





4.4 Análisis químicos

Para el análisis químico de la base de datos se consideró 7973 muestras de blastholes, las cuales se subdividieron en siete zonas específicas tomando en consideración su control estructural, litológico y concentración como referencia.

Estos análisis fueron realizados en el laboratorio ALS de la unidad minera; cuyo método de análisis es espectrometría de absorción atómica (AA), donde se analizan Cu, Mo, Ag, y cobre soluble.

La Espectroscopia de Absorción Atómica (AA) tiene como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. La cantidad de fotones absorbidos está determinada por la ley de Beer que relaciona esta pérdida de poder radiante con la concentración de la especie del elemento absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbentes. La muestra en forma líquida es aspirada a través de un tubo capilar y conducida a un nebulizador donde ésta se desintegra y forma un rocío o pequeñas gotas de líquido. Las gotas formadas son conducidas a una flama, donde los átomos en su estado fundamental absorben la radiación emitida por la lámpara, la cual está en función de su concentración. La señal de la lámpara una vez que pasa por la flama llega a un detector, pasa a un amplificador y por último a un sistema de lectura y cuantificación. Ortiz 2015.

La mayoría de las muestras orgánicas líquidas y sólidas requieren de digestión antes del análisis en este análisis se usó la digestión por 4 ácidos. Digestión por Agua regia, ácido nítrico, ácido perclórico y ácido fluorhídrico (HCl + HNO3 y HClO4 y HF) = 4 ácidos.

- I. La ventaja de adicionar ácido fluorhídrico a la mezcla anterior es que disuelve los silicatos. Sin embargo, la digestión puede dejar algunos metales de base disueltos, típicamente sulfuros y óxidos. La sílice se pierde como volátil en forma de SiF4.
- II. Algunos minerales refractarios (óxidos) son parcialmente digeridos.
- III. Puede haber pérdida de volátiles como B, As, Pb, Ge y Sb.

Los valores geoquímicos encontrados en el muestreo de Blastholes han permitido elaborar mapas de isovalores para Mo, el mapa de isovalores de Mo muestra una distribución de anomalías influenciada por controles estructurales y litológicos, los cuales permitieron definir 7 zonas de concentraciones anómalas de Molibdeno.

Figura IV-3 : *Mapa Litológico y de isovalores, diferenciando la concentración de Mo (ppm) en 7 zonas.*



4.5 Análisis estadístico descriptivo

De acuerdo con el análisis estadístico descriptivo según la tabla V-1, muestra una síntesis estadística de los valores predominantes de acuerdo con su litología, por lo que consideramos evaluar todos los datos estadísticos por cada zona identificada que tenga mayor concentración de molibdeno en el siguiente capítulo.

ZONAS	Variable	LITOLOGÍA	Población	Media	Mediana	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Máximo
ZONA 1	Мо	Endoskarn	39.00	119.33	118.00	1.24	43952.00	76.00	176.99
		Exoskarn	7.00	67.91	64.00	1.24	43952.00	57.00	107.00
		Monzonita Biotítica	1137.00	153.42	152.00	1.52	1.19	39.00	543.97
		Monzonita Cuarcífera	248.00	101.13	103.50	2.00	1.62	21.00	874.02
ZONA 2	Мо	Endoskarn	60.00	136.37	133.50	1.48	1.17	51.00	312.00
		Exoskarn	260.00	181.13	185.99	2.07	1.69	24.00	1387.00
		Mármol	36.00	47.82	48.99	1.49	1.17	17.00	100.00
		Mármol (MBC)	19.00	117.52	112.00	1.30	1.07	80.00	204.00
		Monzonita Biotítica	234.00	106.70	106.50	1.45	1.15	32.00	305.00
		Monzonita Máfica	117.00	135.54	129.00	1.85	1.46	45.00	521.03
		Monzonita Cuarcífera	4.00	26.34	25.92	2.11	1.74	11.00	64.97
ZONA 3	Мо	Endoskarn	20.00	528.00	540.45	1.10	1.01	443.01	587.98
		Monzonita Biotítica	1646.00	319.64	342.00	1.82	1.43	28.00	2050.01
		Monzonita Cuarcífera	295.00	144.37	149.99	2.20	1.86	12.00	1329.02
ZONA 4	Мо	Endoskarn	132.00	173.14	143.49	2.16	1.81	44.00	1031.02
		Exoskarn	741.00	187.67	183.99	1.91	1.52	23.00	1685.98
		Mármol	41.00	81.21	83.00	1.55	1.21	31.00	166.00
		Mármol (MBC)	30.00	167.22	164.01	1.36	44105.00	79.00	311.00
		Monzonita Hornbléndica	270.00	99.49	99.49	1.85	1.46	17.00	735.98
		Monzonita Máfica	24.00	128.20	114.00	1.59	1.24	55.00	399.02
		Monzonita Cuarcífera	194.00	142.39	133.99	1.73	1.35	49.00	584.99
ZONA 5	Мо	Endoskarn	151.00	28.23	30.00	1.53	1.20	7.00	166.00
		Exoskarn	477.00	39.79	36.00	2.11	1.74	4.00	569.98
		Monzonita Biotítica	212.00	11.89	11.00	2.02	1.64	2.00	170.00
		Monzonita Hornbléndica	50.00	13.91	16.00	1.93	1.54	2.00	40.00
		Monzonita Cuarcífera	90.00	13.45	13.49	2.08	1.71	4.00	149.99
ZONA 6	Мо	Endoskarn	187.00	99.37	103.00	1.72	1.34	13.00	282.00
		Exoskarn	330.00	127.49	123.49	2.31	2.01	20.00	1495.03
		Mármol (MBC)	26.00	286.12	274.82	1.44	1.14	166.00	599.98
		Monzonita Biotítica	386.00	111.06	113.00	1.72	1.34	8.00	436.99
		Monzonita Hornbléndica	30.00	113.43	125.00	1.28	1.06	60.00	146.00
		Monzonita Cuarcífera	94.00	60.64	80.00	1.85	1.46	16.00	133.99
ZONA 7	Мо	Monzonita Hornbléndica	301.00	141.37	132.99	1.94	1.55	31.00	866.97
		Monzonita Máfica	85.00	170.32	156.99	1.95	1.57	48.00	972.04

Tabla IV.1 : Resultado del análisis estadístico para la concentración de Mo,diferenciado en zonas del total de 7973 muestras.

Se observa el mayor contenido de Mo está en la Monzonita Biotítica, Exoskarn, Endoskarn, Monzonita Máfica y Mármol con Calcosilicatos De acuerdo con el análisis estadístico descriptivo en el procedimiento anterior, *la tabla V-1* muestra una síntesis estadística de los valores predominantes de acuerdo con su litología, por lo que consideramos evaluar todos los datos estadísticos por cada zona identificada que tenga mayor concentración de molibdeno en el siguiente capítulo.

• Zona Uno:

Zona de transición, zona de contacto, tenemos tres litologías con leyes superiores e iguales a la ley de cabeza, siendo estas unidades litológicas la monzonita biotítica, endoskarn y la monzonita cuarcífera. La densidad poblacional es mayor en la monzonita biotítica con una población de 1137 muestras de un total de 1431muestras y con una media de 153.42ppm lo cual es relevante con relación a las demás litologías; si tomamos en cuenta la varianza de la zona uno esta es ínfima, lo cual representa más aun la importancia de la data conjunta. Se observa también que en esta zona el exoskarn no es relevante para estudios posteriores ya que su población es de siete muestras, motivo por el cual no se considerara a detalle en los siguientes capítulos.

Considerando la desviación estándar entre la monzonita biotítica y la monzonita cuarcífera, los datos de la de la monzonita biotítica están más cerca a la media en comparación a los datos de la monzonita cuarcífera.

• Zona Dos:

Tenemos cinco litologías con leyes superiores e iguales a la ley de cabeza, siendo estas unidades litológicas exoskarn, endoskarn, monzonita máfica, mármol con calcosilicatos y la monzonita biotítica. La densidad poblacional es mayor en el Exoskarn, con una población de 260 muestras de un total de 730 muestras y con una media de 181.13ppm; en relación con la varianza en el Exoskarn tiene un ligero incremento que en las demás litologías lo que involucra una dispersión mayor de los datos. En la zona dos no consideramos a la monzonita cuarcífera y el mármol en el estudio de los siguientes capítulos debido a su densidad poblacional y la concentración por debajo de la ley de cabeza de molibdeno.

• Zona Tres:

Presenta tres litologías con leyes superiores a la ley de cabeza, siendo estas unidades litológicas la monzonita biotítica, monzonita cuarcífera y el endoskarn. Considerando la densidad poblacional tendríamos como la única unidad litológica predominante a la monzonita biotítica (para fines exploratorios esta es catalogada como monzonita biotítica fina) con una población de 1646 muestras de un total de 1961 muestras y con una media de 319.64 ppm lo cual es muy relevante en relación a las demás litologías en las diferentes zonas, cabe indicar que el endoskarn presenta valores anómalos en la concentración de molibdeno en relación a las demás litologías, pero debido a su densidad poblacional es restrictivo, ya que cuenta con solo 20 muestras. Considerando la desviación estándar entre la monzonita biotítica y la monzonita cuarcífera los datos de la de la monzonita biotítica están más cerca a la media en comparación a los datos de la monzonita cuarcífera.

• Zona Cuatro:

Presenta cinco litologías con leyes superiores a la ley de cabeza, siendo estas unidades litológicas el exoskarn, endoskarn, mármol, monzonita cuarcífera y monzonita máfica. Las litologías exoskarn, endoskarn, y mármol con calcosilicatos presentan según el criterio de la media concentraciones similares de molibdeno, pero teniendo como un segundo criterio la densidad poblacional realizamos un mayor enfoque en el exoskarn, ya que cuenta con una población de 741 muestras de un total de 1432 muestras y con una media de 187.67 ppm, relevante en relación con las demás litologías.

En relación con los intrusivos de esta zona la monzonita cuarcífera y la monzonita máfica tienen similar media, pero se diferencian en la densidad poblacional de 194 y 24 muestras respectivamente, por lo cual la monzonita máfica no será de mayor relevancia en esta zona.

El mármol y la monzonita hornbléndica presenta valores menores a la ley de cabeza de molibdeno por consiguiente no será objeto de estudio en los próximos capítulos.

• Zona Cinco:

Presenta cinco litologías con leyes inferiores a la ley de cabeza, siendo estas unidades litológicas el exoskarn, endoskarn, monzonita cuarcífera, monzonita hornbléndica y monzonita biotítica. Se tiene una densidad poblacional considerable de 980 muestras, pero los valores de concentración promedio de molibdeno son inferiores a los 40 ppm.

• Zona Seis:

Presenta cuatro litologías con leyes superiores a la ley de cabeza, siendo estas unidades litológicas el mármol con calcosilicatos, el exoskarn, monzonita hornbléndica y monzonita biotítica. Considerando los valores altos de concentración promedio de molibdeno tenemos las litologías del mármol con calcosilicatos y exoskarn, con 286.12 ppm y 127.49 ppm respectivamente, teniendo en consideración como segundo criterio la densidad poblacional enfocamos nuestra zona de estudio en el exoskarn, el cual cuenta con 330

muestras y con valores máximos de 1904.02 ppm a diferencia del mármol con calcosilicatos que solo presenta 26 muestras.

En los intrusivos se tiene a la monzonita biotítica y a la monzonita hornbléndica con concentración promedio de molibdeno de 111.06ppm y 113.43ppm considerando la densidad poblacional la monzonita biotítica viene a ser nuestro objeto de estudio.

En esta zona tenemos dos litologías que no superan la ley de cabeza de molibdeno, estas son el endoskarn y la monzonita cuarcífera ambas con considerable densidad poblacional y concentraciones máximas de molibdeno en promedio a 208ppm.

• Zona Siete:

Presenta dos litologías con leyes superiores a la ley de cabeza, siendo estas unidades litológicas la monzonita hornbléndica y monzonita máfica, ambas presentan valores similares en la concentración promedio de molibdeno, valores máximos, mínimos, así como en criterio de varianza.

Se tiene una densidad poblacional global de 386 muestras.

4.5 Caracterización de la Molibdenita

La caracterización mineralógica y textural a nivel macroscópico se realizó a través de la lupa 20X de aumento para determinar la forma en la que se presenta la molibdenita ya sea rellenando intersticios, fracturas, en venillas o diseminado, el análisis para identificar el tipo de habito de la molibdenita, se dio a través de secciones pulidas; estas secciones pulidas se usaran en la microscopía de mena en esta tesis para la Molibdenita, para este análisis se usa luz reflejada. Se prepara una briqueta (una muestra que se rellena con resina y es altamente pulida). Se analiza la muestra en el microscopio en un ambiente de aire. Este método no llega a aumentos tan altos que la sección transparente, pero permite un reconocimiento de casi la totalidad de los minerales de mena.

4.5.1 Caracterización macroscópica de la Molibdenita

Los resultados del análisis de las 15 muestras representativas de las diferentes zonas identificadas con respecto a la presencia de la molibdenita, obtenidas a través de la lupa 20x, se observa que la mayor mineralización se encuentra en la monzonita biotítica en la alteración potásica presente en venillas, en las zonas de skarn se presenta rellenando intersticios y venillas que se identifican como diferentes pulsaciones, se tienen valores anómalos en la monzonita máfica rellenando fracturas y parte del relleno de falla.

En las siguientes páginas se muestran las descripciones de las muestras tomadas en campo con relación a la presencia de molibdenita, la descripción se realizó respecto a su textura, minerales principales, accesorios, alteración, mineralización de las rocas y la forma como se presenta la Molibdenita en las diferentes muestras recolectadas, cada muestra esta codificada como (LB- xxx), según la zona tomada se codifico con numeración 101 para la zona uno, 201 para la zona 2 y así progresivamente según la cantidad de muestras obtenidas por zona.



 Tabla IV.2 : Muestra LB 101, monzonita biotítica definida como MZB



 Tabla IV.3 : Muestra LB 201, exoskarn de piroxenos definida como PSK



 Tabla IV.4 : Muestra LB_301, monzonita cuarzosa definida como MZQ



 Tabla IV.5 : Muestra LB_302, monzonita cuarzosa definida como MZQ
 Muestra LB_302, monzonita cuarzosa definida como MZQ



 Tabla IV.6 : Muestra LB_303, monzonita biotítica definida como MZB
 Muestra LB_303, monzonita biotítica definida como MZB



 Tabla IV.7 : Muestra LB_401, exoskarn de granates definida como GSK



 Tabla IV.8 : Muestra LB 402, exoskarn de granates definida como GSK



 Tabla IV.9 : Muestra LB_403, exoskarn de piroxenos definida como PSK

Tabla IV.10 : Muestra LB_404, endoskarn definida para el presente estudio comoENDO.





 Tabla IV.11 : Muestra LB 601, Exoskarn de granates definida como GSK



 Tabla IV.12 : Muestra LB_602, exoskarn de piroxenos definida como PSK



Tabla IV.13 : Muestra LB 701, monzonita máfica definida como MZM


Tabla IV.14 : Muestra LB_702, espejo de falla en la zona de monzonita máfica



 Tabla IV.15 : Muestra LB 703, monzonita máfica definida como MZM



Tabla IV.16 : Muestra LB 704, monzonita hornbléndica definida como MZH

Como se observa en las descripciones la molibdenita se presenta en las monzonitas biotítica en fracturas, venillas y diseminado, en la monzonita máfica encontramos en fracturas, en venillas de tipo b y en planos de fallas, en la zona de contacto entre la monzonita máfica y hornbléndica de la zona 7, tenemos a la monzonita hornbléndica con venillas de tipo b, solo en esta zona la monzonita hornbléndica o venillas de tipo b, solo en esta zona la monzonita hornbléndica presenta molibdeno en la zona de contacto, y por ultimo tenemos a la monzonita cuarzosa se observa una mejor cristalización en las fracturas, tienen el aspecto radial y granular observada a la vista. En la zona de skarn de granates presenta molibdenita rellenando intersticios (Oquedades) y a través de venillas, el skarn de piroxenos presenta molibdenita en fracturas y en venillas. En la zona de endoskarn la molibdenita se presenta en venillas.

4.5.2 Caracterización microscópica de la Molibdenita

Se realizó análisis a la molibdenita de acuerdo a los 6 tipos de litología (GSK, PSK, MZB, MZM, MZH, y MZQ), definidas por el área de geología mina de la unidad minera (tajo Ferrobamba), y se procedió a realizar el análisis de microscopía óptica, que según McClung (2016), clasificaremos a la molibdenita de acuerdo a dos politipos uno el politipo 2H y el politipo 3R, con el objetivo de mostrar la forma de la molibdenita presente en las diferentes litologías y divididas según las zonas de acuerdo a la distribución de molibdeno ya descritas en el anterior item. Se generaron secciones pulidas para definir la forma de la molibdenita y clasificarlas según los politipos 2H (cristalografía hexagonal) y 3R (cristalografía romboédrica); el politipo 2H es de fácil molienda, rápida flotabilidad y con alta recuperación de molibdeno en el proceso metalúrgico, este politipo describe iones de Mo y S que se encuentran directamente encima o debajo de los iones de S en capas inmediatamente adyacentes (Newberry 1979); el politipo 3R tiene dificultad en la molienda y lenta flotabilidad por lo tanto su recuperación es baja, los iones Mo y S está compensado por una rotación de 60° sobre el eje c (Bell y Herfert, 1957), esta rotación en el politipo 3R provoca una ligera atenuación en el enlace Mo-S y un mayor intervalo de repetición, lo que capas son más débiles de Mo-S (Frondel y Wickman, 1970; Newberry, 1979). La rotación generalmente se debe a las tensiones internas generadas por un mayor contenido de impurezas durante el crecimiento del cristal (Newberry, 1979).

Como resultado de las pruebas de flotación y microscopia óptica definiremos al politipo "amorfa-3R" como Mo II y al politipo "tabulares -2H" como Mo I.



Figura IV-4 : Estructura de cristal de Politipo 2H y 3R e la molibdenita

Fuente: Newberry, 1979

Las muestras elegidas de forma representativa fueron cortadas y se realizaron las secciones pulidas para el análisis por microscopia óptica, donde se aprecia dos tipos de molibdenita diferenciadas con respecto a su forma.

• Molibdenita amorfa, politipo 3R (MO II), con bordes no definidos ni desarrollados y son extremadamente finos este se presenta en el skarn de piroxenos (PSK), y en la zona de falla ubicada en el pórfido MZM y en venillas, MZQ en fracturas y MZH en zonas puntuales.

• La molibdenita tabular, politipo 2H (MO I), la cual presenta caras más definida y cristales bien desarrollados en el exoskarn de granates (GSK) y el pórfido MZB.

Figura IV-5 : *Muestra GSK, se observa cristales tabulares, alargados, intercrecidos con calcopirita*



Figura IV-6 : *Muestra GSK, se observa cristales tabulares intercrecidos con calcopirita, estas caras desarrolladas son favorables para la flotación y su respectiva recuperación de Mo*



Figura IV-7 : *Muestra ENDO, se observa cristales de forma tabular en 4X de flotación rápida y cristales amorfos en 10X de flotación lenta, recuperación muy baja.*



Figura IV-8 : *Muestra ENDO, se observa cristales alargados en 4X y cristales esféricos (Romboédricos) en 10X, molibdenita de flotación lenta.*



Figura IV-9 : *Muestra PSK, se observa cristales sin bordes definidos e intercrecidos con una matriz de piroxenos, calcopirita intercrecida en la molibdenita, caracterizada como flotación lenta y recuperación muy baja*



Figura IV-10 : Muestra PSK, se observa cristales sin borde definido



Figura IV-11 : *Muestra MZQ, se observa cristales tabulares de disposición radial y cristales amorfos de manera fina*



Figura IV-12 : *Muestra MZQ, se observa cristales tabulares con disposición radial y cristales amorfos, difíciles de flotar por su fino tamaño*



Figura IV-13 : *Muestra zona de falla, se observa cristales amorfos, difíciles de flotar y con baja recuperación*



Figura IV-14 : Muestra en espejo de falla, se observa cristales amorfos y pequeños



Figura IV-15 : *MZB se observa cristales tabulares y alargados desarrollados en minerales de ganga, presentan caras desarrolladas están asociados a calcopirita*



Figura IV-16 : *MZB se observa cristales tabulares y alargados, asociados a calcopirita.*



Figura IV-17 : *MZM y MZH se observa cristales amorfos y tabulares, asociados a calcopirita y cuarzo*



Según los estudios realizados por McClung (2016), en la mina Bingham Canyon en Utah, Estados Unidos, donde investigaron los politipos de molibdenita y sus implicaciones para el procesamiento y recuperación de Mo, clasificaron los dos tipos de molibdenitas en: hexagonal (2H) y romboédrica (3R).

Los estudios concluyeron que la molibdenita 2H hexagonal; es predominantemente laminar, cinéticamente más "rápida" en flotar y con altas recuperaciones, dando como resultados concentrados de molibdeno de alta calidad. La molibdenita 3R romboédrica; su morfología anhedral, cinéticamente más lenta en la flotación y relacionado a bajas recuperaciones.

4.6 Pruebas metalúrgicas

Se realizaron pruebas metalúrgicas de las muestras estas fueron realizadas en el laboratorio metalúrgico de la unidad minera, dicho laboratorio simula el sistema industrial; los resultados reportan las recuperaciones para cobre, molibdeno, así como el % de recuperación del concentrado final de dichos elementos. Las leyes de cabeza son analizadas para los dos elementos mencionados (Cu, Mo), cuya ley de cabeza de molienda para el molibdeno es de 100ppm.

4.6.1 Resultados de pruebas metalúrgicas

Se cuenta con pruebas metalúrgicas de las muestras estudiadas, las mismas que se desarrollaron en el laboratorio metalúrgico de la unidad minera. Los resultados de dichas pruebas metalúrgicas se detallan en la tabla 4.16; las abreviaturas se describen en la tabla 4.17. Las leyes de cabeza de estas muestras oscilan entre 0.08 y 0.27%Mo; mientras que las leyes de concentrado se encuentran entre 0.38 y 1.64%Mo.

Tabla IV.17 : Ley ce cabeza, concentrado de Cu, Mo y recuperación de Cu, Mo.

SUMMARY											
	Mineral	Feed assayed						Concontrato Grado		Recovery Bulk -	
Litologia		Cu	Мо	CuSAc	Ca	Mg	Pator	concentrate Grade		Laboratorio	
		%	%	%	%	%	Natox	%Cu	%Mo	R.Cu	R.Mo
GSK	OCMET 473	2.28	0.08	0.17	15.32	8.11	7	17.41	0.59	92.0	89.3
PSK	OCMET 474	5.53	0.08	0.30	18.95	0.31	5	33.76	0.38	92.2	22.7
MZQ	OCMET 475	0.24	0.10	0.00	1.97	0.60	9	1.90	0.70	88.2	86.7
MZM frc	OCMET 476	1.50	0.19	0.03	1.42	0.60	2	10.00	1.06	89.8	77.3
GSK	OCMET 477	0.88	0.27	0.02	13.38	2.28	2	5.49	1.64	89.5	87.2
MZB	OCMET 478	0.23	0.09	0.02	1.99	0.77	9	1.93	0.72	89.2	87.7
MZM falla	OCMET 479	2.32	0.01	0.27	1.93	0.54	12	12.92	0.03	84.0	57.1



Figura IV-18 : Gráfica entre la recuperación de Cu y el % de recuperación de Cu.



Figura IV-19 : Gráfica entre la recuperación de Mo y el % de recuperación de Mo

CAPÍTULO V : ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Correlación entre los resultados de análisis químicos

El objetivo de esta interpretación es encontrar los principales factores que controlan la influencia en la recuperación de Mo durante el procesamiento del mineral en el yacimiento Ferrobamba.

Con la base de datos obtenida en el muestreo de blastholes se procede a realizar correlaciones entre las variables Mo-Cu, Mo-Ag para desarrollar una idea general sobre los parámetros que controlan o se relacionan con la recuperación de molibdeno y cómo éstos interactúan con los demás datos geoquímicos de las muestras. Posteriormente definir la mejor correlación de molibdeno con las variables mencionadas, así también definir la correlación de las leyes de Mo con las diferentes litologías.

En el desarrollo de la base de datos se realizaron histogramas, los cuales son útiles para facilitar la visualización de la distribución de muestras de la ley de Molibdeno por cada litología con concentraciones mayor y/o igual a 100 ppm (100 ppm es la ley que considera la planta concentradora para que el molibdeno sea procesado, también llamada ley de cabeza), así como la estadística descriptiva con respecto a cada zona identificada según los dominios estructurales.

Los principales criterios geológicos encontrados que determinan un control sobre las variables de interés son la litología y la alteración de la roca. Estos criterios se incorporan a la base de datos y se evalúa en base a estos criterios el comportamiento de las correlaciones importantes encontradas entre los parámetros mineralógicos, geoquímicos y geometalúrgicos.

5.2 Análisis de datos geoquímicos

Para el análisis geoquímico de la base de datos se consideró 7973 muestras de blastholes, las cuales se subdividieron en siete zonas específicas tomando en consideración su control estructural y control litológico como referencia.

En el tratamiento de la data geoquímica se utilizó los softwares Minitab, IoGas, y ArcGis, con los cuales se realizaron diferentes gráficos como la prueba de normalidad para definir si la base de datos tiene una distribución normal o log-normal, gráficos de probabilidad, histogramas, correlaciones entre las variables mencionadas; y otros que nos servirán en la interpretación, asimismo el uso de estos softwares nos ayudará en la visualización dinámica y comprensible de la base de datos.

5.3 Histograma de la ley de molibdeno

Los histogramas representan gráficamente las frecuencias de ocurrencia mediante una distribución de los datos, identifica valores atípicos, nos indica si existe una distribución asimétrica o simétrica. La visualización de datos en el histograma es un primer criterio para verificar su homogeneidad, como también la dispersión de los datos.

De acuerdo con los histogramas realizados por cada zona identificada (ver Figura V-1), se observa la frecuencia de la data versus la concentración de molibdeno, teniendo una zona crítica, donde la frecuencia de datos no supera ni iguala a la ley de cabeza (zona cinco), en los análisis estadísticos descriptivos se observó que las medidas de tendencia central no evidenciaban una concentración de molibdeno anómala para el presente estudio. La zona siete presenta leyes mayores o iguales a los 100 ppm, pero con una frecuencia de datos menor en comparación a las demás zonas de estudio. Los histogramas de las zonas dos, cuatro y seis, presentan anomalías a considerar, pero no de mayor relevancia, gráficamente tiene una

frecuencia mínima en las concentraciones altas de molibdeno. Las zonas uno y tres son de mayor importancia debido a las anomalías identificadas en concentración de molibdeno, así como la frecuencia de la data, estas zonas requieren de mayor estudio.



Figura V-1 : Histogramas de molibdeno en las siete zonas identificadas.

5.4 Histograma-Gráfica de caja de la ley de molibdeno por litología

De acuerdo con los estudios anteriores y según la importancia de la litología que alberga las mejores leyes de molibdeno se optó por hacer histogramas diferenciados por litologías para la mejor comprensión de la concentración de molibdeno.

Se tiene dos principales tendencias ligadas a litologías de intrusivos como la monzonita biotítica y monzonita máfica, y otra con preferencia al exoskarn. Las zonas relacionadas a litologías de intrusivos son la zona uno, tres y siete donde se evidencia una relación notable de la frecuencia y concentración de molibdeno. Las zonas relacionas a la litología del exoskarn son la zona dos, cuatro y seis, estas muestran una frecuencia menor en comparación a las zonas de intrusivos.

Figura V-2 : *Derecha histograma por litología de Mo con densidad poblacional en la monzonita biotítica; izquierda, gráfico de caja de Mo*



Figura V-3 : *Derecha, histograma por litología de Mo con importancia litológica en el exoskarn y la monzonita biotítica-, izquierda, gráfico de caja de Mo*



Figura V-4 : *Derecha, histograma por litología de Mo con una superior densidad* poblacional en la monzonita biotítica, así como evidencia valores anómalos de concentración de Mo



Figura V-5 : *Derecha, histograma por litología de Mo con importancia litológica en el exoskarn*



Figura V-6 : *Derecha, histograma por litología de Mo con concentraciones de Mo inferiores a los 100 ppm en todas las litologías, así mismo evidencia la ínfima data poblacional*



Figura V-7 : *Histograma por litología de Mo con importancia litológica en la monzonita biotítica, exoskarn, endoskarn concentraciones considerables de Mo pero con una reducida data poblacional*



Figura V-8 : *Histograma por litología de Mo con importancia en la monzonita hornbléndica y considerando los valores significativos de la monzonita máfica.*



5.5 Correlación entre variables

El método de emplear similitudes entre dos variables a fin de extender espacialmente la información geológica recibe el nombre de correlación. La correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y proporcionalidad entre dos variables, en el presente estudio Mo-Cu y Mo-Ag.

Se considera que dos variables están correlacionadas cuando los valores de una ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra.

La relación entre estas dos variables puede ser resumida a través de un coeficiente, llamado coeficiente de correlación lineal, que mide el grado de proporcionalidad que existe entre ambas variables. Este coeficiente tiene un valor entre -1 y 1 (considerando 0 a 0.49 correlación débil y de 0.5 a 1 correlación significativa).

• Zona 1

Figura V-9

Izquierda. correlación lineal de 0.22 Mo-Cu; derecha correlación lineal de 0.09 Mo-Ag



Figura V-10

Izquierda correlación lineal por litología entre Mo-Cu (Coeficiente de correlación en la monzonita biotítica es de 0.26 y en la monzonita cuarcífera 0.40); derecha densidad de datos correlacional entre Mo-Cu



Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en la monzonita biotítica es 0.07 y en la monzonita cuarcífera 0.12)



• Zona 2

Figura V-12

Izquierda correlación lineal de 0.25 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de 0.22 entre Mo-Ag



Izquierda correlación lineal por litología entre Mo-Cu (coeficiente de correlación es de 0.03 y endoskarn es 0.13); derecha densidad de datos correlacional entre Mo-Cu.



Figura V-14

Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación es exoskarn es 0.03 y en el endoskarn es 0.10).



• Zona 3

Figura V-15

Izquierda correlación lineal de 0.32 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de 0.11 entre Mo-Ag.



Figura V-16

Correlación lineal por litología entre Mo-Cu (coeficiente de correlación en la monzonita biotítica es 0.18 y en la monzonita cuarcífera 0.27)



Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en la monzonita biotítica es 0.02 y en la monzonita cuarcífera 0.06)



• Zona 4

Figura V-18

Izquierda correlación lineal de 0.24 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de 0.22 entre Mo-Ag



Correlación lineal por litología entre Mo-Cu (coeficiente de correlación en el exoskarn 0.09 y en el endoskarn es 0.36)



Figura V-20

Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en el exoskarn 0.10 y en el endoskarn es 0.33)



• Zona 5

Figura V-21

Izquierda correlación lineal de 0.48 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de 0.49 entre Mo-Ag



Figura V-22

Correlación lineal por litología entre Mo-Cu (coeficiente de correlación el exoskarn es 0.24 y endoskarn es 0.30)



Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en el exoskarn es 0.23 y endoskarn es 0.38)



• Zona 6

Figura V-24

Izquierda. correlación lineal de 0.11 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de 0.13 entre Mo-Ag



Correlación lineal por litología entre Mo-Cu (coeficiente de correlación en el exoskarn 0.06, endoskarn es 0.21 y en la monzonita biotítica es 0.22)



Figura V-26

Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en el Exoskarn 0.07, Endoskarn 0.20 y Monzonita Biotítica es 0.27)



• Zona 7

Figura V-27

Izquierda correlación lineal de 0.35 entre Mo-Cu; derecha correlación lineal de 0.23 entre Mo y Ag



Figura V-28

Correlación lineal por litología entre Mo-Cu (coeficiente de correlación en la monzonita hornbléndica es 0.34 y en la monzonita máfica 0.36)



Correlación lineal por litología entre Mo-Ag (coeficiente de correlación en la monzonita hornbléndica es 0.33 y en la monzonita máfica 0.002)



De acuerdo con el cálculo del coeficiente de correlación lineal en las diferentes gráficas de las siete zonas, estas presentan una correlación débil entre las variables Mo-Cu y Mo-Ag; por lo que concluimos que el molibdeno no presenta una relación lineal con ninguno de los dos elementos mencionados, ello nos lleva a realizar un análisis con la litología y sus respectivas alteraciones en cada zona.

Las zonas de mayor población con respecto a la litología (gráfica de densidad de datos) de las zonas uno y tres, es la monzonita biotítica > monzonita cuarcífera, mientras que en la zona cuatro la densidad poblacional es el skarn (exoskarn - endoskarn); analizando el coeficiente de correlación entre las diferentes litologías mencionadas presentan una correlación débil entre las variables Mo-Cu y Mo-Ag.

5.6 Asociaciones representativas del molibdeno

Teniendo en consideración la granulometría y las leyes de concentrado en planta, se realizó estudios durante los meses setiembre, octubre, noviembre y diciembre, durante los meses de setiembre y octubre de tuvo una granulometría de 57um y 59um respectivamente, sin embargo, en el mes de noviembre y diciembre la granulometría sube a 79 y 72um respectivamente, con una ley de 1.1 a 1.2% de Mo.

Tabla V.1

Fuente Planta Concentradora

	SET	ОСТ	NOV	DIC
P80 (um)	57	59	79	72
% Mo	1.2	1.1	1.2	1.2
% Cu	36.4	35.8	34.8	34.4
% Fe	18.4	17.2	18.2	18.0
% Insolubles	12.8	14.6	14.7	13.7

Tomando como referencia las distribuciones de elementos contaminantes de concentrado de Mo que afectan la calidad, y que influyen en la recuperación de Mo y según el cuadro enfocaremos el estudio a Ca, Cu y Fe.

	F 1	Deve all de al	Concentrado de Mo				Minerales principales que contienen estos		
	Elemento	Penalidad	SET	ОСТ	NOV	DIC	elementos		
P80 (um)	Мо		61	79	71	70			
	Ca		58	52	60	42			
	Cu		68	65	67	57			
	Insolubles		64	73	73	65			
Ensayos laboratorio químico	Mo	Mo < 47%	48	45	47	47	Molibdenita (MoS ₂)		
	Ca	1.0% < Ca <= 1.6%	1.3	1.7	2.0	1.8	Calcita (CaCO ₃)		
	Cu	3.0% < Cu <= 4.5%	2.8	3.3	3.3	3.6	Sulfuros de Cu: Bornita Cu₅FeS₄, Calcopirita CuFeS₂		
	Fe	Max 2.5%	2.1	2.1	2.0	2.0	Sulfuros de Cu, Pirita (FeS ₂)		
	Insolubles	solubles 5%-8%		8	8	9	Silicatos: Cuarzo (SiO ₂), feldespatos (K,Na,Ca,Ba,NH ₄)(Si,Al) ₄ O ₈)		
Ensayos MinSCAN	As	Max 200ppm (0.02%)	0.01	0.00	0.00	0.00	Sulfuros de As: Tenantita ((Cu,Fe) ₁₂ As ₄ S ₁₃)		
	Pb	Max 0.02%	0.01	0.00	0.00	0.09	Galena (PbS)		
	Р	P>0.02%	0.00	0.00	0.00	0.00	Apatito (Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH,F,Cl))		

Se tomaron muestras para análisis de laboratorio químico y MinSCAN de acuerdo a la granulometría ingresada así definiendo elementos que influyen en la recuperación. Cuyas descripciones macroscópicas y microscópicas de las diferentes muestras según su ubicación y su litología, se consideraron las pruebas metalúrgicas realizadas en la unidad minera, tomaremos las asociaciones de la molibdenita con los minerales de mena y las partículas observadas:

- a. Molibdeno en el concentrado de Mo.
- b. Calcio en el concentrado de Mo.
- c. Cobre en el concentrado de Mo.
- d. Insolubles en el concentrado de Mo.
- e. As, Pb, y P en el concentrado de Mo.

Dichos grupos son detallados a continuación, en cada caso usando imágenes de partículas obtenidas con el Qscan.

5.6.1 Molibdeno en el concentrado de molibdeno

En las muestras estudiadas, el molibdeno tiene mayor ocurrencia de liberación en mayor porcentaje en la molibdenita no asociada a otros elementos, en el porcentaje no liberado tenemos a la molibdenita asociada a sulfuros de cobre, silicatos y carbonatos, donde el molibdeno está asociado y ocluido por lo cual no presenta una buena recuperación.

Asociaciones de la molibdenita y porcentaje de liberación



Figura V-31

Asociaciones de la molibdenita



5.6.2 Calcio en el concentrado de molibdeno

Este grupo está conformado por CaCO₃ cuyo aportante es el mármol (MBL) y mármol con Calcosilicatos (MBC), el incremento de calcita en el concentrado de molibdeno está relacionado al alto porcentaje de calcita en la alimentación fresca, el porcentaje de liberación de molibdeno en esta asociación va de 58% a 74%, y el porcentaje asociado y ocluido es de 26% a 42%, asociado a
carbonatos predominante quien aporta mayor contenido de calcita y parte de silicatos, piroxenos, granates que aporta baja proporción de calcita, se tiene también baja proporción de sulfuros de cobre asociado a molibdeno que se encuentra ocluido.

Figura V-32

Asociaciones de calcita y liberación de calcita



Figura V-33

Asociaciones de calcita



Figura V-34

Se evidencia que a mayor contenido de carbonatos mayor contenido de calcita



Figura V-35 *Partículas de calcita (CaCO3) asociada a la molibdenita*



Figura V-36





5.6.3 Cobre en el concentrado de molibdeno

El molibdeno asociado a sulfuros de cobre tiene un porcentaje de liberación entre 62% a 80% el bajo porcentaje de liberación se observa en donde la granulometría es mayor, en el porcentaje de 18% a 30% de baja liberación que está asociado y ocluido a la molibdenita cuyo habito es amorfo según estudios anteriores en zonas donde se tiene mayor contenido de Cu, lo cual lo llamamos Sulfuros de Cobre.

Figura V-37



Asociaciones de Sulfuros de Cu y su respectiva liberación

Figura V-38

Asociaciones de la molibdenita con Sulfuros de Cu



5.6.4 Insolubles en el concentrado de molibdeno

Los insolubles están representados por los silicatos se evidencia que en los meses de septiembre y octubre tienen mayor liberación en los silicatos, pero en los otros meses su liberación disminuye y se incrementa la asociación de molibdenita.

Figura V-39

Asociaciones de silicatos y su respectiva liberación



Liberación de Silicatos y asociaciones

Figura V-40

Asociaciones de molibdenita con silicatos



5.6.5 As, Pb y P en el concentrado de molibdeno

El As, se encuentra por debajo del límite permisible en las 4 muestras estudiadas. El As es observado en los estudios de forma libre y también en forma asociada a sulfuros de Cu.

El Pb detectado en el estudio tiene una granulometría de 10um a 25um, libre y asociados a sulfuros de Cu.

El P detectado tiene una granulometría de 50um, libre y ocluido en silicatos. Este mineral se encuentra en muy por debajo del límite permisible.

Figura V-41

Asociaciones de molibdenita con As (Sulfuro de As), Pb (Galena), P(Apatito)



CONCLUSIONES

- Primero: La molibdenita se caracteriza microscópicamente en dos politipos de acuerdo a su estructura cristalina; politipo 2H (hexagonal), predominantemente laminar, cinéticamente más "rápida" en flotar y con altas recuperación; la cual presenta caras más definida y cristales bien desarrollados encontrándose en el GSK, MZB y parte de la MZQ; y el politipo 3R (romboédrica), cuya morfología anhedral, es cinéticamente más lenta en la flotación y relacionado a baja recuperación, con bordes no definidos ni desarrollados y son extremadamente finos este se presenta en el PSK, zona de falla, venillas en la MZM, MZQ en fracturas y MZH en zonas puntuales.
- Segundo: La molibdenita se encuentra en mayor concentración en la MZB, se presenta en venillas de tipo B y de forma diseminada; seguidamente se encuentra en el GSK rellenando intersticios, se tiene una parte de la MZQ en fracturas cristalizada en forma radial, las demás litologías como ENDO, MZM y parte de la MZH se encuentra en fracturas, venillas y planos de fallas, en el PSK se encuentra de forma diseminada, venillas y fractura, pero no se observa buena cristalización de la Molibdenita.
- Tercero: las zonas con mayor concentración de molibdeno son la zona 1 caracterizada por la litología MZB con leyes promedios entre 150 – 540ppm, zona 3 caracterizada MZB ppm, para términos exploratorios esta zona está definida como monzonita biotítica fina caracterizada por su biotita de menor tamaño en comparación a la zona 1, con leyes promedios de 320-2050ppm, y la zona 4 caracterizada por el GSK con leyes promedios entre 180 – 1680ppm.
- Cuarto: De acuerdo con el cálculo del coeficiente de correlación lineal en las diferentes gráficas de las siete zonas, estas presentan una correlación débil entre las variables Mo-

113

Cu y Mo-Ag; por lo que concluimos que el molibdeno no presenta una relación lineal con ninguno de los dos elementos mencionados. Definiéndose que dichos elementos no tienen correlación y que no podrían tener el mismo origen de procedencia.

RECOMENDACIONES

- Primero: realizar estudios de acuerdo con el grado de liberación según la granulometría presenta en las diferentes zonas identificadas de acuerdo con los resultados que se tienen en la recuperación del día a día.
- Segundo: realizar más pruebas de recuperación en las zonas identificadas ya que existen zonas de transición (zonas de contacto) donde no se realizaron estas pruebas.
- Tercero: realizar pruebas metalúrgicas para estudiar el comportamiento mineralógico en los silicatos en el proceso de flotación, es decir evaluar la granulometría asociada en las zonas de pórfido.
- Cuarto: implementar un estudio detallado para la molibdenita y su respectivo modelo geometalúrgico diferido en las zonas identificadas así tener un mejor blending para alimentación a planta.

BIBLIOGRAFÍA

- 1. Acosta J; et al, (2019), *Estudio Metalogenético de la mineralización de Cu-Au en las franjas de pórfidos epitermales de Apurímac: Sureste del Perú*, Lima, INGEMMET.
- Acosta. J; et al, (2017), Mapa Metalogénica del Perú, Dirección de Recursos Minerales y Energéticos.
- 3. C.R. McClung (2016), *Molybdenite polytypism and its implications for processing and recovery: A geometallurgical-based case study from Bingham Canyon Mine*, Utah.
- Castro Dorado (1989), Petrografía Básica, textura, clasificación y Nomenclatura de Rocas.
- Chayña Panta, Samuel Christian (2019), Interpretación del yacimiento Ferrobamba"tipo pórfido Skarn - unidad minera: Las Bambas MMG. [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de San Agustín]
- 6. Emery Xavier (2013), Geoestadística.
- 7. Guillén F; et al, (2010), Ferrobamba: Un Megayacimiento En El Proyecto Las Bambas.
- 8. Harry Y. McSween; et al, (2015), Geochemistry: pathways and processes.
- 9. John Fedorowich, Ph.D., P.Geo (2017), Regional Structural Geology Characterization and Modelling, Las Bambas Mine, Peru. Technical Report.
- 10. K. Kuroda & E. B. Sandell (1954), Geochesmitry of Molybdenum.
- 11. Laurence Robb, (2016), Introduction to ore-forming processes.
- 12. Maizé Valeriano (2018), Estudio mineragráfico y determinación microscópica del grado de liberación de los minerales sulfurados de cobre, [Tesis de título profesional, Universidad de San Agustin de Arequipa]
- 13. Mario E. Rossi and Clayton V. Deutsch, Mineral Resource Estimation.

- 14. Marocco, René (1975), *Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas 28-p, 28-q y 28-r.* INGEMMET
- 15. Newberry, R.J. Einaudi, M.T., Meinert, L.D. (1981), Skarn deposits: Economic Geology 75th Anniversary Volume, p. 317-391.
- 16. Nicholas Arndt l Cle'ment Ganino, (2010) Metals and Society: an Introduction to Economic Geology.
- 17. Olga Y. Plotinskaya1, Vera D. Abramova1, Elena O. Groznova1,2, Svetlana G.
 Tessalina3, Reimar Seltmann4 And John Spratt (2017), *Trace-element geochemistry of molybdenite from porphyry Cu deposits of the Birgilda-Tomino ore cluster*, South Urals, Russia.
- 18. Roscoe G. & Linus Pauling (1923), The cristal structure of molybdenite.
- 19. Samuel Pacheco Masias (2015) Estudio Geológico Estructural del Cluster de Cotabambas en la Franja Andahuaylas Yauri y la Relación con los Yacimientos de Pórfidos de Cobre y Skarn [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Agustin].
- 20. Sergio Andree Yañez Silva (2016), Evaluación Del Proceso De Flotación Cobre Molibdeno [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa].
- 21. Waldir Valdivia y Omar Latorre (2003), *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del Cuadrángulo de Antabamba (29-q)*. INGEMMET
- 22. Xenia Méndez (2013), Optimización en la Recuperación Metalúrgica de Molibdeno, planta I Las Tórtolas, Division Los Bronces – AngloAmerican, [Tesis de título profesional, Universidad Católica de Valparaiso].

ANEXOS

ABREVIATURAS

- 1. MZM: Monzonita máfica
- 2. MZH: Monzonita Hornbléndica
- 3. MZB: Monzonita biotítica
- 4. MZQ: Monzonita cuarzosa
- 5. GSK: Exoskarn de granates
- 6. PSK: Exoskarn de piroxenos
- 7. ENDO: Endoskarn
- 8. Mo: Molibdeno
- 9. Ca: Calcita
- 10. Cu: Cobre
- 11. As: Arsenico
- 12. Pb: Plomo
- 13. P: Fosforo

ANEXO MAPAS

- 1. Mapa de ubicación
- 2. Mapa de accesibilidad
- 3. Mapa regional
- 4. Mapa de geología local

MAPA DE UBICACIÓN



MAPA DE ACCESIBILIDAD





0 500 1,000



CLASIFICAC	ION DE MATERIALES	CLASIFICAC	
Nomenclatura	Descripción	Nomenclatura	
MINMX	Mineral Mixto	MAES	
MINBL	Mineral Baja Ley	DESMA	
MINML	Mineral Media Ley	MAOX	
MINAL	Mineral Alta Ley	MINOX	
Piezome	tros Inchan	·	

Nomenciatura	Descripción	
MAES	Material Esteril	
DESMA	Desmonte Malo	
MAOX	Material Oxidado	
MINOX	Mineral Oxidado	

600	793800	794000	794200
	GEOLOGÍA MINA - ORE CONTROL Plano de Minado Diario		
	Ubicación	Tajo litologia	
LAS BAMBAS		Escala	Elaborado por
		1:2000	GEOLOGÍA MINA