

Desarrollo evolutivo de la veta argentífera Tranquilo a partir de la caracterización textural y mineralógica, proyecto Pingüino, Santa Cruz, Argentina

Luciano LÓPEZ¹, Diego GUIDO², Sebastián JOVIC³, Matías GALINA⁴

(1)(2)(3)INREMI – CONICET.
(4) INREMI

(1) lopezluciano@hotmail.com (2) diegoguideo@yahoo.com (3) sebastianjovic@yahoo.com.ar (4) matiasgalina@gmail.com

RESUMEN.

Pingüino es un depósito vetiforme que se caracteriza por la presencia de dos eventos de mineralización superpuestos: el primero polimetálico (Jurásico inferior) y el segundo con vetas de cuarzo con metales preciosos (Jurásico medio). La veta Tranquilo es una falla mineralizada de textura brechosa que aporta el 12% de las onzas de plata equivalentes (Ag y Au) del proyecto Pingüino (aproximadamente 28 Moz Ag eq.). A través del análisis textural y relaciones de corte, se establecieron seis pulsos de precipitación. El pulso S está dominado por texturas de relleno con sulfuros y sulfosales polimetálicas correlacionables con el evento Jurásico inferior, con argentita como el principal mineral portador de plata, y donde se observan importantes concentraciones de plata nativa y clorargirita, posiblemente relacionadas con enriquecimiento supergénico, encima del nivel de oxidación. Le sucede el pulso Q₁, con cuarzo gris sacaroides, y los pulsos Q₂ y Q₃; en Q₂ se destacan los bandeados cuarzo-carbonáticos, mientras que Q₃ exhibe cristales de cuarzo con textura en peine y geodas. El pulso TH presenta una estructura brechosa, con clastos de caja y de pulsos anteriores cortados por vetillas/*stockwork* de óxidos de hierro-manganeso del pulso MN. La interpretación de los pulsos, permitió identificar procesos de precipitación donde dominó la extensión pura (Q₂-Q₃), de eventos tardíos de brechamiento tectónicos hidrotermales (TH-MN). Entender estos procesos contribuye a comprender la historia depositacional de las mineralizaciones, y así aportar a la exploración de esta estructura y/o del resto de las vetas del Proyecto Pingüino.

Palabras claves: Vetas polimetálicas, paragénesis, pulsos, mineralogía.

ABSTRACT

Pingüino vein deposit exhibits two mineralization events superimposed: the first polymetallic (lower Jurassic) and the second with quartz veins with precious metals (middle Jurassic). The Tranquilo vein is a mineralized fault with breccia texture. This vein provides the 12% of the ounces of equivalent silver (Ag and Au) of the Pingüino project (28 Moz Ag eq. approximately). From the textural analysis and cutting relation cutting relationships, six pulses of precipitation were defined. S Pulse is dominated by infill textures with sulfides and polymetallic sulphosalts related with the Lower Jurassic event; Argentite is the main silver carrier mineral and significant concentration of native silver and chlorargyrite were observe, possibly related to supergenic enrichment over the oxidation level. After this pulse, Q₁ with sacharoidal quartz and Q₂ and Q₃ pulses are precipitated, Q₂ with quartz-carbonated bands and Q₃ with broad quartz crystals with comb texture with occasional geodes. The TH pulse is a breccia with host rock and hydrothermal vein clasts from former pulses cutted by iron-manganese oxide veinlets/*stockwork* from the MN pulse. The interpretation of the pulses later

to S, allows defining precipitation process with pure extension (Q₂-Q₃) from later breccia events due tectonic-hydrothermal fracturation (TH-MN), Understanding these process contribute to understand the depositional history of the mineralizations, and help for the exploration of this type of structures and/or the rest of the Pingüino project veins.

Key words: Polymetallic veins, paragenesis, pulses, mineralogy

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto vetiforme Pingüino se encuentra ubicado en el sector central del Macizo del Deseado, distante a 40 km al noroeste del yacimiento de oro y plata Cerro Vanguardia, en la provincia de Santa Cruz (Fig.1A). Las vetas se hospedan en rocas sedimentarias triásicas (Grupo El Tranquilo) y rocas volcánicas del Jurásico inferior (Formación Roca Blanca), pero se relacionan con dos eventos de mineralización diferentes: un evento polimetálico y rico en sulfuros de metales base vinculado a intrusiones dioríticas del Jurásico inferior (Formación La Leona), y otro evento predominantemente cuarzoso, rico en metales preciosos, que se relaciona con cuerpos subvolcánicos andesíticos del Jurásico medio (Formación Cerro León) (Jovic. 2010).

Un reciente cálculo de recursos, donde fueron consideradas 8 vetas del proyecto Pingüino, asignó como recursos indicados e inferidos unos 28,36 millones de onzas de plata equivalente (Ag y Au). Considerando estos valores, la veta Tranquilo, objetivo de este estudio, aporta aproximadamente un 12% del total de onzas de plata equivalente del proyecto (www.argentexmining.com).

El presente trabajo detalla la evolución de los eventos mineralizantes del sector de interés económico (veta Tranquilo) dentro de la estructura regional El Tranquilo, a partir de la caracterización detallada de las paragénesis y mineralogías, tanto en zona oxidada como en la primaria, de todos los eventos de mineralización.

2. VETA TRANQUILO

La falla El Tranquilo es una estructura regional con una actitud N325°/80°NE que en superficie tiene una potencia superior a los 20 m. Está representada por un crestón de

11 km de largo con una morfología lineal y el desarrollo de lentes irregulares a lo largo de su traza (Fig.1B). Su composición general es una brecha con matriz rica en óxidos de Mn y Fe, con clastos de roca de caja muy silicificados y con algunos sectores mineralizados con cuarzo, sulfuros y óxidos de Fe y Cu. Uno de estos sectores mineralizados corresponde a la veta Tranquilo, la cual tiene poca expresión superficial por encontrarse en parte cubierta por sedimentos modernos

3. RELACIONES TEXTURALES Y MINERALÓGICAS

A partir del estudio de testigos de perforaciones se pudieron determinar las relaciones de corte, que permitieron discriminar seis pulsos de precipitación para la veta Tranquilo. El primer pulso (S) representa precipitación dominante de sulfuros, el segundo (Q1), tercero (Q2) y cuarto (Q3) están caracterizados por la precipitación de cuarzo y carbonatos, el quinto pulso (TH) representa una brecha tectónica-hidrotermal y finalmente el sexto pulso (MN) es una brecha con relleno de óxidos de manganeso.

3.1. Pulso S

Este pulso se presenta frecuentemente como clastos de fragmentos de veta de relleno, dominadas por sulfuros de metales base. Los minerales reconocidos, en la zona de oxidación, han sido limonita, hematita botroidal y relictos de pirita en granos muy finos. Se identificó plata nativa y clorargirita como minerales portadores de plata. Dentro de la zona primaria, el mineral más abundante es la pirita en forma de cristales euhedrales, y la calcopirita, con digenita y calcosina en los bordes. Han sido identificados, asociados a la pirita y la calcopirita, escasos cristales de marcasita y

arsenopirita. Algunos clastos exhiben también esfalerita rica en hierro, galena, bornita, tetraedrita-tennantita y covelina. La esfalerita presenta intercrecimiento con pequeños cristales de calcopirita (*sphalerite disease*). Como mineral portador de plata se ha reconocido pequeños cristales de argentita, sin embargo otros potenciales portadores podrían ser la tetraedrita-tennantita y la galena.

3.2. Pulso Q₁

El pulso Q₁ en la veta Tranquilo es poco frecuente. Solo ha sido identificado en dos pozos y se presenta también como clastos dentro de los pulsos Q₂ o Q₃.

Este pulso está compuesto por cuarzo gris sacaroides con sulfuros y óxidos de hierro. El cuarzo se presenta como cristales subhedrales de hasta 0,5 cm, rodeados por cristales de cuarzo elongados finos y con bordes sinuosos.

3.3. Pulso Q₂

El pulso Q₂ es ubicuo en la veta Tranquilo. Contiene clastos del pulso S, Q₁ y es cortado por vetillas y vetas del pulso Q₃ (Fig. 2 A, B y C). Está constituido por bandas de cuarzo y carbonatos con textura crustiforme, cocardas y coloformes (Fig. 2B y C). Las bandas de cuarzo presentan diferentes distribuciones de tamaño de cristales. Los carbonatos presentes son siderita y rodocrosita, y presentan texturas bandeadas crustiformes. En las bandas de cuarzo se reconocieron texturas masivas, microcristalinas y plumosas. Dentro de este pulso han sido reconocidas microbrechas con cemento carbonático y finas vetillas de calcita tardías.

3.4. Pulso Q₃

El pulso Q₃ está conformado por cuarzo blanco grueso, con cristales de hasta 5 cm, con textura en peine y frecuente formación de geodas. Este pulso también se presenta como cemento de brechas, con clastos subredondeados de Q₂ y de roca de caja.

3.5. Pulso TH

El pulso TH es una brecha que presenta clastos de roca de caja, de los pulsos S, Q₂ y Q₃, y que por encima del nivel de oxidación es cortado por finas vetillas de óxidos de

manganeso. Se reconocieron al menos dos episodios de brechamiento en este pulso.

El primero (TH₁) es clasto soportado con clastos angulares a subredondeados de textura seriada. El cuarzo presenta hábito prismático radiado y en algunos cristales se ha reconocido extinción ondulosa. Los minerales opacos se presentan brechados en rompecabezas con cemento de cuarzo o carbonato. Los clastos de roca de caja son gruesos (alcanzan hasta varios centímetros) y presentan morfologías subredondeadas. La matriz de la brecha presenta una foliación difusa, generada posiblemente por disolución por presión de los minerales opacos alrededor de clastos de roca de caja. Asimismo han sido reconocidas delgadas bandas con evidencias de intensa cizalla (Fig. 2D).

El segundo episodio (TH₂) contiene clastos de la TH₁, es matriz soportada con granulometrías muy finas. Los clastos cuarzosos y carbonáticos de Q₂ son mucho menos frecuentes que en TH₁. La matriz clástica es cementada con escasos carbonatos. Vetillas de cuarzo menores a 1 cm cortan a la brecha.

3.6. Pulso MN

Este pulso es tardío, ha sido reconocido principalmente sobre el nivel de oxidación. Está constituido como vetillas, *stockwork* y brechas con clastos angulosos y una amplia distribución del tamaño de clastos. Ocasionalmente fueron reconocidos clastos con fracturas en rompecabezas (Fig. 2E). El tamaño de los clastos es grueso, son comunes los cristales de cuarzo monominerales o agregados conformando mosaicos equidimensionales mayores a 2 cm. El cemento de la brechas está compuesto por precipitación masiva de óxidos de hierro-manganeso, aunque ocasionalmente se presentan algunas bandas botroidales de óxidos de hierro en los espacios abiertos.

4. DISCUSION

El pulso con mayor proporción de minerales de mena es el pulso S. Este pulso presenta evidencias de relleno de espacios abiertos, pero se presenta siempre como clastos en

pulsos posteriores de cuarzo, principalmente en el Q₂ y en menor medida en Q₃ y TH. El pulso S presenta variaciones de acuerdo a su posición respecto al nivel de oxidación. Por encima, los sulfuros se encuentran mayormente oxidados y la plata se encuentra en forma nativa, o formando clorargirita. Estos sectores es donde se encuentra una proporción más importante de minerales de Ag, posiblemente asociado a niveles de enriquecimiento secundario. Por debajo del nivel de oxidación la plata se presenta como argentina, y potencialmente en la tetraedrita-tennantita y en la galena. Es importante señalar que este pulso presenta también minerales de cobre, como calcopirita, calcosina, digenita, bornita y covelina.

El pulso Q₂ presenta evidencias texturales de relleno de espacios abiertos, sin embargo es frecuente que este pulso contenga algunos clastos de pulsos anteriores, fundamentalmente del S y de Q₁. Esto puede ser indicativo de episodios donde la energía del fluido hidrotermal aumentó lo suficiente para generar y transportar fragmentos de pulsos previos. La génesis de la textura crustiforme puede ser explicada mediante sucesivas y repetitivas liberaciones de presión produciendo disequilibrios físico/químicos en el fluido, produciendo así la precipitación (Dong *et al.* 1995).

El pulso Q₃ representa la precipitación a partir de un fluido saturado en sílice, la presencia de texturas en peine y las geodas son indicativas de precipitación en espacios abiertos en ambientes estables. Las texturas de los pulsos Q₂ y Q₃ sugieren la ausencia de esfuerzos tectónicos durante la precipitación (Chauvet *et al.* 2006).

El pulso TH representa al menos dos episodios de brechamiento. El TH₁ contiene clastos de S y de roca de caja con fracturas en rompecabezas y relleno de cuarzo, indicando fracturación hidrotermal (Hedenquist *et al.*, 2000; Lorileux *et al.*, 2002), o fracturación asistida por fluidos (Chauvet *et al.* 2006). La fracturación asistida por fluidos puede ser generada por: (a) el sellado de la permeabilidad por cementación o (b) movimientos tectónicos (Lorileux *et al.* 2002). Pueden considerarse evidencias de procesos tectónicos la disolución por presión, la extinción ondulosa del cuarzo (Passchier y

Trouw 2005) y la atrición y rotación de clastos. Las brechas tectónicas están caracterizadas por presentar clastos angulosos, fragmentos rotados y amplia distribución del tamaño de grano (Jébrak, 1997).

La TH₂ exhibe una mayor relación matriz/clastos y la geometría de los clastos es subangular a subredondeadas, lo que sugiere una mayor madurez de la brecha. La redondez de los clastos debido a la atrición y a la abrasión, conlleva a una matriz muy fina (*gouge*).

Teniendo estos factores en consideración se propone una yuxtaposición de procesos tectónicos e hidrotermales para generar el pulso TH. El pulso MN presenta predominantemente texturas en rompecabezas, lo que sugiere un origen por fracturación hidrotermal.

5. CONCLUSIONES

En la veta Tranquilo han sido reconocidos seis pulsos de precipitación mineral, siendo el primero (S) el principal portador de los minerales de plata cuyos contenidos más importantes posiblemente se asocien con niveles de enriquecimiento secundario. Este pulso, predominantemente polimetálico, se corresponde con el evento jurásico inferior de mineralización, relacionado con las dioritas de la Fm. La Leona.

Las evidencias texturales permitieron establecer la evolución y los procesos que ocurrieron en la veta posteriormente al pulso S. De esta forma, se han interpretado procesos donde primó la extensión pura (Q₂-Q₃) relacionada con el evento cuarzoso del Jurásico medio (Fm. Cerro León), y posteriormente procesos que combinan elementos tectónicos-hidrotermales y que producen brechamiento (TH-MN).

Conocer la evolución y los procesos que operaron sobre la veta, genera un modelo de crecimiento de veta que tiene una importancia exploratoria, permitiendo extrapolar estas conclusiones a otros sectores de la falla El Tranquilo y/o vetas con similares características dentro del proyecto Pingüino.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Barton, P. & Bethke, P., 1987. Chalcopyrite disease in sphalerite: pathology and epidemiology. *American Mineralogist*, 72, pp.451-467.

Chauvet, A. et al., 2006. Internal vein texture and vein evolution of the epithermal Shila-Paula district, southern Peru. *Mineralium Deposita*, 41(4), pp.387-410.

Dong, G., Morrison, G. y Jaireth, S., 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland; classification, origin and implication. *Economic Geology*, 90(6):1841.

Hedenquist, J.W., Arribas, R. & others, 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, 13(1), pp.245-277.

Jébrak, M. 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: a review of

mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews* 12, 111-134.

Jovic, S. M. 2010. Geología y Metalogénesis de las mineralizaciones polimetálicas del área El Tranquilo (Cerro León), sector central del Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. 1ª ed. Editorial de la Universidad de La Plata (EDULP), La Plata. 278 p.

Lorilleux, G., Jébrak, M., Cuney, M., Baudemont, D., 2002. Polyphase hydrothermal breccias associated with unconformity-related uranium mineralization (Canada): from fractal analysis to structural significance. *Journal of Structural Geology* 24, 323-338.

Passchier, C. W., and R. A. J. Trouw. 2005, *Microtectonics*, 2nd ed., 366 pp., Springer, Berlin.

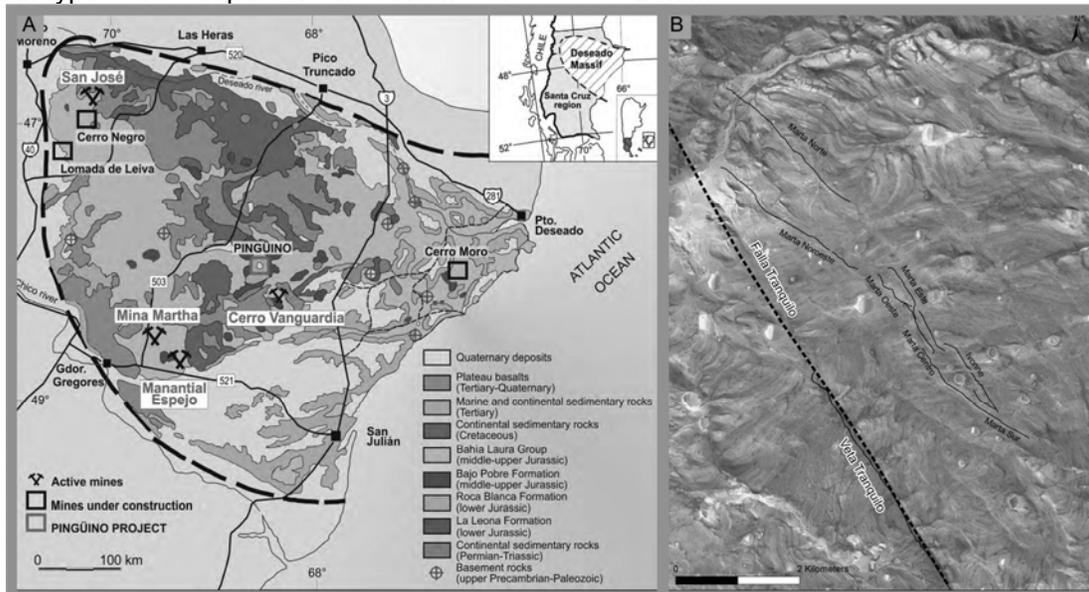


Fig. 1 A. Mapa geológico simplificado del Macizo del Deseado, se destaca la localización de las minas activas, en construcción y el proyecto Pingüino. B. Mapa de las principales vetas del proyecto Pingüino, las cuales fueron consideradas para el cálculo de recursos.

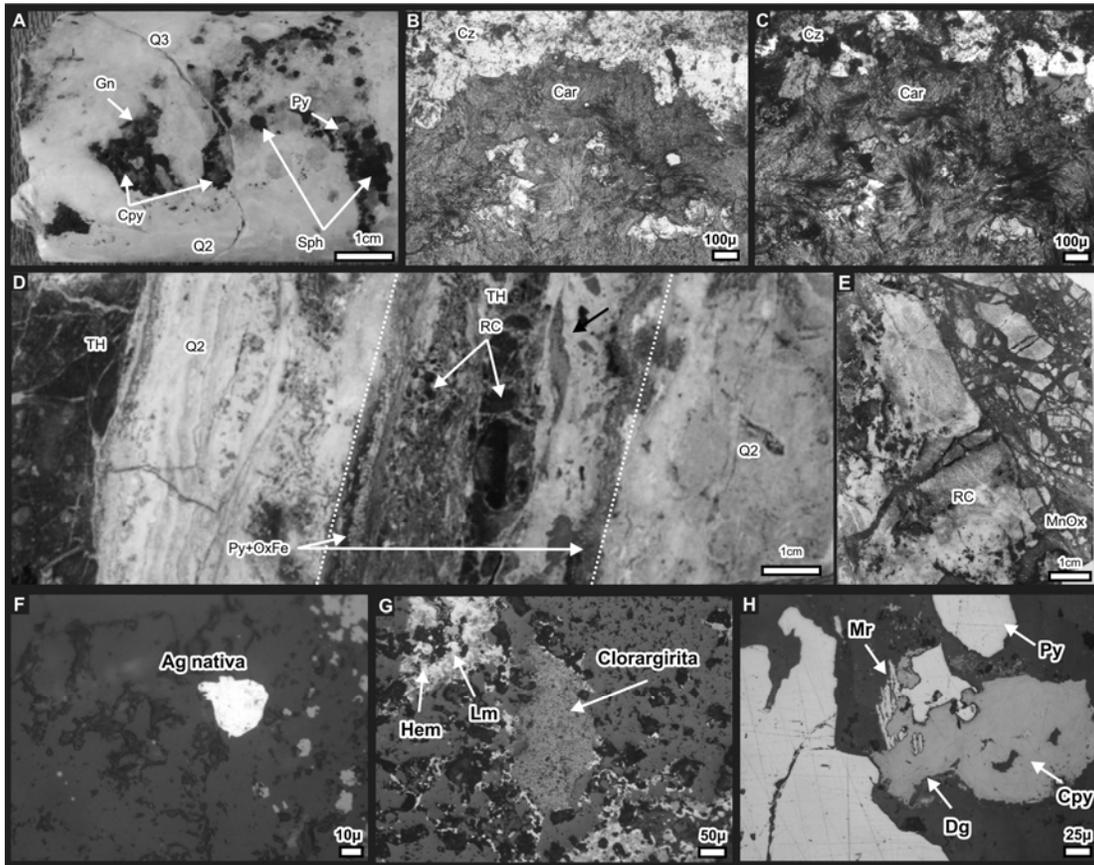


Fig 10. A. Brecha con relleno del pulso Q₂ y Q₃, con clastos del pulso S con pirita (Py), esfalerita (Sph), galena (Gn) y calcopirita (Cpy). B. Bandeado crustiforme de cuarzo-carbonato del pulso Q₂ con nicoles paralelos. C. Idem B con nicoles cruzados. D. Banda de cizalla del pulso TH cortando bandeados de Q₂. La brecha de TH contiene abundantes clastos de roca de caja, sigmoides (flecha negra) y sulfuros. E. Brecha en rompecabezas con relleno de óxidos de Mn y clastos de roca de caja. F. Cristal de plata nativa en la zona oxidada. G. Clorargirita asociada a hematita y limonita en la zona oxidada. H. Mineralogía de la zona primaria, con pirita (Py, marcasita (Mr), calcopirita (Cpy) rodeada de digenita (Dg).