

# CONTROL MINERALÓGICO, MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA, DE LOS PORTADORES DE BISMUTO ASOCIADOS A LOS DIVERSOS TIPOS DE MINERALIZACIÓN EN EL YACIMIENTO SKARN DE ANTAMINA

Laura Plasencia Ezaine

Compañía Minera Antamina  
Av. La Floresta 497, 4to Piso, Urb. Chacarilla, San Borja

## INTRODUCCIÓN

El yacimiento de Antamina se localiza en la parte Occidental de los Andes Centrales, a 270 km al Norte de Lima, entre 3790 y 4350 msnm., constituye un yacimiento tipo “skarn” lateralmente zonado, con mineralización de Cu (calcopirita) y Mo (molibdenita) en la parte central y mineralización de Cu (bornita (preferentemente)/calcopirita)-Zn (esfalerita) en las zonas marginales; en las zonas transicionales de endoskarn a exoskarn se observa mineralización de calcopirita y bornita.

En síntesis, los tipos de minerales son tratados separadamente de acuerdo con los contenidos de Cu y Zn, y de elementos contaminantes como el Bi (ver Cuadro 1).

Tipo de mineralización	Características
M1	Mineralización de Cu (calcopirita preferentemente), con bajo Bismuto (<25ppm)
M2	Mineralización de Cu (calcopirita preferentemente), con alto Bismuto (25-200 ppm)
M2A	Mineralización de Cu (calcopirita preferentemente), con muy alto Bismuto (>200 ppm)
M3	Mineralización de Cu (calcopirita preferentemente)/Zn (esfalerita), con bajo Bismuto (<25ppm)
M4	Mineralización de Cu (calcopirita preferentemente)/Zn (esfalerita), con alto Bismuto (25-200ppm)
M4A	Mineralización de Cu (calcopirita preferentemente)/Zn (esfalerita), con muy alto Bismuto (>200 ppm)
M5	Mineralización de Cu (bornita preferentemente), con muy alto Bismuto (>200ppm)
M6	Mineralización de Cu (bornita preferentemente)/Zn (esfalerita), con muy alto Bismuto (>200 ppm)

Cuadro 1: Tipos de Mineralización

El skarn despliega una mineralización vertical de aproximadamente 1000 metros y comprende las siguientes zonas litológicas:

**Intrusivo** : constituido por una roca porfírica monzonítica. En esta zona se ubica el tipo de mineralización M1.

**Endoskarn**: compuesto principalmente por granate marrón (andradítico), adyacente al intrusivo de monzonita porfírica. En esta zona se encuentran las mejores leyes de cobre, aportadas por mineralización de calcopirita. Contiene los tipos M1 y M2, y ocasionalmente M3 y M4/M4A.

**Exoskarn** : comprende las zonas periféricas y está compuesto esencialmente por granate verde (grosularia)-wollastonita-dióxido; la mineralización de cobre consiste en bornita (con algo de calcopirita) sola o acompañada de esfalerita (mineralización de Cu y Cu-Zn). Contiene los tipos de mineralización M5 y M6, ocasionalmente también M4/M4A.

En la zona de transición endoskarn - exoskarn, se observa ocurrencia de mineralizaciones de los tipos M4/M4A, M5 y M6.

## OBJETIVO

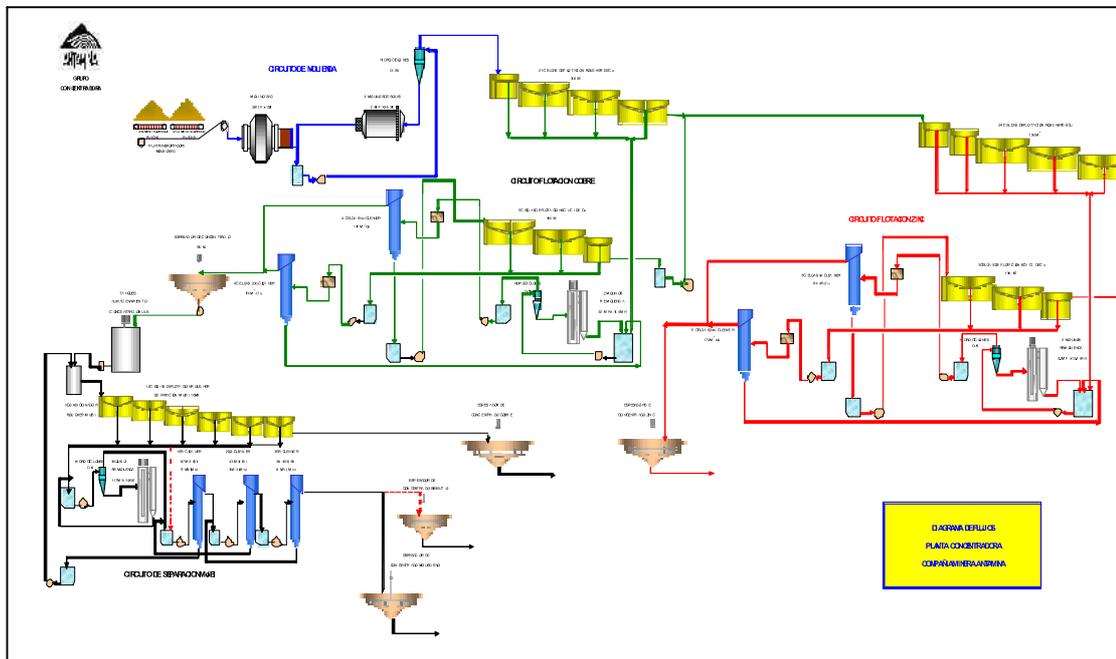
Mostrar la variación de los minerales de Bismuto y sus asociaciones, en las zonas endoskarn y exoskarn del yacimiento de Antamina; específicamente en relación con las mineralizaciones M4/M4A, M6, debido a que los contenidos de Bi en los concentrados de Pb y Cu son altamente perjudiciales y penalizados en concordancia con el mercado de la oferta y la demanda internacional; por tal razón es conveniente disponer de controles efectivos que permitan detectar su presencia y predecir su comportamiento durante el proceso de concentración de minerales.

## METODOLOGÍA

Se toman muestras de Concentrados Bulk Cu, Concentrado Final Cu y Concentrado Final Pb del Circuito de Separación Mo-Bi (ver flowsheet), de acuerdo con las campañas, determinadas en Mina (Plasencia L. 2005), correspondientes a los tipos de mineralización calcopirita/esfalerita (M4/M4A) y bornita/esfalerita (M6). Se preparó una sección pulida de cada muestra, la cual fue estudiada mediante microscopía óptica.

En el caso del tipo de mineralización M4/M4A, se observaron minerales muy similares a la galena los cuales fueron identificados, por su anisotropía (débil a moderada) y por su pleocroísmo (generalmente débil), como miembros de la familia Bismutinita-Cosalita (sulfuro de Bi/sulfosales de Bi-Pb); otro grupo de sulfosales, menos frecuente, corresponde a las que presentan un color ligeramente mas cremoso (con respecto de la galena), también con pleocroísmo y anisotropía moderadas, las cuales han sido identificadas como sulfosales de Bi-Cu a Bi-Pb-Cu (cuprobismutita hasta aikinita).

En el caso del tipo de mineralización M6, las sulfosales de Bi, son mas fácilmente reconocibles debido a que generalmente se encuentran como inclusiones alargadas dentro de la bornita y han sido identificadas como sulfosales de Bi-Cu (del tipo Wittichenita o Emplectita); también suele encontrarse cuprobismutita. Adicionalmente, se observa bornita “moteada”, característica de esta mineralización M6 (también ocurre en M5 y ocasionalmente en M4/M4A), en la cual las partes mas claras constituyen zonas con mayor contenido de Bi (Bi reemplaza al Cu; determinación efectuada con microsonda electrónica (Carrión, J. 2000)).



## **MINERALES DE Bi EN MINERALIZACIÓN DE CALCOPIRITA/ESFALERITA (M4/M4A) Y EN MINERALIZACIÓN DE BORNITA/ESFALERITA (M6)**

En la zona transicional del endoskarn al exoskarn la mineralización de Bi tiende a ser mas significativa, debido a lo cual se generan problemas en el circuito de Separación Pb/Bi-Cu que se manifiestan en la contaminación de los Concentrados Cu.

La mineralización de calcopirita/esfalerita (M4/M4A), se desarrolla generalmente en la zona transicional de endoskarn a exoskarn, presentándose dos casos:

- M4 con alto Bi: las sulfosales de Bi, se ubican en el lado galena-bismutinita Pb-Bi (familia de la Cosalita-Bismutinita) del triángulo galena-bismutinita-calcopirita, llegando hasta la línea de aikinita-pekoita; se observa un claro predominio de las sulfosales de Pb-Bi (Ver Gráfico No. 1). Estas sulfosales de Bi-Pb, tienden a concentrarse en el Concentrado Pb.
- M4A con muy alto Bi: las sulfosales de Bi se ubican en el lado calcopirita-bismutinita, llegando hasta la línea aikinita-cuprobismutita; se observa un mayor predominio de las sulfosales de Cu-Bi (Ver Gráfico No. 1).

Estas sulfosales de Pb-Bi o Pb-Bi-Cu ocurren generalmente como partículas libres, de tamaños menores de 60 micras y, menos frecuentemente, en entrecrecimientos de geometría simple con calcopirita (Ver fotomicrografías 1,2,3).

También se ha determinado, mediante microsonda electrónica, presencia de Bi en la calcopirita con valores de 130-150ppm, que se encuentran en el Concentrado Cu. Basándonos en la información expuesta líneas arriba, se tiene que si el contenido de Bismuto en el Concentrado Cu es de magnitud mediana (<600 ppm) dicho elemento se encuentra preferentemente en las sulfosales de Bi-Pb (menos frecuentemente como sulfuros de Bi); pero si el Bismuto en el Concentrado Cu es alto (>600 ppm), estará preferentemente alojado en la calcopirita y también como constituyente de las sulfosales de Cu-Pb-Bi, generando en este último caso Concentrados Cu “sucios”.

En M4/M4A se puede establecer de manera mas o menos exacta el % Bi presente en las sulfosales de Bi (40-55%) y en la galena (1 a 2%)( Carrión, J. 2000). El Bi en la calcopirita es aproximadamente del orden de 0.015 a 0.030%( Carrión, J. 2000).

La mineralización de bornita/esfalerita (M6) se desarrolla generalmente en el exoskarn; en ella, el Bi ocurre como sulfosales de Bi-Cu (wittichenita, preferentemente, menos frecuentemente como cuprobismutita o emplectita), en forma de pequeñas inclusiones dentro de la bornita y/o calcocita. También hay contenidos de Bi dentro de la molécula de la bornita; adicionalmente se observa bornita “moteada”, que constituye una bornita con alto contenido de bismuto en comparación con la bornita normal. Si hay presencia significativa de galena, ésta puede contener sulfosales de Cu-Pb-Bi (del tipo de la aikinita). La cuprobismutita también puede ocurrir (aunque es poco frecuente), como partículas libres, de tamaños menores de 60 micras. Generalmente el Concentrado Cu obtenido es “sucio”, con valores de Bi mayores a 3000ppm (Ver fotomicrografías 4,5,6,7).

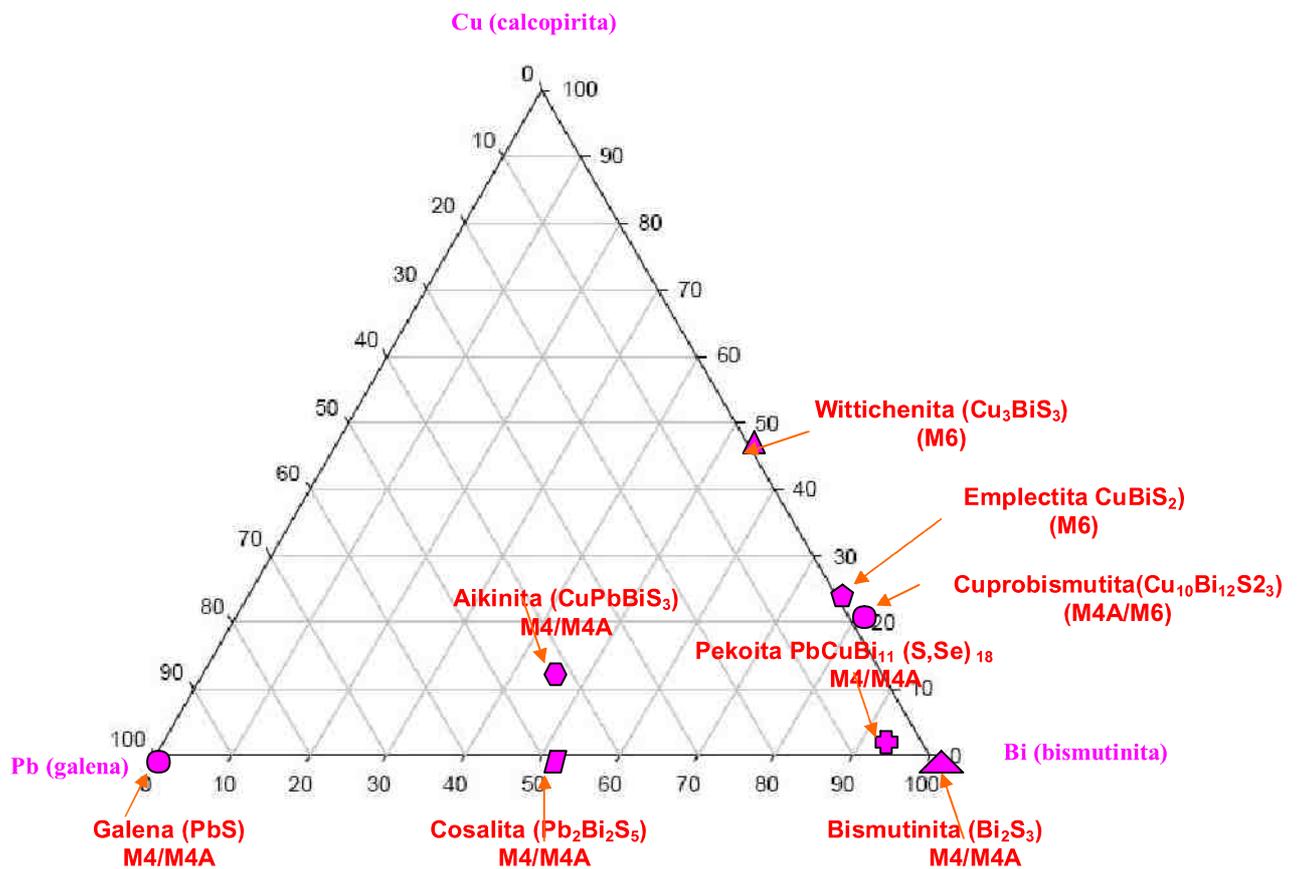


Gráfico No. 1: Distribución de minerales de Bismuto para M4/M4A/M6, en diagrama ternario Cu-Pb-Bi (calcopirita-galena-bismutinita)

## CONCLUSIONES

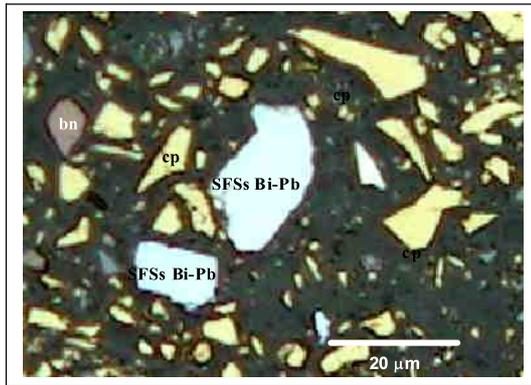
En el tipo de mineralización M4/M4A, los minerales de Bi se encuentran preferentemente como sulfuros y sulfosales de Bi-Pb (bismutinita, cosalita/ver Gráfico No.1) y, menos frecuentemente, como sulfosales de Cu-Bi-Pb (aikinita hasta cuprobismutita). Generalmente se presentan como granos libres de tamaños menores de 60 micras; es poco frecuente que formen asociaciones, de geometría simple, con calcopirita. Por tales razones, el Bi de estas sulfosales tiende a formar parte del Concentrado de Pb. Sin embargo, cuando el contenido de Bi en el Concentrado Final Cu es alto, este elemento se encuentra alojado principalmente en la calcopirita (Bi reemplaza al Cu).

En el tipo de mineralización M6, los minerales de Bi se encuentran preferentemente como sulfosales de Cu-Bi (del tipo wittichenita, menos frecuentemente del tipo emplectita o cuprobismutita). Generalmente aparecen como inclusiones alargadas dentro de la bornita y calcosita; en este caso el Concentrado Cu presenta generalmente altos valores de Bi; adicionalmente se observa un aporte de Bi presente como elemento traza en la bornita “moteada”.

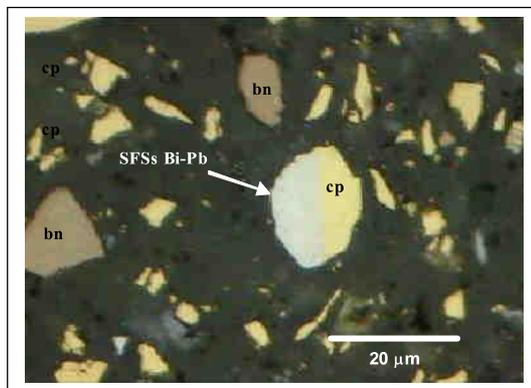
## REFERENCIAS

- Carrión, J. 2000. Estudio del Bi en el Yacimiento de Antamina. Informe interno de Compañía Minera Antamina.  
 Plasencia L. 2005. Reportes Preliminares de los Minerales de Bi en Antamina. Informe interno de Compañía Minera Antamina.

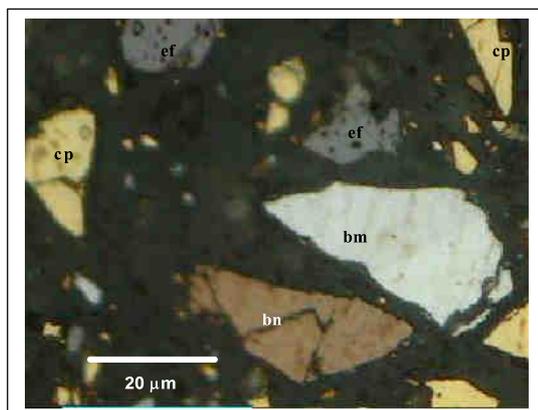
**Fotomicrografías de minerales de Bi en mineralización de calcopirita/esfalerita (M4/M4A)**



**Fotomicrografía 1: (Concentrado Rougher Cu)**  
Partículas de calcopirita (color amarillo), bornita y cosalita, libres.

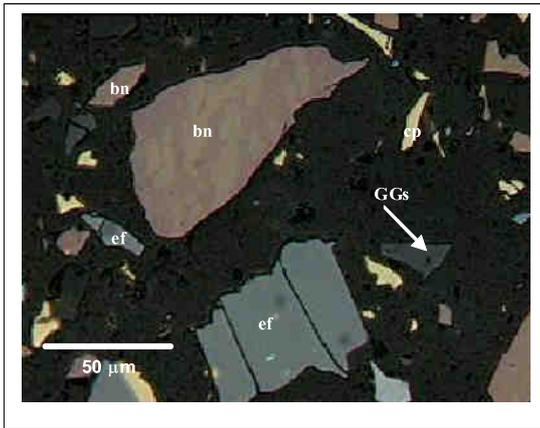


**Fotomicrografía 2: (Concentrado Rougher Cu)**  
Partículas de calcopirita y bornita libres. Entrecrecimiento de geometría simple formado por calcopirita y sulfosales de Bi-Pb.

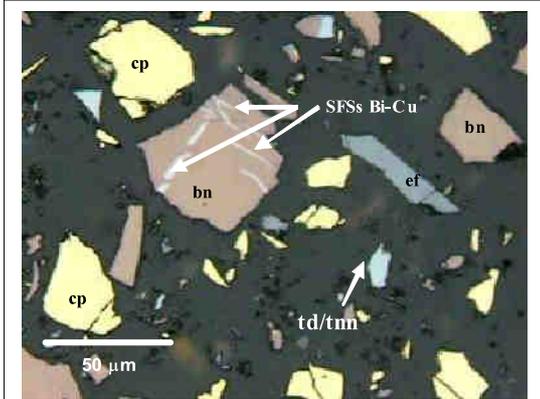


**Fotomicrografía 3: (Cola Rougher Pb)**  
Partículas de calcopirita, bornita, esfalerita y bismutinita libres.

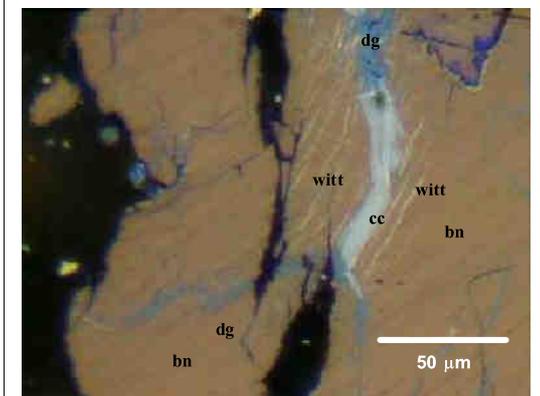
**Fotomicrografías de minerales de Bi en mineralización M6**



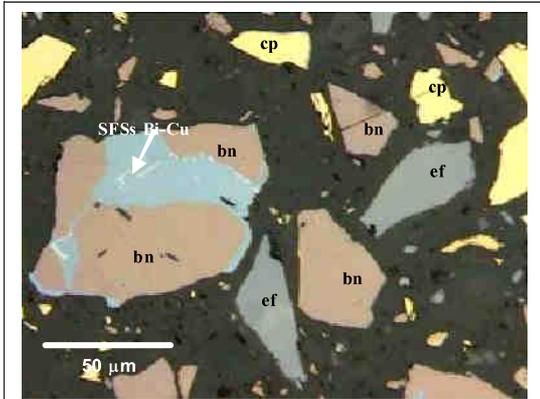
**Fotomicrografía 4: Concentrado Rougher Cu**  
Partículas de calcopirita, bornita y esfalerita libres. Partícula de bornita "moleada".



**Fotomicrografía 5: Concentrado Rougher Cu**  
Partículas de calcopirita, bornita, esfalerita y cobre gris (tetrahedrita/tennantita) libres. Partícula mixta compuesta de bornita asociada con sulfosales de Bi-Cu.



**Fotomicrografía 6: Concentrado Bulk de Cu**  
Venillas de calcosita y digenita en bornita. Inclusiones de wittichenita en bornita.



**Fotomicrografía 7: Concentrado Bulk**  
Partículas de calcopirita, bornita y esfalerita libres. Partícula mixta compuesta de bornita con venilla rellena por calcosita, la cual contiene inclusiones de sulfosales de Bi-Cu.