

Estudios mineralógicos, texturales y geoquímicos de las vetas epitermales de Morro Bola, Complejo Volcánico Farallón Negro, Catamarca, Argentina.

Silvina Spataro^{1*}, Ariana Carrazana² y Domingo Gimeno Torrente².

¹ Pablo Barrelier 2483, Lomas de San Martín, Córdoba, Argentina. ² Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica, Facultad de Geología, Universidad de Barcelona. Barcelona, 08028, España.

* email: silvispataro@gmail.com

Resumen. En este trabajo se exponen las principales características del área denominada Morro Bola, portadora de mineralización epitermal ubicada en el sector centro-norte de la mina Abel Peirano, propiedad de Yacimientos Mineros Agua de Dionisio, dentro de la provincia geológica de Sierras Pampeanas Occidentales, en la provincia de Catamarca, Argentina. El sistema mineralizado de Morro Bola está constituido por al menos 27 cuerpos vetiformes cuya mineralogía se asocia a cuarzo, carbonatos y óxidos de manganeso, con concentraciones anómalas de plata y oro, emplazados según un rumbo predominante noroeste e inclinación subvertical principalmente hacia el suroeste. Las rocas de caja son de composición mayoritariamente andesítica, pertenecientes al Complejo Volcánico Farallón Negro de edad miocena superior. Mediante los estudios mineralógicos, texturales y geoquímicos, se clasificó al depósito como de estilo epitermal, de baja sulfuración, determinándose que el mismo se encuentra en una posición estructuralmente alta, por encima del nivel de ebullición que es la zona más propicia para la deposición de metales preciosos.

Palabras Claves: vetas, epitermal, baja sulfuración, Morro Bola, Argentina.

1 Introducción

La zona de interés se ubica en el distrito Hualfin, departamento Belén, provincia de Catamarca, República Argentina. Sus coordenadas son 27°17' de latitud sur y 66°38' de longitud oeste y se localiza dentro de la Mina Abel Peirano, concesión de Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (en adelante YMAD). Morro Bola comprende un área de aproximadamente 0,39 Km², y está 5 km en línea recta al NO de Bajo de la Alumbrera y 3,7 km al NE del campamento Farallón Negro-Alto de la Blenda. El área de estudio pertenece a nivel regional a la provincia geológica de Sierras Pampeanas Occidentales (Ramos et al, 2002), caracterizada por grandes bloques montañosos, fallados y basculados que generan importantes depresiones de orientación aproximada N-S. A nivel local forma parte del Complejo Volcánico Farallón Negro (en adelante CVFN), emplazado hacia fines del Terciario (Llambías, 1970). La construcción del estratovolcán principal comenzó alrededor de 8,5 Ma y el período de actividad volcánica, intrusiva y extrusiva, e hidrotermal, se extendió entre los 8,5 y 5,5 Ma coincidiendo con un desvío en la compresión regional al NO-SE (Sasso y Clark, 1999). Datos

geoquímicos confirman que las unidades volcánicas son subalcalinas, pudiendo clasificarse el magma, sobre la base del diagrama K₂O-SiO₂ de Pecerrillo y Taylor (1976), en Sasso y Clark, (1999), tanto en shoshonítico como calcoalcalino rico en K (Dostal et al., 1977; Caelles, 1979; Allison, 1986; Guilbert, 1995; Jones, 1977, en Sasso y Clark, 1999, Carrazana, 2011). El CVFN está limitado al NE y SO por las fallas horizontales dextrales, Amanao y Ampujaco; en su interior se presentan estructuras de rumbo preferencial NO-SE y otras de rumbo NE-SO menos frecuentes. Estas fallas constituyen el extremo sur de megafacturas de rumbo NO-SE que se extienden hasta Chile (Gutiérrez et al, 2002b). Según Llambías (1972) en Montenegro y Morales (2004), la mineralización del CVFN se divide en dos clases: diseminada y vetiforme. La mineralización diseminada es del tipo cobre porfídico, presenta zonas de alteración hidrotermal bien desarrolladas y se observa en los bajos: Alumbrera, Agua Tapada, Durazno, Pampitas, San Lucas. La mineralización vetiforme consiste en filones de cuarzo y carbonatos que contienen mayormente minerales de oro, plata y manganeso, muy bien representada por las vetas de Farallón Negro, Los Viscos, Alto de la Blenda, Macho Muerto, Santo Domingo, La Josefa y Morro Bola. Los estudios de detalle de las vetas de Morro Bola expuestos en este trabajo, surgen de la comparación con las vetas, actualmente en explotación, de la Mina Farallón Negro. A partir de datos históricos se sabe que en el área de Morro Bola se llevaron a cabo actividades mineras de pequeña escala desde los años '50 (Montenegro, 2013, com. pers.), quedando como testimonio de dichas actividades algunas paredes de posibles casas de trabajadores, galerías y labores mineras. En 2001 la empresa MIM exploraciones realizó algunos estudios a escala de prospección distrital dentro del área de YMAD, reconociendo anomalías auríferas en vetas de cuarzo y manganeso. En 2013 Minera Alumbrera Ltd. (en adelante MAA) realizó nuevos estudios exploratorios en Morro Bola, los cuales fueron profundizados, principalmente en las zonas de vetas, durante el desarrollo de la tesis de Spataro (2014). Parte de estos estudios se describen a continuación.

2 Metodología, muestreo y resultados

Se analizaron en el laboratorio químico de MAA, 352 muestras de superficie, de las cuales 92 corresponden a los

distintos tipos de vetas, 80 a sus rocas de caja inmediatas, y 180 pertenecen a las diferentes litologías del sector obtenidas a partir de una grilla de muestreo. Los elementos principalmente de análisis fueron oro, plata y cobre; y de manera secundaria molibdeno, azufre, hierro y calcio. Los protocolos de análisis consistieron en determinaciones por ensayo a fuego (*fire assay* 50 gr) y digestión ácida (3 a 4 ácidos), lectura por AAS (*atomic absorption spectrometry*) e ICP-OES (*inductively coupled plasma-optical emission spectrometry*). En la Universidad Nacional de Córdoba se realizaron los estudios microscópicos de las muestras de superficie obtenidas durante la exploración de (MAA) en Morro Bola. La metodología consistió en una descripción macroscópica para la preparación de 13 láminas delgadas a partir de las cuales se realizó la descripción de texturas, mineralogía y alteración de los diferentes dominios litológicos y vetas mediante microscopio petrográfico dual (refracción y reflexión) Nikon Eclipse E400 con objetivos de 4x, 10x y 20x. La identificación de litologías durante la cartografía superficial, se basó en el reconocimiento de las unidades según Llambías (1970, 1972) para todo el CVFN, y fueron validadas a través del análisis de las láminas petrográficas. El estudio de minerales opacos (sulfuros y óxidos) se realizó mediante 6 probetas metalográficas con microscopio óptico de luz reflejada marca Leitz Wetzlar Germany, que corresponden a muestras de vetas de cuarzo y óxidos de manganeso.

2.1 Caracterización Litológica y Estructural

La litología de Morro Bola está representada por rocas volcánicas con composiciones que varían desde extremos basálticos hasta dacíticos, con miembros mayoritariamente andesíticos; las mismas ofician de caja de las manifestaciones vetiformes y corresponden, de más antigua a más reciente, a: Brecha Andesítica Morada, Colada Basalto-Andesítica, Andesita Porfírica, Andesita de Grano Fino, Andesita Anfibólica, Dique Basalto-Andesítico y Pórfido Dacítico. Texturalmente la mayoría de las rocas son porfídicas a microporfídicas con matriz micro a criptocristalina, mientras que la mineralogía primaria, tanto de los fenocristales como de la matriz, está caracterizada por plagioclasas, anfíboles, piroxenos, cuarzo, biotita y olivino. Los minerales accesorios comprenden magnetita, pirita, cuarzo y circón. Desde el punto de vista estructural, en la zona de Morro Bola todas las fallas son directas de alto ángulo, según dos direcciones predominantes (NO y NE). Aquellas con rumbo NO, coinciden con la orientación de estructuras mayores del CVFN y del eje de caldera, y buzan principalmente hacia el SO. Las fallas con dirección NE inclinan tanto hacia el SE como hacia el NO y estarían relacionadas a una dilatación NO-SE ocurrida entre Alto de la Blenda y la Alumbraera. Estos juegos de fracturas controlaron los emplazamientos litológicos, fundamentalmente de diques, actuando a la vez como conductos para soluciones mineralizantes que dieron lugar a la formación de las vetas del sector.

2.2 Caracterización Mineralógica y Textural

El área de Morro Bola alberga un sistema mineralizado constituido por al menos 27 cuerpos vetiformes en superficie, cuyas potencias están comprendidas frecuentemente en un rango de 0,30 a 2 m, totalizando unos 900 m lineales de estructuras aflorantes de morfología tabular a lenticular, que conforman un diseño ramificado a subparalelo. La estructura principal alcanza una longitud de 300 m y un máximo espesor de 8 m. Fluidos de pH neutro a alcalino generaron una alteración argílica en torno a las vetas caracterizada por diferentes tipos de arcillas y óxidos de hierro, y una alteración propilítica de mayor extensión con epidoto, clorita y carbonatos (calcita) hacia las zonas marginales (figura 1). Restringida a las inmediaciones de unas pocas estructuras, se encuentra silicificación con intensidad variable de débil a fuerte. Los procesos de alteración hidrotermal en las litologías se evidencian mayormente como reemplazos, validándose las observaciones de campo a través de los datos aportados por el análisis de láminas petrográficas.

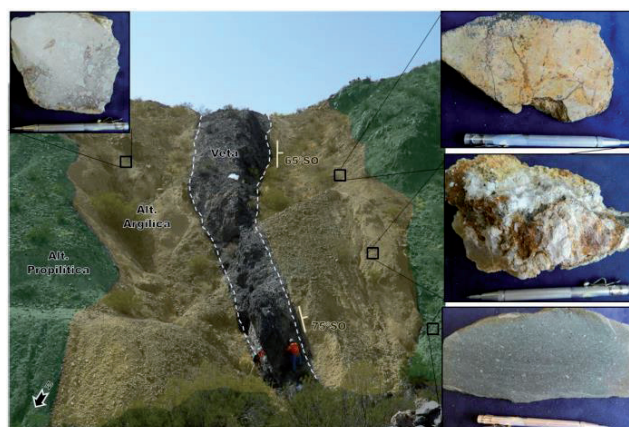


Figura 1. Zonación de alteración hidrotermal a partir de la estructura mineralizada principal, con desarrollo de franjas de alteración argílica a ambos lados de la veta, seguidas de zonas con alteración propilítica que se extienden por cientos de metros. Detalles de muestras de mano tomadas de la roca de caja (brecha andesítica morada). Nótese la escala humana en la fotografía vista hacia el SE. Spataro (2014).

La mineralogía de las vetas está dominada por calcedonia, carbonatos (calcita y probablemente calcita manganesífera) y cuarzo, como minerales que conforman la ganga, mientras que los minerales de mena corresponden casi en su totalidad a óxidos de manganeso, entre ellos criptomelano, manganita, romanechita y pirolusita y sulfosales de plata, posiblemente pirargirita; siendo identificadas estas especies mediante el estudio de probetas metalográficas. Óxidos de hierro, yeso y arcillas aparecen como minerales accesorios. Se reconocieron cuatro estadios principales de precipitación hipogénica en el relleno de las estructuras, y dos de naturaleza posiblemente supergénica. Una intensa oxidación habría generado las distintas especies de óxidos de manganeso a partir de la alteración de carbonatos previamente precipitados. El estudio de los minerales permitió el

reconocimiento de varias texturas, las cuales fueron clasificadas en tres grupos: a) texturas de crecimiento primario (calcedonia masiva, coloforme, crustiforme), b) texturas de recristalización (en mosaico y microplumosa), y c) texturas de reemplazo (*lattice-bladed* y *ghost-bladed*). Sobre la base de este análisis a partir de estudios petrográficos y calcográficos se estableció la secuencia deposicional de los diferentes minerales identificados (tabla 1 y figura 2). La signatura geoquímica que caracteriza al sistema de Morro Bola está dominada por valores anómalos de Ag. El valor más alto en todas las muestras recolectadas corresponde a la veta principal. Las altas leyes de Ag están relacionadas a la presencia de óxidos de manganeso ya que hay gran correspondencia con las sulfosales identificadas bajo microscopio de luz reflejada y los resultados geoquímicos. Asociados a los valores de Ag, se observan anomalías de Au. Estas anomalías en metales preciosos no son acompañadas por valores anómalos de Cu, coincidiendo además con la ausencia total, en superficie, de sulfuros de metales base.

3 Discusión y conclusiones

Considerando el modelo epitermal de Morrison et al. (1990) y las observaciones mineralógicas, texturales y geoquímicas, se clasificó al depósito como epitermal de baja sulfuración, determinándose que el mismo se encuentra en una posición estructuralmente alta, por encima del nivel de ebullición que es la zona propicia para la depositación de metales preciosos, por lo que podría esperarse la presencia de contenidos más significativos de plata y oro en profundidad. En cuanto a la signatura geoquímica, el depósito podría definirse como argentífero debido a la alta relación Ag/Au obtenida, con un promedio de 100:1. Según Hedenquist y Lowenstern (1994), las concentraciones de Cu no ocurren, presumiblemente porque la baja salinidad y el pH cercano al neutro y escasez de fluidos, no propiciarían el eficiente transporte del cobre. Teniendo en cuenta las estructuras regionales y locales presentes en Morro Bola, las asociaciones texturales identificadas, la abundancia relativa de las mismas y la paragénesis de depositación mineral, se interpreta que el nivel de erosión actual de las manifestaciones epitermales se encontraría en la parte inferior de la superzona Calcedónica (100m), más precisamente en la zona de Calcedonia Masiva, en la cual también se desarrollan texturas *lattice-bladed*, y abarcando también una pequeña parte de la sección superior de la superzona Crustiforme-Coloforme (200m), por encima del nivel de ebullición. A partir de lo expuesto hasta aquí, se puede interpretar que la temperatura de los fluidos actuantes en la formación del depósito estuvo en el orden de los 160°C a 200°C. Se estima que el nivel erosivo al cual se halla el sistema en la actualidad correspondería a profundidades comprendidas entre los 100 y 200 m por debajo de la paleosuperficie. Sobre la base de todo lo expuesto hasta aquí, se concluye que las vetas de Morro Bola están relacionadas con la mineralización de Farallón Negro-Alto de la Blenda. La orientación, inclinación,

mineralogía y texturas, con analogías entre los sistemas, son evidencias que soportan dicha premisa. El nivel de exposición actual de Morro Bola sería algo más superficial que el de Farallón Negro, estando ambos a su vez en una posición estructuralmente más alta respecto al pórfido de cobre-oro de Bajo de la Alumbrera.

Agradecimientos

Los agradecimientos son para Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (YMAD) por permitir publicar este trabajo y a Minera Alumbrera Ltd. por el financiamiento de la investigación y la logística.

Referencias

- Carrazana A. 2011. Análisis petrológico, geoquímico y mineralógico del Proyecto Bajo Agua Tapada, Provincia de Catamarca, República Argentina. Tesis de Master (Unpublished). Universidad de Barcelona, Facultad de Geología. Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica: 46 p.
- Gutiérrez, A., Kojima, S. y Espinoza, S. 2002b. Ambiente tectónico del distrito minero Agua de Dionisio (YMAD), Argentina. 11° Congreso Peruano de Geología, Lima. Perú. 10 p.
- Hedenquist, J.W. y Lowenstern, J.B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature* 370: 519-527.
- Llambías E. 1972. Estructura del Grupo Volcánico Farallón Negro Catamarca, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica*. Tomo XXVII, N° 2 (Abril-Junio, 1972) 61-169 p.
- Llambías E. 1970. Geología de los yacimientos mineros de Agua de Dionisio, provincia de Catamarca, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 1:2-32, Buenos Aires.
- Montenegro N. y Morales F. 2004. Guía de Campo. In Curso Latinoamericano UNESCO-SEG 2004. Yacimientos Mineros Aguas de Dionisio. 20 p. Catamarca, Argentina.
- Morrison, G., Dong, G. y Jaireth, S. 1990. Textural zoning in epithermal quartz veins. *Field Manual*, AMIRA Project P247. Gold Research Group, James Cook University of North Queensland, 33 p., Townsville.
- Ramos, V.A., Cristallini, E.O. y Pérez, D.J. 2002. The Pampean flat-slab of the central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 59-78.
- Sasso A. y Clark A. 1999. El Grupo Farallón Negro: Evolución Magmática, Hidrotermal y Tectónica e Implicancias para la Metalogénesis de Cobre-Oro en el Retroarco Andino, Catamarca. In *Recursos Minerales de la República Argentina*. (Ed. E. O Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 3. Buenos Aires, Argentina.
- Spataro S. 2014. Caracterización geológica del sistema vetiforme de Morro Bola, Complejo Volcánico Farallón Negro, provincia de Catamarca, Argentina. Tesis de Licenciatura (Unpublished). Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Escuela de Geología: 149 p.

Tabla 1. Secuencia paragenética del sistema vetiforme de Morro Bola, en la cual se presentan los minerales en función de 6 estadios mineralizantes, como reflejo de la evolución que sufrió el fluido hidrotermal. El grosor de las barras refleja la abundancia del mineral en cada estadio o pulso. Spataro (2014).

Minerales	Estadios Hipogénicos				Estadios Supergénicos	
	1	2	3	4	5	6
Calcedonia	<div></div>					
Cuarzo		<div></div>		<div></div>		
Carbonatos		<div></div>	<div></div>			<div></div>
Pirargirita			<div></div>			
Criptomelano					<div></div>	
Manganita					<div></div>	
Romanechita					<div></div>	
Pirolusita					<div></div>	
Óxidos de hierro					<div></div>	
Yeso						<div></div>

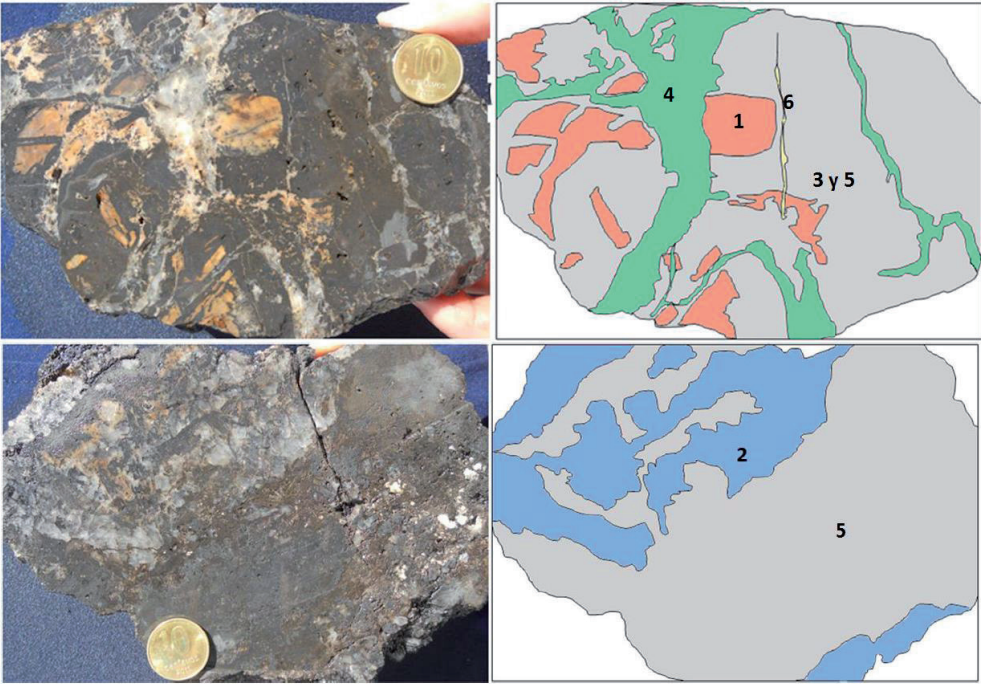


Figura 2. Muestras pertenecientes a la veta principal con los esquemas (derecha) correspondientes a las relaciones de corte de los eventos mineralizantes. Spataro (2014).