

"Episodios de mineralización molibdenífera en el Yacimiento Bajo de la Alumbraera, Catamarca, Argentina"

Diana MUTTI¹, Martín MARZANO², Ariana CARRAZANA³ y Julio BRUNA NOVILLO⁴

¹ Departamento de Cs. Geológicas, Área Geología Minera, FCEyN, UBA.

Ciudad Universitaria Pab. 2, C1428EHA Ciudad Autónoma de Buenos Aires

² Minera Alumbraera Ltd. Bajo de la Alumbraera.

¹E-mail: diana.mutti@yahoo.com.ar

²E-mail: martinnmar@yahoo.com.ar

³E-mail: acarrazana@xstratacopper.com.ar

⁴E-mail: jbruna@xstratacopper.com.ar

ABSTRACT

Episodes of molybdenum mineralization in Bajo de la Alumbraera Deposit, Catamarca, Argentina.

The world-class deposit of Bajo de la Alumbraera is known for its content of Cu and Au, but from recent years molybdenum ore is processed, constituting a byproduct within the operation. This contribution discusses issues related to the geochemical distribution of Mo and its manifestation (molybdenite). Deposition stages are proposed based on its spatial disposition and macro - microscopic features.

Keywords: molybdenite, porphyry model, intermedio sulphidization veins, Bajo de la Alumbraera, Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

Para abordar una propuesta sobre los episodios de mineralización del Molibdeno (Mo) en el yacimiento Bajo de la Alumbraera (BLA), se planificó una metodología de trabajo en base a datos descriptivos que permitiesen conjugar la distribución del Mo en el espacio y su modo de yacencia.

Para ello se ponderaron datos químicos de leyes provistos por BLA y obtenidos con técnicas de ICP (*Induced Coupled Plasma*) y de perforaciones que atraviesan los litotipos principales (Marzano 2012). Se trabajó con un total de 260 metros lineales de roca representativos de la mineralización y secciones pulidas con fines petrográficos y calcográficos, de tal modo de definir la mineralogía y sus relaciones texturales.

2. GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO

La mina Bajo de la Alumbraera (BLA) constituye un yacimiento representativo del modelo pórfido cupro-aurífero de clase mundial. Sus rocas mineralizadas son pórfidos dacíticos y andesitas del Complejo Volcánico Farallón Negro (CVFN) de edad miocena, las cuales han sido alteradas por procesos hidrotermales.

La andesita es la litología de mayor distribución areal y enmarca la serie de pórfidos dacíticos expuestos en *stocks* en la parte central del complejo, e identificados en un número de siete, incluyendo fases pre, sin y post mineralización (Proffett, 1997, 2003). Al respecto, Proffett (2003), interpreta la presencia de cuatro fases de intrusiones mineralizadas. El más antiguo es el pórfido Colorado Norte o pórfido P2 que fue profusamente intruido por pórfidos más jóvenes. De todos los pórfidos en BLA, el P2 es el más afectado por las alteraciones de tipo cuarzo-magnetita y potásica.

El mayor evento de intrusiones se agrupa bajo la nomenclatura P3 de Proffett (2003). Este evento produjo un mayor volumen de rocas mineralizadas. Consiste en varias fases intrusivas independientes, agrupadas según sus relaciones temporales en pórfidos tempranos o EP3 (*Early Porphyry 3*) y pórfidos tardíos o LP3 (*Late Porphyry 3*).

El modelo de alteración hidrotermal se manifiesta con un arreglo concéntrico definido por una zona central de alteraciones potásica (K) y cuarzo-magnetita (Qz-Mt) y por un halo externo con la asociación epidoto-clorita (Ep-

Cl). Entre ambas zonas, se sobrepone la alteración destructiva de feldespatos (FDA).

De acuerdo al trabajo realizado por Proffett (2003), existen tres tipos de venillas: A, B y D. Las venillas de cuarzo son asignadas como tipo A y B. Las A consisten en cuarzo fino equigranular, carecen de estructura interna, son irregulares y discontinuas. Pueden presentar otros minerales, como magnetita, feldespato potásico, calcopirita, bornita, biotita y anhidrita en variadas combinaciones. Generalmente cuando las venas tipo A presentan otros minerales además de cuarzo, se las conoce como venillas pertenecientes a la familia de tipo A. Las venillas de dicha familia, suelen tener una estructura interna sutilmente bandeada, dado por la alternancia de capas con diferente tamaño de grano, o bien, con diferente proporción de magnetita, feldespato potásico y/o sulfuros de cobre. La mayoría de las venillas de cuarzo tipo A y las familias A, son parte de eventos de mineralización temprana y temporalmente relacionadas al emplazamiento de los pórfidos P2 y EP3.

Las venillas B, consisten en cuarzo de grano grueso y/o anhidrita o yeso. Otros minerales que pueden estar presentes son: calcopirita, pirita y molibdenita. Exhiben estructura interna con una zona central a modo de fina banda, o con otros arreglos. Son más continuas que las venillas A y sus límites son más rectos. Tienen tendencia a expresarse en sets sistemáticos y son parte de los eventos de mineralización asociados a los pórfidos LP3

La tercera familia de venillas, más tardías que las anteriores y desarrolladas durante el enfriamiento del complejo es conocida como tipo D. Tienen pirita con halos de intensa alteración FDA y un patrón radial de distribución alrededor del depósito con desarrollo de sets cónicos concéntricos.

3. DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL Mo

Los valores geoquímicos de Mo indican, a partir de muestras de testigos, leyes con una distribución espacial en el depósito, que proyectada a planta es anular simétrica, con valores desde <10 ppm hasta >500 ppm; los mayores de ellos se registran entre las cotas de 2350 y 1930 ms.n.m aproximadamente, a

modo de bolsones irregulares que se destacan en el sector occidental del *pit*.

A diferencia de las anomalías de Mo, las anomalías positivas de Cu total (> a 0,9 %) se presentan hacia los niveles superiores, entre las cotas 2543 y 2050 ms.n.m, y hacia la zona central del complejo, abarcando un sector de mayor amplitud areal y volumétrica (véase **figura 1**).

Las litologías con anomalía positiva de Mo son las andesitas en contacto con el intrusivo dacítico EP3, así como este último litotipo próximo a la vulcanita. También posee el LP3 a la cota de 2125 ms.n.m. y próxima a su contacto con el intrusivo EP3 (cota 2170 ms.n.m) en la zona central del complejo. La correlación positiva acompaña la zona de borde externo de la alteración potásica, la cual pasa en transición a la alteración FDA.

4. ESTADIOS DE MINERALIZACIÓN PORTADORES DE MOLIBDENITA

En BLA se identificaron 5 estadios portadores de mineralización molibdenífera y que se asignan siguiendo la nomenclatura empleada en Marzano (2012), como A, B, D, E y F, según un orden temporal decreciente. Su síntesis se presenta en las **figuras 2 y 3**.

Al **Estadio A** se asigna la molibdenita diseminada (**A₁**) y en venillas (**A₂**) junto a calcopirita, magnetita y pirita en asociación con biotita alterada. Los sulfuros, así como el óxido, reemplazan los silicatos del pórfido P2 y EP3 y de la andesita principalmente. Los rasgos avalan una correlación con el estadio inicial (1) mineralizante descrito por Harris *et al.*, (2005), o sea al evento de alteración potásica y de venillas cuarzo-magnetita (estadio A, según Proffett, 2003).

Asimismo, dos familias de venillas portadoras de molibdenita fueron distinguidas. La **familia A_{2a}** con venillas discontinuas, de contornos difusos y cóncavo – convexo, con molibdenita junto a cuarzo y sin arreglo interno particular. La **Familia A_{2b}**, algo más continua, con bordes difusos, cóncavo – convexos y además portadora de pirita.

Al **Estadio B** descrito por Proffett (2003) o Estadio 2 de Harris *et al.*, (2005), véase figura 3, se atribuye un grupo de venillas con

molibdenita, cuyas asociaciones paragenéticas y otros rasgos permiten agruparlas en dos familias, B₁ y B₂. La **Familia B₁** es similar a las venillas A_{2b}, pero posee anhidrita, molibdenita, calcopirita, pirita ± magnetita, sus bordes son más rectos, tiene mayor continuidad y frecuentes reaperturas relacionadas con mecanismos de disolución por presión y precipitación o *crack and seal*. Se destaca en el pórfido EP3 y en andesitas con alteración potásica retrógrada a FDA, preferentemente en la zona profunda expuesta del complejo. La **Familia B₂** porta como principal mineral ligante al producto de alteración de la anhidrita, yeso, junto a pirita, calcopirita, molibdenita ± especularita. Sus caracteres son similares a la familia B₁.

El **Estadio D** se estableció en base a la participación de molibdenita producto del relleno de estructuras de brecha a microbrecha en el pórfido EP3, con alteración FDA sobreimpuesta a las alteración K y Ep-CI, próxima a zonas de falla. Se detectó a una cota menor a 2135 m.s.n.m. Las venillas o material ligante de los clastos posee a veces arreglo zonal de galena, esfalerita, calcopirita, pirita y molibdenita con cuarzo, carbonato y epidoto. El ancho de las venillas es próximo a los 2 mm y sus bordes son netos y rectos.

El **Estadio E** posee características que marcan rasgos de una mineralización de tipo epitermal de sulfuración intermedia. Posee un diseño bandeado simétrico y textura botroidal: galena, esfalerita, pirita, calcita, cuarzo y sílice amorfa en relleno de venillas, venas y cemento de brechas en la zona de contacto entre el EP3 y la vulcanita básica.

Al **Estadio F** al igual que el E, dados sus rasgos, se los vincula con el estadio 5 de Harris *et al.*, (2005). Porta molibdenita en venillas de yeso fibroso, además de pirita y calcopirita en proporciones variadas. Se detecta en el EP3 con alteración potásica y FDA sobreimpuesta y dentro de niveles subsuperficiales con respecto a la base actual del *pit*.

5. DISCUSIÓN

Sobre la base de las asociaciones paragenéticas portadoras de Mo identificadas

y agrupadas en cinco estadios (**A, B, D, E y F**), el comportamiento dúctil a frágil de la roca hospedante, sus texturas y las propuestas de evolución metalogénica de autores diversos para la mineralización cuprífera de BLA, se discute y analiza sucintamente los mecanismos que podrían haber propiciado la mineralización molibdenífera expuesta en este yacimiento.

Estudios de Ulrich (1999), Ulrich y Heinrich (2002) y Meier (2008), señalan para BLA un primer episodio mineralizante dado por venillas de cuarzo + magnetita (con muy escasos sulfuros), en el cual se halla exigua molibdenita (**Estadio A**). Este episodio domina en el pórfido P2 y en la zona central del EP3, siempre a partir de niveles más profundos que la mineralización cuprífera. Meier (2008) postula que la asociación de óxido de hierro con cuarzo antecede al evento de alteración potásica, a diferencia de la propuesta de Proffett (2003).

Meier (*op.cit.*) basa su propuesta en el elevado contenido de Fe de la fuente, medido en inclusiones fluidas de parcelas de fluido entrampadas en cristales de cuarzo, y destaca que las condiciones para esta mineralización fueron de muy baja salinidad. Según dicho autor, el fluido alcanzó en esta etapa inicial del proceso una temperatura > 600 °C (~ 800 °C según Harris *et al.*, 2005). Su baja salinidad o proporción de KCl sobre la de HCl no posibilitaría aún la alteración potásica.

El elevado contenido de Fe para la precipitación de magnetita, indicaría una fuente magmática con un estado relativo de oxidación ($Fe_2O_3/FeO > 10$, Blevin *et al.*, 1996) durante el primer registro de desgasificación del magma (1^{ra} ebullición según nomenclatura de Candela y Holland 1984). Debido a los coeficientes de distribución del Cu y del Mo ($D_{Cu_{fluido/fuente}}=9,1, D_{Mo_{fluido/fuente}}=2,5, D_{Cu_{cristal/fuente}}=2$ y $D_{Mo_{cristal/fuente}}=0,02$; datos tomados de Candela, 1997), el Cu pudo ser fraccionado en la fase fluida en tanto que el Mo permanecería aún en la fuente, precipitando tan sólo a modo de una tenue diseminación en el P2 y hacia el centro y base del pórfido EP3 junto a la magnetita (sitios con un grado de menor saturación de fluidos, **Subestadio A1**).

Meier (2008), señala que la depositación de magnetita no involucró la participación directa de una fase densa de fluido o de salmuera; en tal sentido, Ulrich *et al.*, (2002) estudian inclusiones de salmuera polifásicas (halita \pm silvinita + varios cristales hijos opacos y transparentes) de moderada a alta salinidad (50-60% en peso de NaCl _{equiv.}), con NaCl, KCl, y FeCl₂, que tras el enfriamiento y descompresión, exsolverían una fase de vapor enriquecida en Cu preferentemente. En estas condiciones y la despresurización registrada por el sistema es factible presumir la precipitación de cuarzo en venillas portadoras de molibdenita (**Subestadio A_{2a}**) y con calcopirita \pm pirita (**Subestadio A_{2b}**).

La participación de cloruros en este proceso se interpreta que favoreció la depositación de Cu y Fe temprano bajo las especies de calcopirita y pirita por enfriamiento, mientras que el Mo se asoció a la disociación de agua en O₂ (g) y OH⁻ (aq.) probablemente, siendo este último el agente desestabilizado para la precipitación de Mo, debido a la separación de fases acuosas en el sistema.

En cuanto al Cu y Fe, la mención de venillas A por Proffett (2003) portadoras de bornita, avalan un leve incremento en la fS₂ para la fuente, y una leve disminución en el contenido de Fe disponible en el fluido. Del mismo modo la estabilidad de bornita + calcopirita + pirita + magnetita + hematita descriptas por dicho autor, indican un incremento en la fO₂ para el sistema mineralizante. Ello permite asumir la presencia del anión SO₄²⁻, formador de las venas y venillas tempranas de anhidrita, mineral precipitado por el descenso de la salinidad, presión y/o temperatura de fluido. Se estima que la relación SO₂/H₂S no obstante fue < 1, debido a que la asociación de sulfuros identificados indica aún un relativo bajo estado de sulfurización. Sin embargo, de acuerdo con Richards (2003), la hipótesis de un proceso de tipo MASH (*melting, assimilation, storage and homogeneization*) para la generación de una fuente magmática fértil, involucraría la presencia de azufre bajo la especie de sulfato como especie dominante.

El enfriamiento y la descompresión a partir de las condiciones iniciales con altas presiones y temperaturas, debieron descender. Esta última variable según Harris *et al.*, (2005), hasta unos

400 °C aproximadamente. Bajo las nuevas condiciones comenzaría a dominar una etapa con reiteradas pérdidas de presión de fluido y descenso de temperatura, así como el sello de microestructuras por relleno que acompañó la sobrepresurización del fluido, propiciando desarrollo de venillas (incluidas bajo el concepto de 2^{da} ebullición según nomenclatura de Candela y Holland 1984), las cuales alojan los sucesivos estadios identificados en este trabajo (**B, D E y F**).

Las venas y venillas **B₁** propias del **Estadio B** con molibdenita + calcopirita + pirita + anhidrita \pm magnetita muestran rasgos de una etapa frágil dominante sobre la dúctil para el material ígneo hospedante, aunque algunos de sus rasgos texturales son similares a las venillas A₂. Este estadio afecta los pórfidos EP3 principalmente y LP3 con alteración potásica con biotita y FDA sobrepuesta en la zona central del complejo, aunque predomina próximo al contacto dacita – andesita en ambos litotipos. Su formación pudo involucrar la introducción de fluidos y azufre desde las rocas de cajas (paredes más frías del sistema) o removilizar azufre magmático, además de un aporte desde una fuente ígnea más profunda y más fría.

La precipitación de anhidrita a temperaturas mayores a los 100 °C, junto a la introducción de aguas connatas o meteóricas calentadas, se estima que promovieron la precipitación del sulfato anhidro en niveles más superiores del sistema. Sin embargo, tal como se mencionó con anterioridad, su yacencia con molibdenita domina en los niveles más profundos y por ende, se presume un carácter ígneo. No obstante a temperaturas entre 300 °C y 100 °C pudo ser solubilizada y redepositada en las venas que muestran episodios de presión – disolución. No se debe soslayar también que el enfriamiento de la masa ígnea propiciaría, dada la disminución del volumen, un fracturamiento secundario en las diversas litologías que acompañan al complejo. Esta estructuración facilitaría la circulación de soluciones que hidrataron la anhidrita dando lugar a la formación del yeso masivo (**Familia B₂**).

El **Estadio D** representaría un pasaje transicional hacia un episodio de menor temperatura, con valores < 400 °C para el

núcleo del sistema de acuerdo con isogradas vertidas por Harris *et al.*, (2005). La asociación mineralógica con sulfuros junto a calcita y/o cuarzo y/o yeso (pirita + galena + esfalerita + calcopirita + molibdenita ± hematita) en cuerpos relativamente más potentes (microvenillas y venillas) y estructuras de brecha a microbrechas, avala una transición hacia un sistema de sulfuración intermedia y ebullición en la etapa final de la alteración FDA que atañe a los pórfidos EP3 con alteraciones potásica y epidoto-clorita, y a la caja andesítica.

El **Estadio D** involucró posiblemente, circulación de H₂O sobreimponiendo sitios con una segunda generación de minerales del grupo del epidoto y arcillas ± carbonatos y clorita, tanto en las rocas porfíricas como en la andesita circundante. La introducción de agua, por soluciones descendentes o ascendentes, pudo promover la formación de carbonatos y diluir soluciones para desestabilizar ligantes clorurados y liberar Pb, Zn, Cu y Fe favorecidos además, por el descenso de la temperatura. Es factible que debido a la presencia de OH⁻, el Mo haya sido removilizado hacia las márgenes del sistema favoreciendo su redepositación.

Dada la existencia de brechas de pequeña envergadura, al menos las halladas en la zona central y oeste del dominio porfídico, inducen a la hipótesis que la reducida permeabilidad del macizo rocoso por el sello de estructuras, generó aumentos locales de la presión de fluidos e imprimió estilos de brechas durante su descompresión del tipo *jig-saw* y sitios con redepositación de soluciones debido a venas tipo *crack-seal*.

El **Estadio E** se asemeja al **D**, pero se encuentra enmascarado por un descenso brusco de temperatura (< 300 °C) provocado por fuertes decrecimientos de la presión de fluido, asociados con ebullición e hidrofracturamiento y la formación de soluciones coloidales que pudieron precipitar sílice amorfa con textura coliforme característica del ambiente epitermal. Este estadio se correlaciona con un sistema de vetas de sulfuración intermedia descrito por Montenegro *et al.*, (2010) en inmediaciones del depósito y controlado, según dichos

autores, por fracturas de orientación NO-SE. Al respecto, es posible considerar una reactivación de la fuente junto a una variación del nivel de profundidad del área mineralizada y la reactivación de fallas, de modo tal de ser afectado el sistema por un nuevo episodio de mineralización con rasgos de somerización y caracteres epitermales.

Por último, el **Estadio F** refleja una etapa frágil del macizo rocoso en donde la temperatura de fluido fue < 200 °C. El yeso fibroso actuó como el principal mineral formador de venillas junto con pirita + molibdenita. Posiblemente el Mo fue removilizado por la circulación de soluciones acuosas desde la misma roca ígnea, depositándose en sitios de permeabilidad secundaria, próximos al contacto entre la roca dacítica - andesita. Según Carrazana (2006) la génesis de yeso para el yacimiento de BLA, se debe a soluciones sulfatadas formadas por oxidación de pirita y que han reaccionado con el carbonato de calcio (calcita) de estadios previos, o bien por soluciones ricas en Ca²⁺ y SO₄²⁻.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el soporte económico brindado por la Universidad de Buenos Aires (proyecto UBACyT 20020100100047) y a Minera Alumbreira Ltd quienes facilitaron la realización de este trabajo.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Candela, P. A. y H.D., Holland, 1984. The partitioning of copper and molybdenum between silicate melts and aqueous fluids: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 373-380.
- Blevin, P.; B. Chapell y C. Allen, 1996. Intrusive metallogenic provinces in eastern Australia based on granite occurrence and composition. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh; Earth Sciences* 87:281-290.
- Candela, P. A., 1992. Controls on ore metals ratios in granite related ore systems: an experimental and computational approach. *Transactions of the Royal Society Edinburgh: Earth Sciences*. 83: 317-326.
- Candela, P. A., 1997. A review of shallow, ore-related granites: textures, volatiles and ore metals. *Journal of Petrology*. 38: 1619-1633.

- Carrazana, A. V., 2006. Caracterización geológica y modelación de las zonas de disolución de yeso en mina Bajo de la Alumbrera, Catamarca, Argentina. Trabajo Final. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. 124 pp. Inédito. Córdoba.
- Meier, D. M., 2008. Low-salinity fluids at the Bajo de la Alumbrera porphyry Cu-Au deposit, Argentina. M.Sc. thesis, ETH Zurich. 28 pp.
- Harris, A.C., Holding, S.D. y N. C., White, 2005. Bajo de la Alumbrera Copper-Gold Deposit: Stable Isotope Evidence for a Porphyry-Related Hydrothermal System Dominated by Magmatic Aqueous Fluids. *Economic Geology*. 100: 863-886.
- Manzano, M. N., 2012- La mineralización molibdenífera de Bajo de la Alumbrera, provincia de Catamarca, República Argentina: su caracterización y evolución. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires. Inédito. 97pp. Buenos Aires.
- Montenegro, N. y F., Morales, 2004. Guía de Campo. Yacimientos Mineros de Agua de Dionisio. Curso Latinoamericano de Metalogenia. UNESCO-SEG. 1-22.
- Proffett, J. M., 1997. Geology of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Catamarca Province, Argentina. Unpublished. Catamarca. 169 pp.
- Proffett, J. M., 2003. Geology of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Argentina. *Economic Geology*. Bulletin of the Society of Economic Geologist. 98. (8): 1535-1574.
- Richards, J. 2003. Tectono-magmatic precursor for Porphyry Cu-(Mo-Au) deposits formation. *Economic Geology*. 98:1515-1533.
- Ulrich, T., 1999. Bajo de la Alumbrera: Genesis of a Porphyry Cu-Au Deposit, based on Geology, Alteration Geochemistry, Fluid-inclusion Microanalysis and Stable Isotope Studies. Final Report to Mount Isa Mines Exploration. Swiss Federal Institute of Technology – ETH. Isotope Geology and Mineral Resources. Zurich, Switzerland. Unpublished. 131 pp.
- Ulrich, T. y C., Heinrich, 2002. Geology and Alteration Geochemistry of the Porphyry Cu – Au Deposit, at Bajo de la Alumbrera, Argentina. *Economic Geology*, 97: 1865-1888. Reprinted with corrections. First printed. 6: 1719–1742.

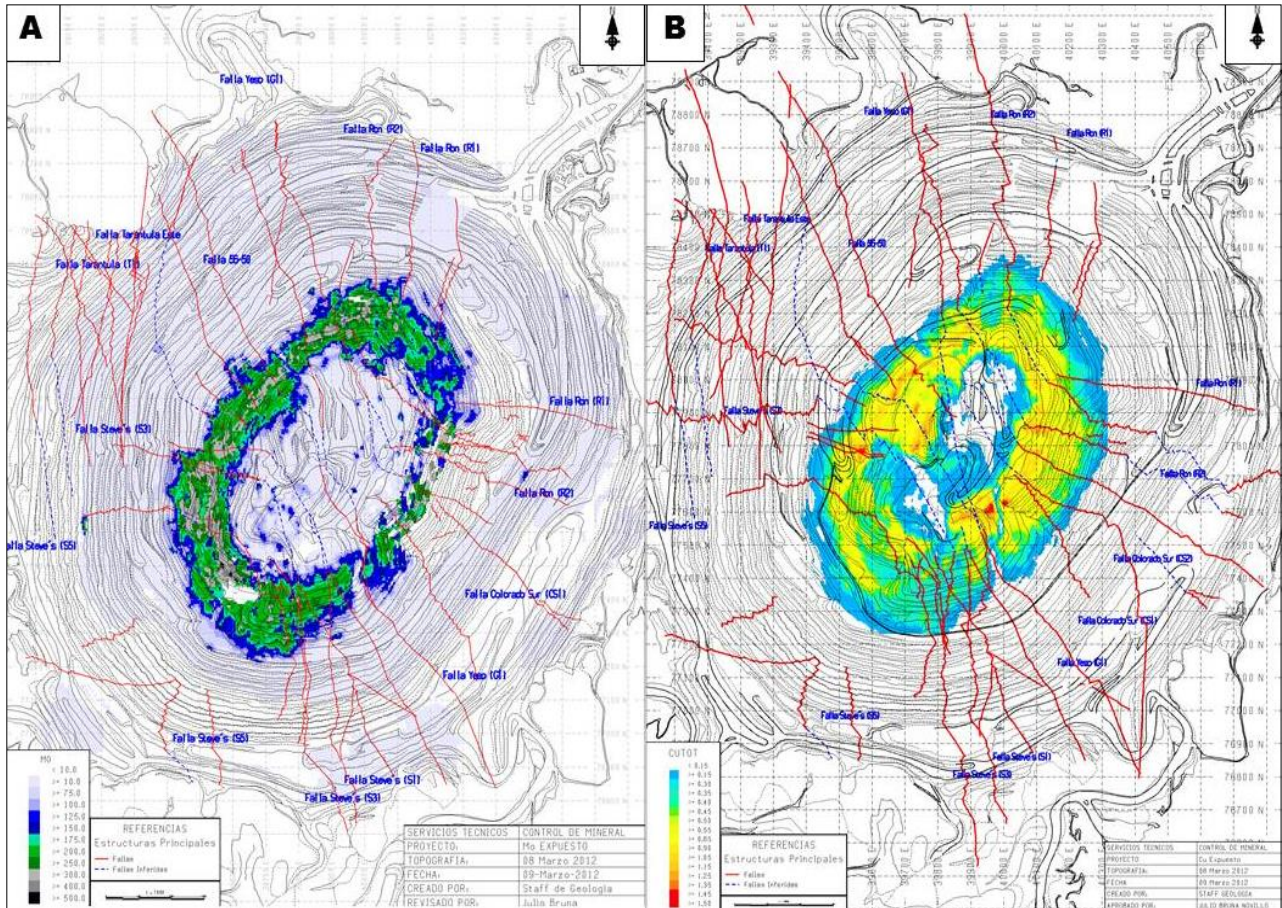


Figura 1: A) Distribución de la ley de Mo (ppm) y B) de Cu total (%), proyectadas en planta. Mapas realizados con el programa MineSight a partir de datos geoquímicos de roca total de marzo del 2012

Subestadio	A ₁	A _{2a}	A _{2b}	B ₁	B ₂	D	E	F
Modo de Presentación	Diseminada	Venillas discontinuas y difusas	Venillas algo continuas y bordes difusos	venillas a venas con bordes transicionales al microscopio	Venas a venillas con bordes netos	Microvenillas a venillas con bordes netos	Venillas a venas con bordes netos	Venillas con bordes netos y tendencias rectas
Textura	Granosa fina	Granosa fina	Granosa fina	Granosa fina a mediana ; bandeado tenue	Granosa fina a mediana, bandeado con sulfuros hacia los bordes	Granosa fina a mediana, brechosa de cemento bandeado	Granosa fina a mediana, botroidal	Granosa fina a mediana
Color		Gris oscuro	Gris amarillento	Gris claro violáceo	Gris claro a blanquecino	Gris	Bandas blancas y anaranjadas	Translucido - blanquecino
Potencia		50µm	0,5 mm	>3mm y <40mm	> 10mm	<2mm	10mm	< 15mm
Extensión		200µm	1mm	>100mm	>100mm	>10mm	>100mm	>100mm
Halo de alteración			Fino potásico			FDA ± clorita	FDA + silificación	FDA
Paragénesis metalífera	mo + mg > cp + py	mo > mg	mo > cp + py	mo + cp + py > mg	mo + cp + py > hm; mo	gn + sph + cp + py + mo > hm	gn + sph + cp + py + mo	mo + py > cp
Textura	Idiomorfa a subidiomorfa, <200µm	Idiomorfa a subidiomorfa, <150µm	Idiomorfa a subidiomorfa, <200µm	Idiomorfa a subidiomorfa, >100µm a <250µm	Idiomorfa a subidiomorfa, < 300 µm	Idiomorfa a subidiomorfa, < 300 µm	Idiomorfa a subidiomorfa < 6mm ; mo < 200 µm	Idiomorfa a subidiomorfa < 8mm ; mo < 200 µm
Paragénesis no metalífera	fk + qz + bt	fk + qz	fk + qz > bt	anh	anh + gy	qz + cc + ep	cc + qz + sc	gy
Textura	Idiomorfa a subidiomorfa	Idiomorfa a subidiomorfa	Idiomorfa a subidiomorfa	Fibrosa, perpendicular a la vena. Subidiomorfa	Masiva, subidiomorfa	Idiomorfa a subidiomorfa	Idiomorfa a subidiomorfa, textura plumosa	Fibroso, idiomorfa a subidiomorfa
Rasgos de la molibdenita	En agregados junto a qz	Suele ocupar todo el ancho de la venilla y disponerse paralela a la misma	Paralela a la venilla y en el borde de la misma	Paralela a las venillas y con crecimiento entre cristales de cp	Distribuida de manera uniforme entre los cristales de gy/anhven toda la venilla	Asociada a agregados de sulfuros y a silicatos	Asociada a silicatos y calcita	Paralela y oblicua al borde de la venilla
Roca de Caja	P2 y zona central EP3	P2 y zona central EP3	P2 y zona central EP3	EP3 y andesita	Próximo al contacto EP3 y andesita	EP3, próximo a fallas	EP3, cercano a fallas y próximo al contacto EP3 - andesita	EP3 zona central y subsuperficial
Alteración de la roca	Potásica débil rica en bt	Potásica débil rica en bt	Potásica rica en bt	Potásica y FDA	Potásica (bt > fk) y FDA	Potásica y FDA	Potásica junto a ep-cl; sobrepuesta FDA y silificación	Potásica y FDA
Reología de la roca	dúctil > frágil	Dúctil - frágil	Dúctil - frágil	Frágil - dúctil	Frágil - dúctil	Frágil	Frágil	Frágil
Localización (cota)	2020 - 2080 ms.n.m.	2030 - 2100 ms.n.m.	2040 - 2110 ms.n.m.	2100 - 2200 ms.n.m.	2000 - 2080 ms.n.m.	2050 - 2135 ms.n.m.	2100 - 2200 ms.n.m.	2140 - 2220 ms.n.m.
Proceso y fuente	Magmática-hidrotermal intersticial	Reileno hidrotermal juvenil	Reileno hidrotermal juvenil	Reileno hidrotermal juvenil y por aguas connatas	Reileno hidrotermal de aguas connatas	Reileno hidrotermal juvenil y por aguas connatas y/o meteóricas	Reileno hidrotermal juvenil y por aguas meteóricas y/o meteóricas	Reileno hidrotermal a partir de removilización por aguas meteóricas
Mecanismo de precipitación	Diferenciación magmática	1ra ebullición	1ra ebullición	2da ebullición	2da ebullición	Ebullición, brechamiento, enfriamiento	Ebullición o hidrofracturamiento	Calentamiento de soluciones superficiales

Figura 2: Tabla que resume las principales características de la mineralización de Mo y su vínculo genético.

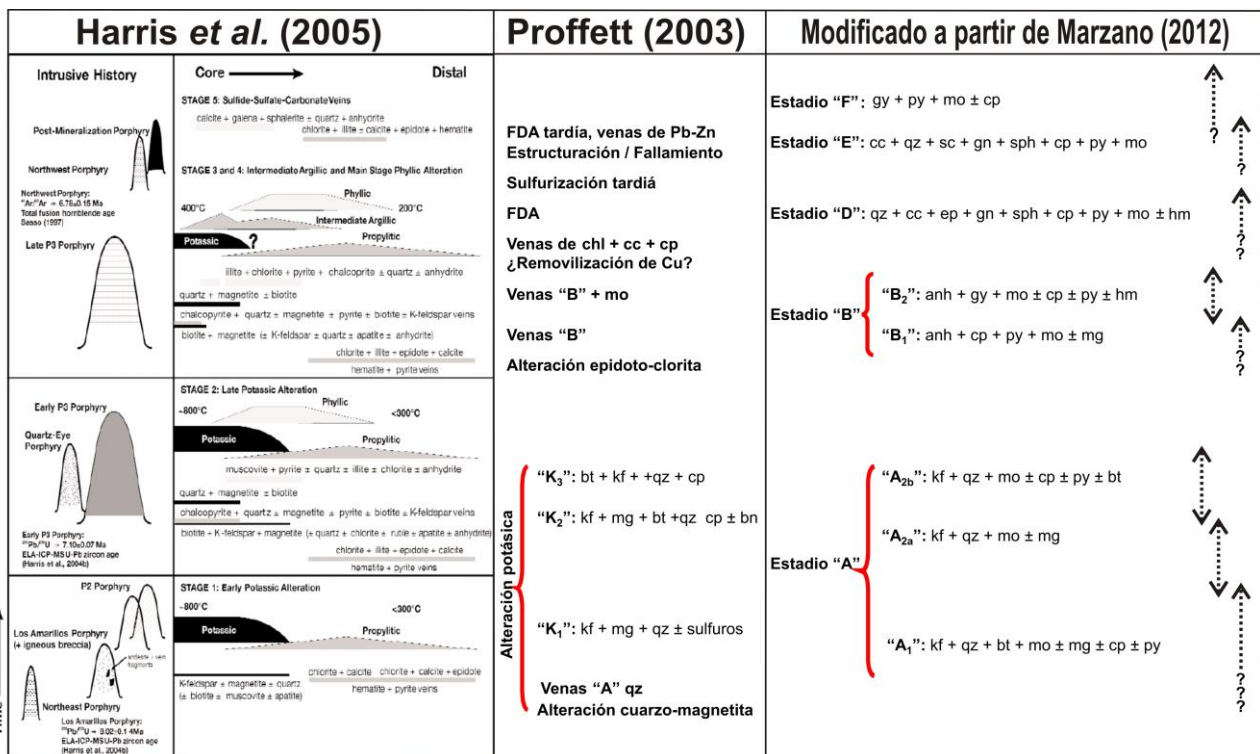


Figura 3. Esquema que ilustra la correlación en el tiempo de los diferentes estadios propuestos para la mineralización molibdenífera con propuestos para la mineralización cuprífera. La línea punteada indica la posible prolongación en el tiempo. Referencias de abreviaturas de minerales: anh (anhidrita), bio/bt (biotita), bn (bornita), cc (calcita), cp (calcopirita), cb (carbonatos), chl (clorita), qz (cuarzo), ep (epidoto), sph (esfalerita), kf (feldespato potásico), gn (galena), hm (hematita), mt/mg (magnetita), mo (molibdenita), py (pirita), sc (sílice coloidal), gy (yeso).