

Características metalogenéticas de la veta Buena Vista, distrito minero Andacollo, Neuquén, Argentina

Agustina PONS¹, María Celeste D'ANNUNZIO¹, Leonardo STRAZZERE^{1,2} y María Agustina CÓCOLA^{1,2}

¹Universidad Nacional del Sur- Departamento de Geología. San Juan 670, Bahía Blanca.

²INGEOSUR- (CONICET- UNS)

E-mail: aagustinapons@gmail.com

Editor: Mónica López de Luchi

RESUMEN

El distrito minero Andacollo está ubicado al SO de la localidad homónima, en la provincia de Neuquén. Se reconocen en el área un conjunto de vetas epitermales con mineralización de Ag ± Au aflorantes en el cerro Las Minas. La veta Buena Vista, motivo del presente trabajo, presenta un rumbo NE-SO, una longitud de 250 m y un espesor promedio de 3,5 m. La roca de caja corresponde a volcánicas con grados variables de alteración hidrotermal. La asociación de alteración en la zona de contacto con la veta está compuesta por cuarzo+sericita (± clorita ± pirita), mientras que en las zonas más alejadas está formada por clorita+minerales arcillosos (± calcita ± pirita). Según las relaciones estratigráficas, la edad de la veta es pre-Carbonífero Superior. La veta está formada por cinco pulsos de relleno hidrotermal entre los que se identificó un evento mineralizante (cuarto pulso) compuesto por pirita, galena, esfalerita, calcopirita, marcasita, argentita y electrum. Desde la superficie hacia los niveles más profundos estudiados se reconoce una disminución del contenido de sulfuros y un simultáneo aumento en el contenido de electrum, zonación que no coincide con la propuesta por otros autores para este tipo de yacimiento. Los fluidos del tercer pulso, presentan temperaturas mínimas de entrapamiento entre 210 y 278°C y salinidad promedio de 1,37% NaCl eq. Si bien no fue posible caracterizar micro-termométricamente los fluidos del evento mineralizante, se estima que las salinidades y temperaturas pudieron haber sido similares o levemente menores al del pulso analizado.

Palabras clave: *Depósito epitermal, zonación vertical, metales preciosos, dilución, enfriamiento simple.*

ABSTRACT

Geological characterization of the Buena Vista vein, Andacollo mining district, Neuquén, Argentina.

The Andacollo mining district is located on the southwest of the town of the same name in Neuquén province. A set of epithermal veins with mineralization of Ag ± Au are recognized on Cerro Las Minas. This paper deals with the NE-SW trending Buena Vista vein that is 250 m in length with an average width of 3.5 m. Wall-rocks of this vein are volcanic rocks with varying degrees of hydrothermal alteration. The hydrothermal alteration paragenesis of the wall-rock at the contact with the vein is composed of quartz + sericite (± chlorite ± pyrite) whereas far from the vein it is composed of chlorite + clays (± calcite). The vein is formed by five pulses of hydrothermal filling. The mineralizing event (fourth pulse) is composed of pyrite, galena, sphalerite, chalcopyrite, marcasite, argentite, and electrum. From the surface to the deeper studied levels, silver content decreases, while sulfides and electrum increase. The fluids of the third pulse had minimum temperatures between 210 and 278°C and an average salinity of 1.37% wt. NaCl eq. Although it is not possible to micro-thermometrically characterize the fluids of the mineralizing event according to the paragenetic diagram, it is estimated that the salinity and temperatures are considered as similar or lower than for the third pulse.

Keywords: *Epithermal deposit, vertical zoning, precious metals, dilution, simple cooling.*

INTRODUCCIÓN

El Distrito Minero Andacollo está ubicado en el sector noroeste de la provincia de Neuquén, 2 km al oeste de la localidad homónima (Fig. 1a). El conjunto de mine-

ralizaciones vetiformes de Au-Ag aflorante en el cerro Las Minas está desarrollado en sistemas con rumbos y composiciones mineralógicas diferentes (Strazzere *et al.* 2016, D'Annunzio *et al.* 2016). El sistema con rumbos NE-SO (N45° a N60°) y NO-

SE (N320° a N330°), está constituido por vetas de cuarzo con escasa cantidad de sulfuros. En superficie, estas estructuras mineralizadas forman cuerpos de cuarzo masivo que sobresalen de la superficie, alcanzando de 2 a 5 m de espesor prome-

dio y espesores máximos de 8 m. Generalmente se extienden por más de 300m y pueden alcanzar hasta 1700m de corrida. Las vetas más importantes que forman este sistema son Buena Vista, San Pedro, San Pablo, San Pedro Norte y Don Fernando (Strazzere *et al.* 2016) (Fig. 1b). El sistema de vetas con rumbo E-O (N70°a N90°), está formado por vetas ricas en sulfuros que constituyen afloramientos irregulares. Su morfología en superficie está caracterizada por la presencia de sombreros de hierro, texturas tipo *boxwork*, limonitas y arcillas. Estas vetas están constituidas por pirita, calcopirita, galena, esfalerita y oro en ganga de cuarzo y forman parte de los sistemas Sofía- Julia- Valencia-Sofía Este y Constancia- Carlos Lamarca (D'Annunzio *et al.* 2016).

La veta Buena Vista se encuentra en el sector central del cerro Las Minas y forma parte del sistema de vetas con rumbo NE-SO (Fig. 1 b). La importancia de estudio de esta veta radica en que actualmente está siendo explotada y constituye una de las principales reservas de plata del distrito, sumando 20.500 t con una ley media de 5,9 g/t de Au y 248 g/t de Ag (Mclsaac *et al.* 2017).

El presente trabajo tiene como objetivo realizar la caracterización metalogénica de la veta Buena Vista, clasificar la roca de caja determinando la alteración hidrotermal que la afecta, la secuencia paragenética de mena, las condiciones físico-químicas de los fluidos hidrotermales y la zonación vertical de los minerales opacos presentes en la veta.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El área de estudio está ubicada en el extremo suroccidental de la Cordillera del Viento, donde se han reconocido dos períodos de actividad magmática (Llambías y Sato 2011): uno carbonífero y otro pérmico-triásico, ambos separados por la fase orogénica San Rafael. La primera actividad magmática estuvo asociada a un ambiente extensional de retroarco (Danieli *et al.* 2011, Ramos *et al.* 2011) que dio lugar a un arco volcánico a los ~328 Ma (Suárez y Etchart 2008), y que generó durante el Carbonífero temprano sucesivos eventos

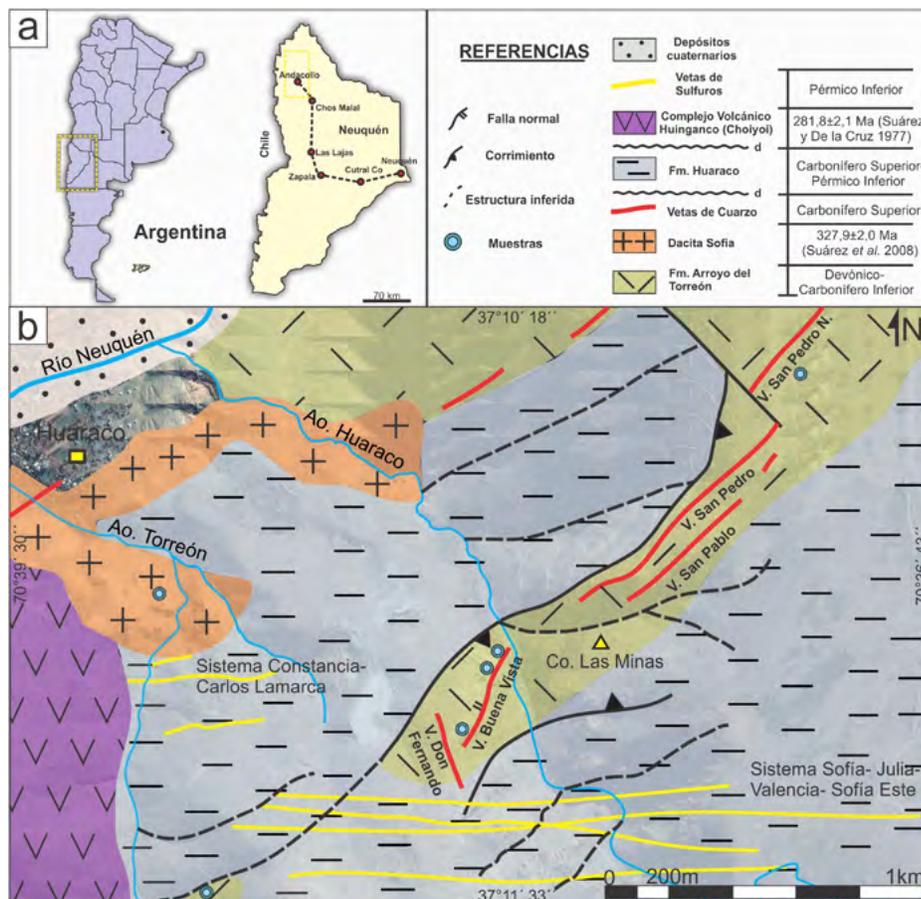


Figura 1. a) Ubicación geográfica del Distrito Minero Andacollo; b) Mapa geológico del área de estudio. Modificado de Strazzere *et al.* (2017).

piroclásticos pertenecientes a la Formación Arroyo del Torreón (Méndez *et al.* 1995). Este régimen tectónico favoreció el emplazamiento de los cuerpos subvolcánicos conocidos como Dacita Sofía (Suárez *et al.* 2008). La fase diástrófica San Rafael, atribuida al Pérmico temprano, provocó un intenso fallamiento y plegamiento de rumbo ONO y vergencia al SSO de las unidades carboníferas (Giacosa *et al.* 2014). El inicio del ciclo orogénico Andino estuvo vinculado a un período de relajación de esfuerzos, representado por el Complejo Volcánico-Plutónico Huiganco, que es considerado como equivalente a la provincia volcánica-plutónica Choiyoi (Llambías 1986, Llambías y Sato 1995, Suárez y De la Cruz 1997, Sato *et al.* 2008).

GEOLOGÍA LOCAL

La unidad más antigua del área corresponde a la Formación Arroyo del Torreón (Fig. 1 b). En base a las relaciones estra-

tigráficas establecidas por Zöllner y Amos (1973) se considera de edad carbonífera inferior, aunque Rovere *et al.* (2004) no descartan la posibilidad de una edad devónica. Está compuesta por mantos de rocas piroclásticas de color pardo a gris claro (Fig. 2 a) que tienen un aspecto principalmente macizo y localmente presentan estratificación difusa. No tienen base aflorante, por lo que su espesor mínimo estimado es de 1.500 m (Zöllner y Amos, 1973). Corresponden a tobas lapillíticas cristalinas de composición dacítica, a tobas lapillíticas líticas de composición riolítica y a tobas lapillíticas con textura eutaixítica de composición riolítica (Fig. 2 b-d). Intruyendo a la Formación Arroyo del Torreón se reconocen reducidos afloramientos de cuerpos subvolcánicos de composición riodacítica a riolítica (D'Annunzio y Strazzere 2019) pertenecientes a la Dacita Sofía (Fig. 1 b), de edad carbonífera media (327,9±2,0 Ma, datación U-Pb en circones, Suárez *et al.* 2008). Microscópicamente presenta una textura porfírica

compuesta por fenocristales orientados dando un aspecto fluidal, inmersos en una pasta felsítica integrada por vidrio volcánico con texturas de desvitrificación del tipo esferulítica. Los fenocristales son de plagioclasa (45%), cuarzo (30%), feldespato alcalino (20%) y biotita (5%), con apatito y circón como minerales accesorios. También se reconoce una incipiente alteración caracterizada por la presencia de carbonatos, clorita y epidoto.

En discordancia angular y erosiva sobre las unidades anteriormente mencionadas se dispone la Formación Huaraco (Zöllner y Amos 1955), compuesta por lutitas, arcillitas, areniscas cuarzosas y conglomerados portadores de rodados de vetas y volcanitas. La unidad supera los 800 m de espesor (Strazzere *et al.* 2017) y está acotada al Carbonífero superior por la presencia de invertebrados marinos (braquiópodos) y plantas fósiles de la flora Rhacopteris (Zöllner y Amos 1955, 1973, Amos 1972, Archangelsky y Arrondo 1966).

El Complejo volcánico-plutónico Huinanco (Llambías *et al.* 2007) está compuesto por volcanitas, que se apoyan en discordancia angular sobre las rocas carboníferas y diques y stocks asignables al Granito de Huinanco, que cortan a las unidades más antiguas (Strazzere *et al.* 2017). Una datación K-Ar sobre biotitas magmáticas de la granodiorita del Granito de Huinanco, arrojó una edad mínima de enfriamiento de 287 ± 9 Ma para los cuerpos intrusivos (Suárez y De la Cruz 1977) y una edad U-Pb SHRIMP de $281,8 \pm 2,1$ Ma para las volcanitas (Suárez *et al.* 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio de la veta Buena Vista se realizó en 4 niveles a diferentes cotas (entre 1325 y 1178 m.s.n.m.) a partir del trabajo de campo, estudios petro-calcográficos, catodoluminiscencia, petrografía y microtermometría de inclusiones fluidas. Las técnicas analíticas empleadas fueron realizadas en laboratorios del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur.

Los estudios petro-calcográficos se realizaron sobre 15 muestras correspondientes a los afloramientos de la roca de caja, el pórfido dacítico y la veta Buena Vista. Se utilizaron microscopios ópticos

de transmisión y reflexión equipados con cámara fotográfica digital Zeiss Axio-lab-Axiocom ICC3.

Los estudios de catodoluminiscencia (CL) se aplicaron en 6 muestras calcográficas y se llevaron a cabo con un microscopio Nikon Eclipse 50i con acople de equipo CL8200 Mk5-2.

Los estudios petrográficos efectuados sobre las cuatro secciones bipulidas, permitieron caracterizar la forma, disposición y las relaciones líquido/vapor de las inclusiones fluidas (IF) conforme al criterio de Roedder (1984). La mineralización se encuentra asociada al cuarzo IV ($< 50 \mu\text{m}$), en el cual no fue posible identificar IF. Por este motivo se estudiaron las IF en cristales de cuarzo III, que es el mineral ade-

cuado más cercano temporalmente al pulso mineralizante. La microtermometría se realizó únicamente sobre las IF primarias, con una platina de calentamiento-enfriamiento Linkam MDS 600 instalada sobre un microscopio petrográfico Olympus BX 50. Las salinidades (% en peso de NaCl equivalente) se calcularon a partir de los valores obtenidos para la temperatura final de fusión del hielo (Tf) de cada IF según la hoja de cálculo HockieFlincs_H₂O-NaCl (Steele-MacInnis *et al.* 2012).

VETA BUENA VISTA

Petrografía de la roca de caja

La roca de caja de la veta Buena Vista

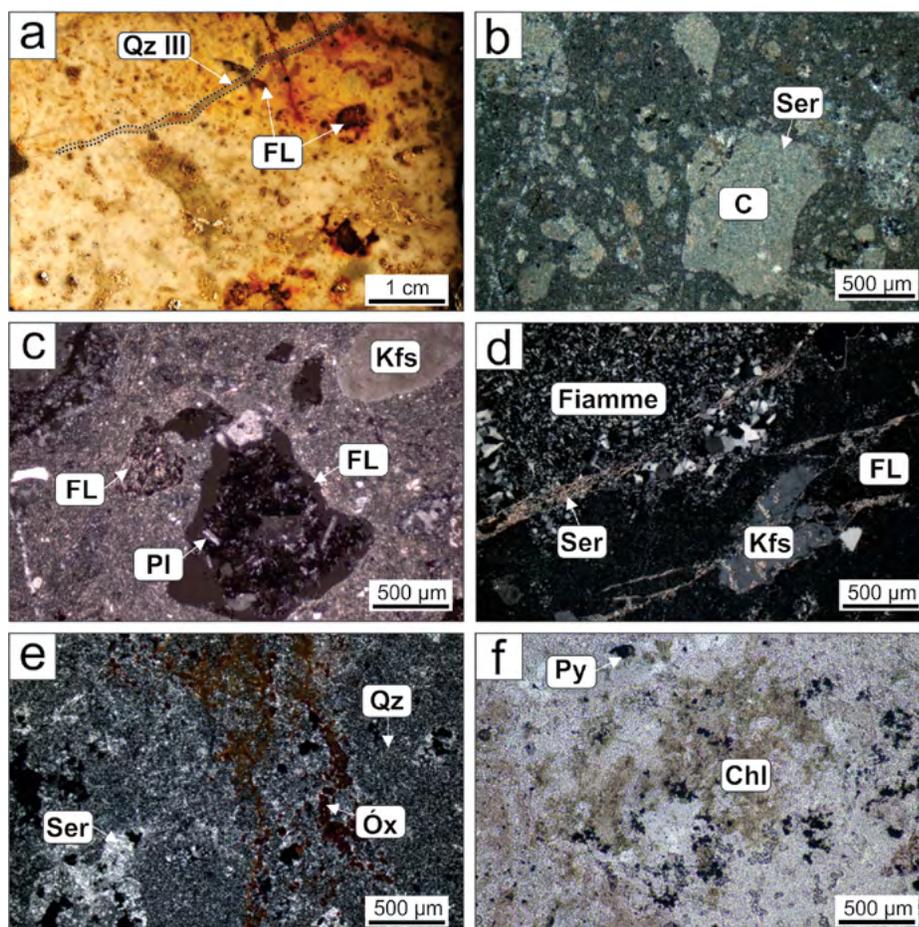


Figura 2. a) Muestra de mano de la formación Arroyo del Torreón, mostrando las tobas lapilíticas silicificadas; b-e) Fotomicrografía con luz transmitida con polarizador de muestras representativas de la Formación Arroyo del Torreón; b) Textura porfiroclástica de la toba de cristales. Los cristaloclastos (C) están completamente reemplazados por sericita; c) Toba lítica con fragmentos de areniscas (FL) y volcanitas básicas (FL) que contienen plagioclasa (Pl). Se observan también cristaloclastos de feldespato potásico (Kfs). d) Toba con textura eutaxítica, con cristaloclastos de feldespato potásico y venillas de sericita (Ser). Fiamme reemplazado por cuarzo, sericita y calcita. Fragmentos líticos de areniscas (FL) y cristaloclastos de feldespato potásico (Kfs). e) Silicificación (Qz), sericitización (Ser) y oxidación (Ox) en los sectores próximos a la veta. f) Microfotografía con luz transmitida sin polarizador donde se observa cloritización (Chl) asociada a cristales de pirita (Py) diseminados en la pasta de la roca.

está formada por tres tipos de tobas lapillíticas atribuibles a la Formación Arroyo del Torreón: tobas cristalinas de composición dacítica, tobas líticas de composición riolítica y tobas con textura eutaxítica de composición riolítica.

Las tobas cristalinas presentan una textura porfiroclástica formada por cristaloclastos, litoclastos, vitroclastos y minerales opacos inmersos en una matriz constituida por vidrio volcánico alterado (Fig. 2 b). Los cristaloclastos de feldespato constituyen el 60% de la roca, exhiben un hábito subhedral con bordes rectos. Los litoclastos están formados por fragmentos alterados de una roca volcánica y por fragmentos accidentales de cuarzos finos, lutitas y metamorfitas esquistosas. Los vitroclastos se encuentran escasamente representados. Los minerales opacos corresponden a piratas (0,1 a 0,5 mm).

Las tobas líticas, presentan una textura porfiroclástica, en la cual los litoclastos son en general muy abundantes (60%), de tipo accidental y presentan variadas composiciones, siendo las más comunes de areniscas, lutitas y andesitas (Fig. 2 c). Los cristaloclastos se encuentran en menor proporción (25%). Cuarzo y feldespato potásico son los minerales que se encuentran mejor representados (20%), seguidos por plagioclasa (3%) y biotita (2%). Los vitroclastos (15%) se disponen al azar dentro de la matriz tobácea.

Las tobas con textura eutaxítica, están compuestas por *fiammes* (40%), cristaloclastos (30%), litoclastos (20%) y vitroclastos (10%) (Fig. 2 d). Los cristaloclastos más abundantes son de feldespato alcalino (20%) y cuarzo (10%), están microfracturados y se distribuyen de manera homogénea dentro de la matriz. Esta misma distribución adoptan los litoclastos, que presentan bordes subredondeados y están constituidos por fragmentos accidentales de areniscas y lutitas. Los vitroclastos se encuentran como fragmentos de vidrio volcánico, los *fiammes* presentan morfologías ahusadas, desarrolladas principalmente en una sola dirección, indicando un fuerte soldamiento. Corresponden a fragmentos juveniles vesiculados achatados. **Alteración hidrotermal:** la alteración hidrotermal que afecta las rocas de caja está representada por dos asociaciones minerales. La primera de ellas se reconoce en

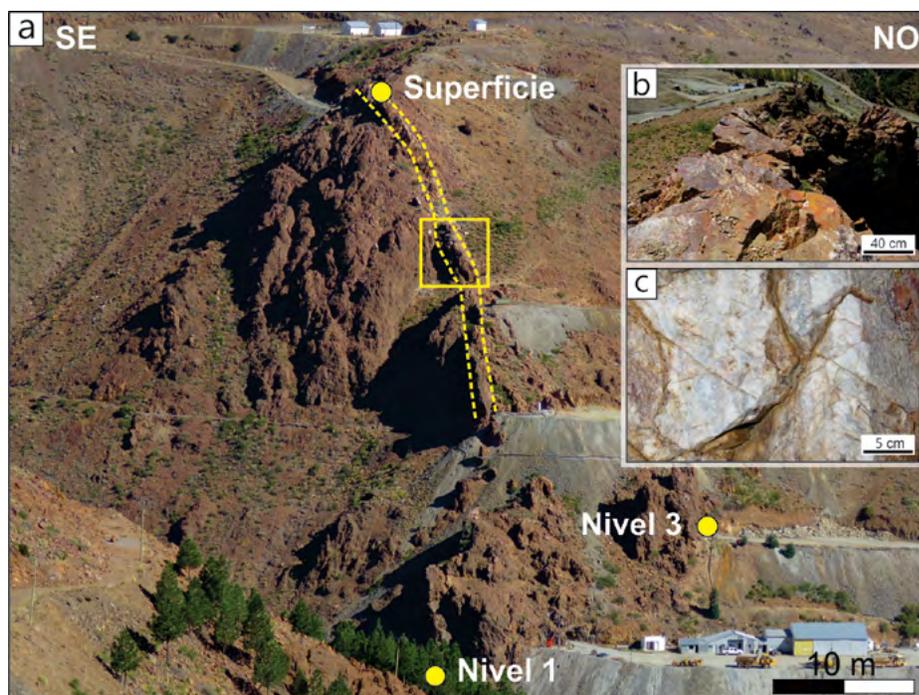


Figura 3. Fotografías de la veta Buena Vista: a) Tomada hacia el SO, mostrando los distintos niveles que cortan a la estructura mineralizada y el sector con 7 m de espesor (recuadro). El nivel más profundo (1178 m) no se muestra en la imagen debido a que es una labor interior mina; b) Tomada hacia el NO mostrando las variaciones del rumbo de la veta; c) Textura bandeada de la veta.

las rocas en contacto con la veta y está compuesta por cuarzo + sericita (\pm clorita \pm pirita) (Fig. 2 e), mientras que la segunda asociación de alteración se encuentra a mayor distancia, se extiende por cientos de metros y está compuesta por clorita + minerales arcillosos (\pm calcita \pm pirita) (Fig. 2 f).

En contacto con la veta, la matriz de las rocas de caja suele estar totalmente reemplazada por cuarzo y sericita. La silicificación además, constituye el relleno de los *fiammes* desvitrificados y se presenta como un abundante vetilleo. Las vetillas miden hasta 1 mm de espesor y están formadas por cuarzo con texturas en mosaico y en peine. La sericitización es selectivamente penetrante de intensidad moderada y está espacialmente vinculada a la silicificación. La sericita, se halla como nidos dentro de la matriz, como reemplazo total de cristaloclastos (feldespato) y vitroclastos y como relleno de *fiammes* desvitrificados. La cloritización es suave, se presenta como una fase típica de reemplazo de biotita y también se halla distribuida en la matriz de las rocas volcánicas asociada espacialmente a pirita. Los minerales arcillosos se asocian espacialmente a cal-

cita formando parches en la matriz de las rocas y reemplazan completamente a los vitroclastos. La carbonatización es suave y el estilo de la alteración es selectivo, ya que la calcita se encuentra reemplazando a los vitroclastos, como parches en la matriz y como relleno de *fiammes* desvitrificados. La pirita se encuentra como relleno de vetillas y *fiammes* desvitrificados. También se encuentra diseminada en la matriz de las rocas de caja, y se presenta como cristales de formas euhedrales a subhedralas cúbicas reemplazados parcialmente por "limonitas" y hematita.

Mineralización

La veta Buena Vista se encuentra relleno de una falla normal de rumbo NE-SO (N30°E a N45°E) e inclinación variable entre 50° y 70° al NO (Giacosa 2011). La veta desarrolla un patrón de afloramiento continuo, lo que permite seguirla a lo largo del rumbo por aproximadamente 250 m (Fig. 3 a, b). El espesor promedio en superficie es de 3,5 m, alcanzando 7 m de espesor máximo.

Macroscópicamente, la veta Buena Vista está compuesta por cuarzo masivo, de color blanco lechoso a grisáceo, aunque algu-

nas muestras presentan un bandeo difuso, donde intercalan bandas de cuarzo gris translúcido con cuarzo blanco (Fig. 3 c).

Secuencia paragenética

En base a los análisis petro-calcográficos y de catodoluminiscencia llevados a cabo en muestras de la veta Buena Vista y de acuerdo con las relaciones texturales establecidas entre los minerales presentes, se construyó la secuencia paragenética que se presenta en la figura 4.

Desde las paredes de la veta hacia el centro se identificaron 5 pulsos de relleno hidrotermal. El primer pulso está compuesto por cuarzo (cuarzo I) caracterizado por la presencia de texturas de recristalización. El cuarzo presenta un arreglo en mosaico de microcristales anhedrales (0,2 a 0,7 mm) donde los límites de los mismos son sinuosos y están interpenetrados. El segundo pulso está formado por venillas de cuarzo (cuarzo II) caracterizado por texturas de crecimiento primario en cristales con formas irregulares de 0,2 a 0,4 mm (Fig. 5 a). El tercer pulso está formado por venillas de cuarzo (cuarzo III) que cortan a los pulsos anteriores. Los cristales de cuarzo que las forman, son subhedrales (2 a 4 mm), presentan numerosas IF y no presentan evidencias de recristalización (Fig. 5 b).

El cuarto pulso está representado por la formación de brechas que afectan los pulsos antes mencionados. Los clastos de la brecha están constituidos por fragmentos subangulosos de cuarzo en los cuales es posible reconocer las texturas descritas en los pulsos anteriores (Fig. 5 c). No se reconoce en estas brechas la presencia de matriz clástica. El cemento de las mismas está formado por cuarzo microcristalino con textura en mosaico (cuarzo IV), pirita, galena, esfalerita, calcopirita, marcasita, argentita y electrum. Por las características mencionadas y siguiendo el criterio de Jébrack (1997), se han clasificado como brechas hidrotermales.

En muestra de mano los sulfuros aparecen conformando un agregado de grano fino (< 2 mm) de color negro en el que eventualmente se reconocen cristales de pirita (Fig. 6 a). Al microscopio se evidencia que el contenido de sulfuros primarios no supera el 6% y que aparecen como relleno de vetillas continuas de trayectorias sinuo-

sas y subordinadamente como cristales diseminados. La pirita es el sulfuro más abundante y forma cristales subhedrales a euhedrales cúbicos, que miden entre 50 y 500 µm. La marcasita constituye cristales anhedrales de 100 µm que reemplazan a los cristales de pirita (Fig. 6 b). Argentita y galena se encuentran espacialmente asociados, formando cristales anhedrales de hasta 400 µm (Fig. 6 c). Los cristales de electrum presentan formas anhedrales y tamaños menores a 10 µm (Fig. 6 d), se hallan principalmente como relleno de vetillas y en menor medida como inclusiones en galena y argentita. La esfalerita constituye cristales anhedrales que alcanzan los 500 µm, frecuentemente se halla formando texturas de exsolución tipo moteada con la calcopirita (Fig.6 e). La calcopirita se halla reemplazando a los cristales de galena y esfalerita.

Posterior a la mineralización se reconoció un quinto pulso formado por calcita dis-

puesta como relleno de vetillas y microfracturas que cortan los pulsos anteriores (Fig.6 g).

La alteración supergénica está representada por hematita y "limonitas" que reemplazan a los sulfuros primarios en superficie y por calcosina y covelina que se reconocen como reemplazo de la calcopirita en profundidad (Fig. 6 h).

Estudio de inclusiones fluidas

El estudio petrográfico realizado sobre las secciones bipulidas reveló la existencia de IF primarias, pseudo-psecundarias y secundarias. Las IF primarias, en general presentan una morfología regular elongada a irregular y diámetros entre los 10 y 30 µm. De acuerdo al número de fases presentes a temperatura ambiente, se determinó que las inclusiones primarias que predominan son las bifásicas (líquido + vapor), en las cuales la fase vapor ocupa entre el 10% y el 20% del volumen total de la inclusión.

CUADRO 1. Datos microtermométricos y de salinidad de las IF analizadas

Nivel	Cota	Rango de Th	Rango de Tf	Rango de salinidad
Superficie	1325	254,5 a 262,5 n=9	-2,9 a -0,5 n= 6	0,88 a 4,8 n= 6
Nivel 3	1243	210,2 a 254 n=8	-0,2 a 0,7 n= 7	0,35 a 1,22 n= 7
Nivel 1	1192	220,1 a 257,2 n=10	-1 a -0,3 n= 7	0,53 a 1,74 n= 7
Nivel 1178	1178	245,6 a 278 n=11	-2,1 a -0,1 n= 9	0,18 a 3,55 n= 9

Th: temperatura de homogeneización en °C; Tf: temperatura final de fusión de hielo en °C; salinidad en % en peso equivalente NaCl.

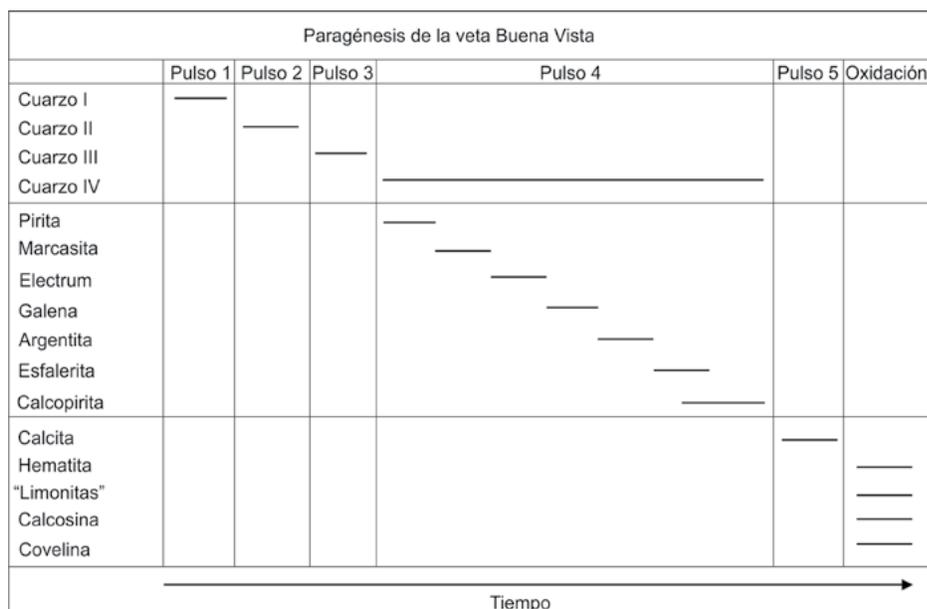


Figura 4. Secuencia paragenética de la veta Buena Vista

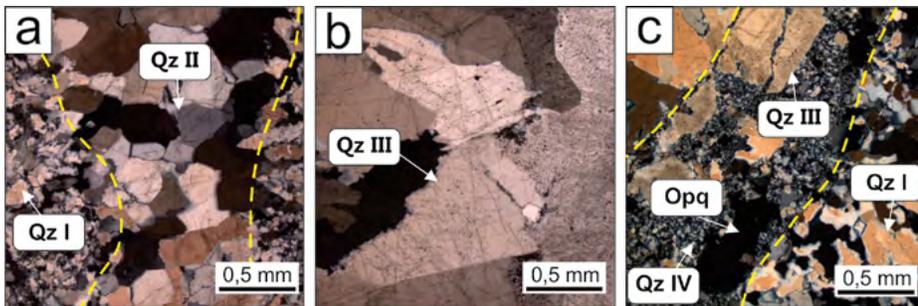


Figura 5. a-c) Fotomicrografía con polarizador. a) Cuarzo II con formas irregulares y dispuesto en venillas que cortan a cuarzo I; b) Cuarzo III con numerosas IF; c) Brecha hidrotermal con fragmentos de cuarzo cementados por cuarzo IV y sulfuros.

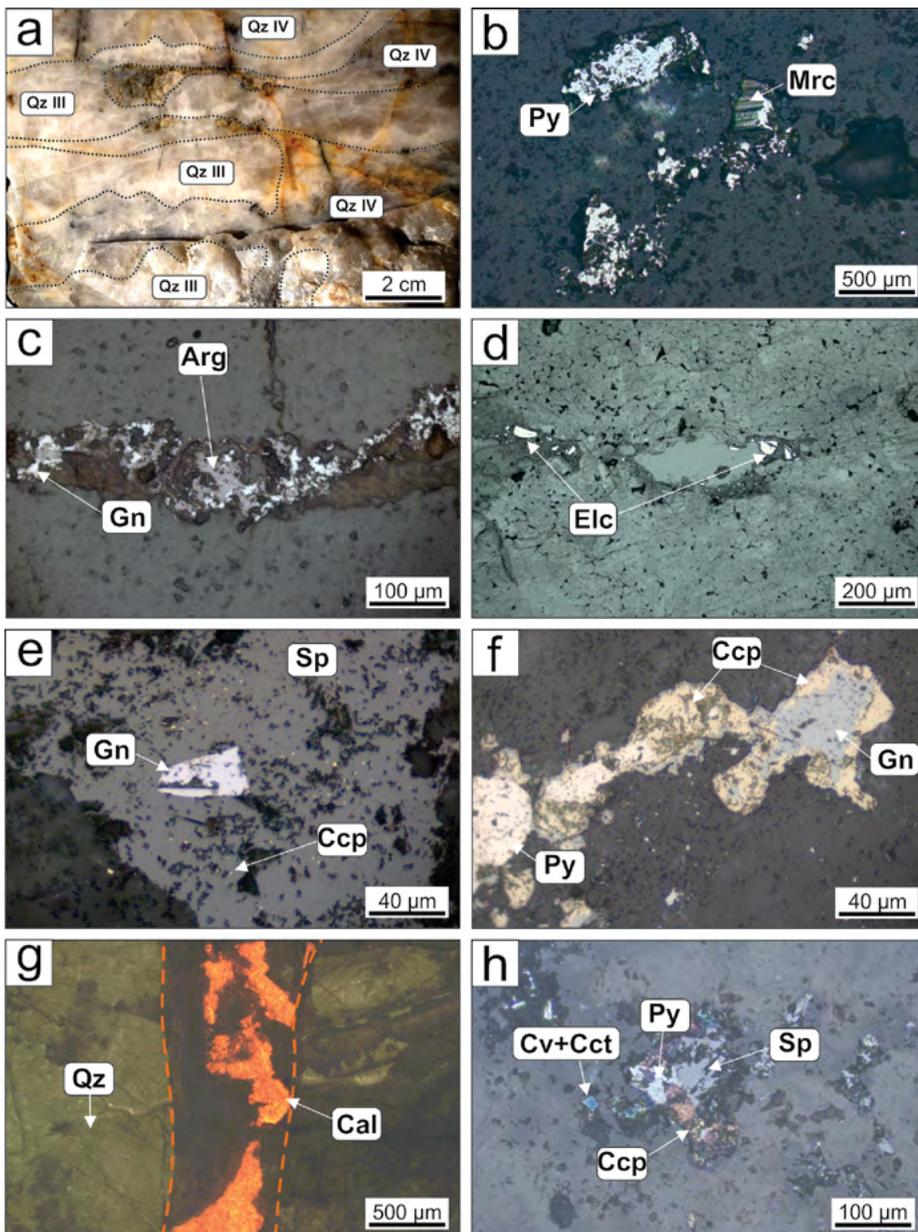


Figura 6. a) Muestra de mano de la veta Buena Vista donde se observan los pulsos III y IV; b-g) Fotomicrografías con luz reflejada: b) Pirita (Py) reemplazada pseudomórficamente por marcasita (Mrc); c) Galena (Gn) asociada a argentita (Arg); d) Cristales anhedrales de electrum (Ele) rellenando venillas; e) Reemplazo centripeto de galena (Gn) por esfalerita (Sp); f) Reemplazo centripeto de galena (Gn) por calcopirita (Ccp); g) Fotomicrografía de CL reflejando la calcita (Cal) tardía que rellena venillas; h) Pirita (Py) reemplazada por esfalerita (Sp) y calcopirita (Ccp). Covelina (Cv) y calcosina (Cct) reemplazan a calcopirita (Ccp).

Los resultados de las determinaciones microtermométricas se presentan en la tabla 1. Las temperaturas mínimas de homogenización (Th) obtenidas durante la etapa de calentamiento varían entre los 210°C y 278°C, aunque el 70% de los datos se ajusta a una moda en el rango 250-270°C. Todas las IF homogeneizaron a fase líquida. Con respecto a las temperaturas de fusión final de hielo (Tf), se obtuvieron valores entre los -2,9°C y -0,1°C, que corresponden a salinidades entre 4,8% y 0,18% NaCl eq. La temperatura del punto eutéctico no ha sido registrada debido al pequeño tamaño de las inclusiones.

Zonación Vertical

Como fue mencionado anteriormente, el estudio de la veta Buena Vista se realizó en 4 niveles que representan 147 m de desnivel. El primero de ellos corresponde a la superficie del terreno en la cota 1325 m.s.n.m, el nivel 3 a la cota 1243 m.s.n.m, el nivel 1 a la cota 1192 m.s.n.m y el nivel 1178 a la cota 1178 m.s.n.m. Este estudio a diferentes profundidades permite comparar la abundancia de los minerales y las características de los fluidos hidrotermales (en relación a su temperatura y salinidad) con el fin de evaluar la existencia de una posible zonación vertical dentro de la veta Buena Vista. En la tabla 2 se muestra un resumen de las características más relevantes.

En base a la estimación modal, pudo observarse que las muestras de superficie presentan una mayor cantidad de sulfuros respecto de los niveles más profundos. En el nivel 3 se reconoció la presencia de electrum como inclusiones en argentita y galena. En el nivel 1 están ausentes esfalerita y calcopirita y se reconoce marcasita como reemplazo de pirita. En el nivel 1178, tanto el contenido como el tamaño de los sulfuros es menor que en los niveles superficiales y se registra un sensible aumento en el contenido de electrum, que se dispone como relleno de venillas de trayectoria sinuosa.

Respecto de la temperatura la misma tiene una pequeña variación entre los niveles analizados pero no se reconoce un cambio respecto de la profundidad. Puede observarse que la salinidad es relativamente menor en el nivel 3.

DISCUSIÓN

La veta Buena Vista, así como las demás vetas de cuarzo de orientación NE- SO y NO- SE del distrito Minero Andacollo se alojan en la Fm. Arroyo del Torreón (Strazzere *et al.* 2017, 2016). Si bien no se cuenta con minerales adecuados para datar las menas, puede acotarse la edad de este evento mineralizante en base a las relaciones de campo y estratigráficas. La Fm. Arroyo del Torreón es intruida por la Dacita Sofía (U-Pb en circones de 327,9±2,0 Ma; Suárez *et al.* 2008) y por encima de ambas unidades se reconoce una discordancia angular y erosiva sobre la cual se deposita la Fm. Huaraco durante el Carbonífero tardío (Amos 1972). Estas relaciones ponen de manifiesto que la edad de la Formación Arroyo del Torreón es pre-Carbonífera temprana (Zöllner y Amos 1973) sin descartar la posibilidad de una edad devónica (Rovere *et al.* 2004). Por consiguiente, el evento mineralizante que forma las vetas NE-SO y NO-SE del Distrito Minero Andacollo, anterior a la depositación de la Formación Huaraco y por ende al Carbonífero tardío, podría estar relacionado con el emplazamiento de la Dacita Sofía.

La alteración hidrotermal de la roca de caja en la zona de contacto con la veta está compuesta por cuarzo y sericita con cantidades variables de clorita y pirita. En las zonas más alejadas de la veta prevalece la asociación clorita + minerales arcillosos ± calcita, con una extensión de hasta cientos de metros. Estas asociaciones de alteración podrían estar vinculadas a la circulación de fluidos neutros a levemente alcalinos con temperaturas superiores los 250°C (e.g., Simmons y Browne 2000). Los procesos supergénicos, promovidos por la acción de soluciones meteóricas descendentes (e.g., Camprubí y Albinson 2006), están representados por la oxidación de los sulfuros primarios en superficie y el reemplazo de calcopirita por calcosina y covelina en profundidad.

El análisis de la distribución y abundancia de los sulfuros permite definir un pulso mineralizante caracterizado por la presencia de abundante pirita, acompañada por galena, esfalerita, calcopirita, argentita, electrum y marcasita. La mineralogía de la veta Buena Vista es típica de los depósitos epi-

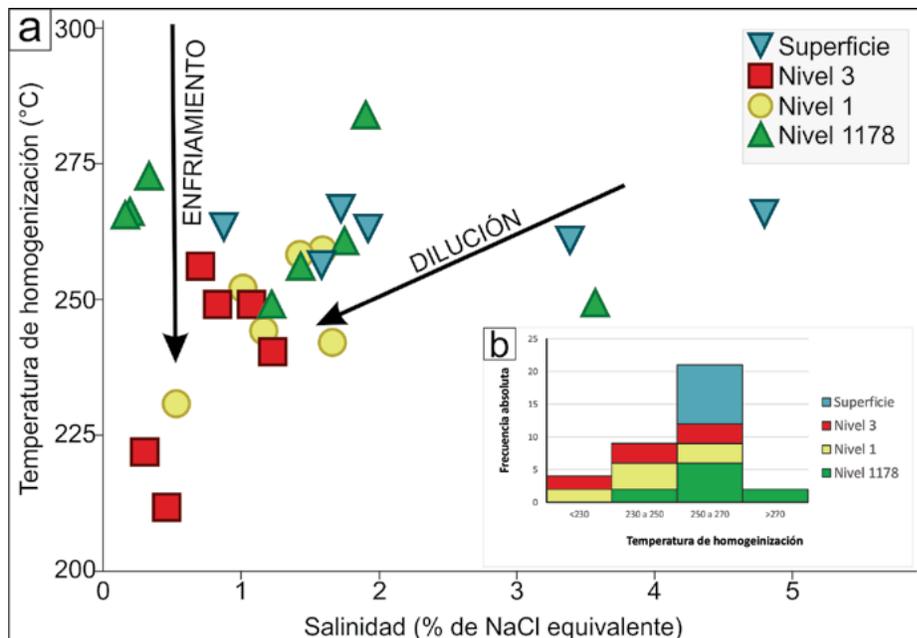


Figura 7. a) Diagrama de correlación entre la temperatura de homogenización y la salinidad de las IF analizadas. Se observan tendencias de dilución y enfriamiento de los fluidos hidrotermales (tomado de Camprubí 2010); b) Histograma de frecuencias de las temperaturas de homogenización de las IF en los distintos niveles.

CUADRO 2. Tabla comparativa mostrando la abundancia de los minerales opacos y los parámetros obtenidos en microtermometría de IF en cada nivel estudiado.

	Sulfuros	Argentita	Electrum	Inclusiones fluidas
Abundancia modal	0 6	0 0,4	0 0,4	Th Salinidad
Superficie	_____	_____	_____	260 n= 9 2,38 n= 6
Nivel 3	_____	_____	_____	241 n= 8 0,79 n= 7
Nivel 1	_____	_____	_____	240 n= 10 1,15 n= 7
Nivel 1178	_____	_____	_____	260 n= 11 1,27 n= 9

Abundancia modal en %. Sulfuros: py< sph< ga< cpy< mrc. Th: promedio de la temperatura de homogeneización en °C; promedio de la salinidad en % en peso equivalente NaCl; n= número de mediciones realizadas.

termales de baja sulfuración (Hedenquist 1987). Hacia los niveles más profundos de la veta se reconoce una disminución del contenido de argentita y metales base y un simultáneo aumento en el contenido de electrum. Numerosos autores proponen la existencia de una zonación vertical en los sistemas de baja sulfuración, en la cual el contenido de Au y Ag disminuye con la profundidad, mientras aumenta el contenido de sulfuros de metales base (e.g., Buchanan 1981, Morrison *et al.* 1989, Camprubí y Albinson 2006, Clark y Gemmell 2018). La zonación vertical establecida para la veta Buena Vista no coincide con la propuesta por otros autores para este tipo de yacimientos. Esto podría explicarse teniendo en cuenta variaciones locales en el

transporte de los metales relacionadas a las condiciones fisicoquímicas de los fluidos (e.g., Camprubí y Albinson 2006), lo cual debería evaluarse con un estudio a escala de distrito.

El estudio de inclusiones fluidas refleja que los fluidos hidrotermales previos al pulso mineralizante han tenido una temperatura mínima comprendida entre los 210°C y 278°C, con una salinidad promedio de 1,37%NaCl eq., lo cual es coincidente con los rangos de temperatura y salinidad típicos de sistemas epitermales (Wilkinson 2001). Dado que el análisis microtermométrico se realizó de manera sistemática en diversas posiciones dentro de la veta, fue posible determinar los procesos que sufrieron los fluidos hidrotermales

involucrados. Las mediciones de inclusiones fluidas realizadas en los distintos niveles se ajustan a una tendencia en la cual se evidencia un proceso de dilución de los fluidos hidrotermales, en donde los mismos se enfrían a medida que disminuye su salinidad y un fenómeno de enfriamiento simple (Fig. 7) (Shepherd *et al.* 1985) en el cual se observa una disminución de la temperatura sin cambio de salinidad (e.g., Camprubí 2010).

CONCLUSIONES

La veta Buena Vista forma parte de un sistema epitermal de baja sulfuración, aflorante en el cerro Las Minas, en el distrito minero Andacollo. La roca de caja está formada por tobas lapillíticas cristalinas de composición dacítica, tobas lapillíticas de composición riolítica y tobas lapillíticas con textura eutaxítica de composición riolítica atribuibles a la Fm. Arroyo del Torreón. La alteración hidrotermal de la roca en la zona de contacto con la veta está compuesta por cuarzo +sericita (\pm clorita \pm pirita) y en las zonas más alejadas de la veta prevalece la asociación clorita + minerales arcillosos (\pm calcita \pm pirita).

De acuerdo con las relaciones estratigráficas observadas, el evento mineralizante que forma la veta Buena Vista es anterior a la depositación de la Fm. Huaraco (Carbonífero Superior) y podría estar relacionado con el emplazamiento de la Dacita Sofía.

El estudio de las asociaciones minerales y texturales presentes en la veta Buena Vista evidencia la existencia de 5 pulsos, uno de ellos mineralizante. El pulso mineralizante (cuarto pulso) está representado por la formación de brechas hidrotermales cuyo cemento está compuesto por cuarzo microcristalino con textura en mosaico (cuarzo IV), pirita, galena, esfalerita, calcopirita, marcasita, argentita y electrum. Se observa una zonación vertical donde el contenido de electrum aumenta con la profundidad mientras que los sulfuros de metales base y argentita están enriquecidos en los niveles más superficiales. Los fluidos previos al pulso mineralizante muestran temperaturas mínimas de entrapamiento en el rango 250-270°C y salinidades de hasta 4,8% NaCl eq., evi-

denciando procesos de dilución y enfriamiento. Si bien, debido al tamaño de los cristales de cuarzo IV, no fue posible realizar la microtermometría de los fluidos del evento mineralizante, se considera que las salinidades y temperaturas podrían haber sido similares o levemente menores que las obtenidas para el cuarzo III.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se financió con fondos del Departamento de Geología de la UNS, con el proyecto PGI 24/ZH24 "Las vetas epitermales y mineralización diseminada del Distrito Minero Andacollo, provincia del Neuquén, República Argentina" y con el proyecto CONICET P-UE: 22920160100047CO "Evolución tectónica, magmática y estratigráfica de la región andina y extra-andina de Neuquén (36°- 40° S) y su vinculación con los yacimientos minerales e hidrocarbúricos". Los autores agradecen a la Dra. Nora Rubinstein y a los revisores, los Dres. Sebastian Jovic y Raúl Lira, por sus valiosos aportes a este manuscrito.

REFERENCIAS

Amos, A.J. 1972. Las cuencas carboníferas y pérmicas de Argentina. Simposio Internacional, Sistema Carbónico - Pérmico América del Sul. Anales de la Academia Brasileira de Ciencias 44 (Supl.): 27-36, Río de Janeiro.

Archangelsky, S. y Arrondo, O. 1966. Elementos florísticos del Pérmico argentino (II) *Rhacopteris chubutiana* n. sp. de la Formación Nueva Lubecka, provincia de Chubut, con notas sobre las especies argentinas del género *Rhacopteris*. Revista Museo de La Plata (Nueva serie) 5, Paleontología 28: 1-16.

Buchanan, L. 1981. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest. En: Dickinson, W. y Payne, W. (eds.), Relations of tectonics to ore deposits in the southern cordillera. Arizona Geological Society, Digest XIV: 237-262.

Camprubí, A. 2010. Criterios para la exploración minera mediante microtermometría de inclusiones fluidas: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 62: 25-42.

Camprubí, A. y Albinson, T. 2006. Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica: Bo-

letín de la Sociedad Geológica Mexicana 58: 27-81.

- Clark, L. y Gemmell, B. 2018. Vein Stratigraphy, Mineralogy, and Metal Zonation of the Kencana Low-Sulfidation Epithermal Au-Ag Deposit, Gosowong Goldfield, Halmahera Island, Indonesia. *Economic Geology* 113 (1): 209-236.
- D'Annunzio, M.C. Strazzere, L. y Tamborindgui, M.X. 2016. Caracterización geológica y mineralógica de los sistemas de vetas epitermales Este- Oeste del Distrito Minero Andacollo, provincia de Neuquén. 12° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas CD, San Miguel de Tucumán.
- D'Annunzio, M.C. y Strazzere, L. 2019. Características geoquímicas de las rocas ígneas Pre-Carbonífero Superior, Distrito Minero Andacollo, Neuquén, Argentina. 13° Congreso de Mineralogía, Petrología Ígnea y Metamórfica, y Metalogénesis, Acta: 63-64.
- Danieli J.C., Coppolecchia, M. y Elisondo, M. 2011. El Grupo Andacollo (Paleozoico Tardío). En: Leanza H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., Vallés, J.M. (eds.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. Asociación Geológica Argentina, 49-62, Buenos Aires.
- Giacosa, R. 2011. Geología Estructural en los depósitos vetiformes del cerro Las Minas, Distrito Minero Andacollo, Cordillera del Viento, provincia del Neuquén. SEGEMAR, Serie Contribuciones Técnicas: Recursos Minerales 33, Buenos Aires, 30 p.
- Giacosa, R., Allard, J., Foix, N. y Heredia, N. 2014. Stratigraphy, structure and geodynamic evolution of the Paleozoic rocks in the Cordillera del Viento (37° S latitude, Andes of Neuquén, Argentina). *Journal of Iberian Geology* 40 (2): 331-348.
- Hedenquist, J. W. 1987. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the circum-Pacific Basin. En: Horn editor, Transactions of the Fourth Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore. American Association of Petroleum Geologists: 513-524.
- Jébrak, M. 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews* 12: 111-134.
- Llambías, E. J. 1986. Intrusivos pérmicos del sur de la Cordillera del Viento, provincia de Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 41(1-2): 22-32.
- Llambías, E.J. y Sato, A.M. 1995. El batolito de

- Colangüil: transición entre orogénesis y anorogénesis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 50(1-4): 111-131.
- Llambías, E.J., Leanza, H.A. y Carbone, O. 2007. Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico temprano en la Cordillera del Viento (37°05'S-37°15'S): Nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62 (2): 217- 235.
- Llambías E. y A.M. Sato, 2011. Ciclo Gondwánico: La provincia magmática Choiyoi en Neuquén. En: Rastelli, D. (ed.), *Geología y recursos naturales de la Provincia del Neuquén*. Asociación Geológica Argentina, 53-62, Buenos Aires.
- Mclsaac, G., Luethe, R., Narváez, P., Brantt, J. y Grigg, N. 2017. Summary report on the Cerro Minas sector Andacollo gold project Neuquén province, Argentina (inédito), 76 p.
- Méndez, V., Zannetini, J.C.M. y Zappetini, E.O. 1995. *Geología y metalogénesis del orógeno Andino Central, República Argentina*. Dirección Nacional del Servicio Geológico Argentino, Anales 23: 1-190, Buenos Aires.
- Morrison, G.W., Dong, G. y Jaireth, S. 1989. Textural Zoning in Epithermal Quartz Veins in Queensland Field Guide. James Cook University of North Queensland, Townsville. P. 25 (AMIRA project P247).
- Ramos V.A., Folguera A. y García Morabito E. 2011. Las provincias geológicas del Neuquén. En: Leanza H., Arregui C., Carbone O., Danieli J.C., Vallés J.M. (eds). *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*. Asociación Geológica Argentina, 317-326, Buenos Aires.
- Roedder, E. 1984. Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy* 12: 1-644.
- Rovere, E., Caselli, A., Tourn, S., Leanza, H., Hugo, C., Folguera, A., Escosteguy, L., González, R., Colombino, J. y Danieli, J. 2004. Hoja Geológica 3772-IV Andacollo, provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 298: 104 p., Buenos Aires.
- Sato, A., Llambías, E., Basei, M. y Leanza, H. 2008. The Permian Choiyoi cycle in Cordillera del Viento (Principal Cordillera, Argentina): over 25 Ma of magmatic activity 6° South American Symposium on Isotope Geology. San Carlos de Bariloche.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., y Alderton, D.H.M. 1985. *A practical guide to Fluid inclusion studies*. Blackie-Glasgow., 239 p., London.
- Simmons, S.F. y Browne, P.R.L. 2000. Hydrothermal Minerals and Precious Metals in the Broadlands-Ohaaki Geothermal System: Implications for Understanding Low-Sulfidation Epithermal Environments. *Economic Geology* 95: 971-999.
- Strazzere, L., D'Annunzio, M.C. y Tamborindgui, M.X. 2016. Caracterización geológica y mineralógica del sistema de vetas epitermales NE-SW del Distrito Minero Andacollo, provincia de Neuquén. *Acta Geológica Lilloana* 28 (1): 327-331.
- Strazzere, L., D'Annunzio, M.C. y Gregori D.A. 2017. Eventos de mineralización hidrotermal del Distrito Minero Andacollo, Neuquén, Argentina. 20° Congreso Geológico Argentino. Actas: 143-148, San Miguel de Tucumán.
- Suárez, M. y De la Cruz, R. 1977. Volcanismo pliniano del Lías durante los inicios de la cuenca de Neuquén, Cordillera del Viento, Neuquén, Argentina. 7° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 266-270.
- Suárez, M., Fanning, M., Etchart, H. y De La Cruz, R. 2008. Carboniferous, Permian and Toarcian magmatism in Cordillera del Viento, Neuquén, Argentina: U-Pb SHRIMP dates and tectonic implications. 17° Congreso Geológico Argentino. Actas: 906-907, San Salvador de Jujuy.
- Wilkinson, J.J. 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55: 229-272.
- Zöllner, W. y Amos, A.J. 1955. Acerca del paleozoico superior y triásico del cerro la Premia, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 10 (2): 127-135.
- Zöllner, W. y Amos, A.J. 1973. Descripción Geológica de la Hoja 32b, Chos Malal, provincia del Neuquén. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 143: 91 p., Buenos Aires.

Recibido: 25 de abril, 2019.

Aceptado: 30 de septiembre, 2019.