

BRECHA DE ERUPCIÓN HIDROTHERMAL EN EL DEPÓSITO EPITERMAL DE AU-AG LA JOSEFINA, MACIZO DEL DESEADO

Pilar MOREIRA^{1,2}, Conrado PERMUY VIDAL^{1,2} y Raúl R. FERNÁNDEZ^{1,3}

¹ Instituto de Recursos Minerales (INREMI), Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata (UNLP). E-mail: moreirapili@gmail.com, conradopermuyvidal@gmail.com, rfernand@inremi.unlp.edu.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)

³ Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CICBA)

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados del estudio de una brecha de erupción hidrotermal en el depósito epitermal Au-Ag La Josefina en el Macizo del Deseado. Este depósito se caracteriza por su grado de preservación desde los niveles profundos (sistemas de vetas ricas en Au-Ag y metales base) hasta manifestaciones epitermales someras (depósitos de tipo hot springs y una zona de alteración argílica avanzada). Estas últimas están asociadas espacial y temporalmente con la brecha de erupción hidrotermal estudiada. La brecha presenta una morfología de cono invertido y está compuesta por fragmentos hidrotermalmente alterados que incluyen rocas de toda la secuencia geológica, en una matriz fina de polvo de roca. El origen de estos depósitos estaría vinculado a la liberación de energía del sistema hidrotermal a partir de fluidos neutros clorurados profundos en estado de ebullición junto a una actividad tectónica extensional. Por su parte, la brecha estudiada, constituyó un ambiente favorable para la circulación de fluidos mineralizantes y la precipitación de metales preciosos. El reconocimiento de las brechas de erupción hidrotermal contribuye a un mayor conocimiento de los sistemas hidrotermales jurásicos del Macizo del Deseado y constituye una importante guía en la exploración de depósitos de metales preciosos.

Palabras clave: Brecha de erupción hidrotermal, depósito epitermal, Au-Ag, Macizo del Deseado

ABSTRACT

Hydrothermal eruption breccia in the La Josefina Au-Ag epithermal deposit, Deseado Massif

The present work shows the results and description about an hydrothermal eruption breccia hosted in the La Josefina Au-Ag epithermal deposit, Deseado Massif. This deposit is characterized by its well preserved epithermal features from deep Au-Ag and base metal bearing vein systems to shallow hot spring deposits and steam heated advanced argillic alteration. The last are spatially and temporally related with the studied hydrothermal eruption breccia. The breccia shows an inverted cone shape and a matrix supported texture, with clasts of hydrothermally altered host rocks and fine grained rock flour matrix. The origin of this deposit is related to the energy released from deep neutral and chloride fluids under boiling conditions and also the tectonic activity. Also, the studied breccia favored the mineralized fluid pathway and the consequent precious metal deposition. The recognition of hydrothermal eruption breccia deposits contribute to the knowledge of the Jurassic epithermal systems in the Deseado Massif and constitute a relevant exploration guidelines for precious metal deposits.

Keywords: Hydrothermal eruption breccia, epithermal deposit, Au-Ag, Deseado Massif

INTRODUCCIÓN

Las brechas de erupción hidrotermal han sido descritas en ambientes geotermales activos en las zonas del Taupo (Nueva Zelanda, Rowland y Simmons 2012) y Yellowstone (Estados Unidos, Christiansen *et al.* 2007). El término fue acuñado por Lloyd (1959) y Hedenquist (1983) quienes las definen como el producto de erupciones generadas a partir de la libera-

ción de la energía contenida en un reservorio geotermal. Posteriormente, Hedenquist (1986) y Browne y Lawless (2001) advierten que estas erupciones son el resultado de cambios de presión, pérdida de calor y cambios de fases que ocurren en los niveles someros (<300 m) de los sistemas hidrotermales.

La relación de estas brechas con la parte superior de los sistemas epitermales les ha conferido una gran importancia en la

prospección de metales preciosos, dada su vinculación en tiempo y espacio con mineralizaciones epitermales vetiformes de Au-Ag como por ejemplo Round Mountain, Borealis, Hasbrouck Mountain y McLaughlin en Estados Unidos (Berger y Eimon 1983), Hishikari en Japón (Izawa *et al.* 1990) y Favona en Nueva Zelanda (Simpson y Mauk 2007).

En el Macizo del Deseado las vetas epitermales ricas en Au-Ag y metales base

(Schalamuk *et al.* 1999, Fernández *et al.* 2008) representan las parte profundas del sistema hidrotermal, sin embargo también se han preservado manifestaciones de los niveles más someros como depósitos de *hot spring*, brechas de erupción hidrotermal y alteraciones argílicas avanzadas (*e.g.* Marchionni *et al.* 1999, Schalamuk *et al.* 1997, 1999, Guido *et al.* 2002, Echeveste 2005, Mykietiuik 2006, Channing *et al.* 2007, Wallier 2009, Guido y Campbell 2011, 2012, 2014, Páez 2012, Permuy Vidal *et al.* 2013, Moreira y Fernández 2015). El depósito epitermal de Au-Ag La Josefina está localizado en la porción central del Macizo del Deseado, a unos 150 km al noreste de la localidad de Gobernador Gregores en la provincia de Santa Cruz (Fig. 1a). En este depósito, todos los rasgos mencionados están presentes en un área de alrededor de 15 km² (Fig. 1b). Las principales manifestaciones epitermales se alojan en una secuencia volcánica-piroclástica del Jurásico Superior dispuesta en una serie de bloques tectónicos delimitados por fallas NNE y NO (Fig. 1b). Los bloques más elevados se ubican hacia el suroeste y en ellos se encuentran las vetas portadoras de Au-Ag y metales base. En el sector noreste se identifica el bloque más profundo donde se registran manifestaciones superficiales definidas como depósitos de *hot spring* (sinter y travertino), alteración argílica avanzada y depósitos de una brecha de erupción hidrotermal cuya caracterización e interpretación de su génesis, a través de un mapeo detallado y de estudios mineralógicos y texturales, son los objetivos de este trabajo.

GEOLOGÍA DEL ÁREA LA JOSEFINA

Las rocas volcánicas y piroclásticas del Jurásico Superior conforman las formaciones Chon Aike y Bajo Pobre y se disponen sobre un basamento metamórfico correspondiente a la Formación La Modesta (Fig. 1b). Dichas rocas están fracturadas por sistemas de fallas regionales de rumbo principal NNE y NO, en parte evidenciados por lineamientos magnéticos de escala regional (Fig. 1b; Peñalva *et*

al. 2005). Estos sistemas de fallas fueron originados y/o reactivados durante el Jurásico, bajo una tectónica extensiva, dando como resultado una serie de bloques tectónicos (Moreira *et al.* 2008).

La Formación La Modesta, de edad Paleozoico temprano, aflora al oeste y está integrada por rocas metamórficas de grado bajo que comprenden esquistos cloríticos-muscovíticos y meta-cuarcitas, derivados de un protolito sedimentario silicoclástico junto a escasas meta-volcanitas máficas asociadas a rocas calcosilicáticas (Moreira *et al.* 2005, Moreira *et al.* 2013).

Los depósitos volcánicos jurásicos se inician con la unidad Piedra Labrada, de unos 125 m de espesor, que aflora hacia el suroeste y está compuesta por ignimbritas soldadas ricas en cristales con niveles de oleadas piroclásticas (*surge*) intercalados. Esta unidad fue datada en $153,2 \pm 3,6$ Ma (K-Ar en roca total, Arribas *et al.* 1996) y $152,7 \pm 2,3$ Ma (SHRIMP U-Pb en circones, Moreira *et al.* 2009). Los asomos de la unidad Cerro Jorge Paz se disponen en el sector oriental del área y están compuestos por ignimbritas ricas en líticos y pómez, niveles de *surge*, conglomerados y brechas de talud, conjunto que alcanza unos 200 m de espesor. Luego se dispone la unidad Mogote Hormigas que rellena los bajos topográficos y alcanza unos 150 m de espesor. En su porción inferior está conformada por ignimbritas ricas en pómez y líticos acompañadas, en menor medida, por brechas piroclásticas y tobas lapillíticas. En su parte superior predominan niveles estratificados a laminas de rocas sedimentarias y rocas volcánicas retrabajadas. Hacia el oeste, contemporáneos a algo posteriores a esas unidades volcánicas se emplazan los complejos de domos La Josefina y María Esther, controlados por una zona de falla pre-Jurásica de rumbo NO, relacionada con un *horst* de la Formación La Modesta (Moreira *et al.* 2010). Están conformados por facies efusivas andesíticas a riolíticas y facies subvolcánicas basandesíticas a dacíticas, con algunos depósitos de bloques y cenizas y de subfacies retrabajadas asociadas. En las lavas riolíticas

fueron obtenidas edades de $148,8 \pm 3,6$ (K-Ar en biotita; Arribas *et al.* 1996) y $150,0 \pm 4,0$ Ma (Rb-Sr en roca total; Fernández *et al.* 1999).

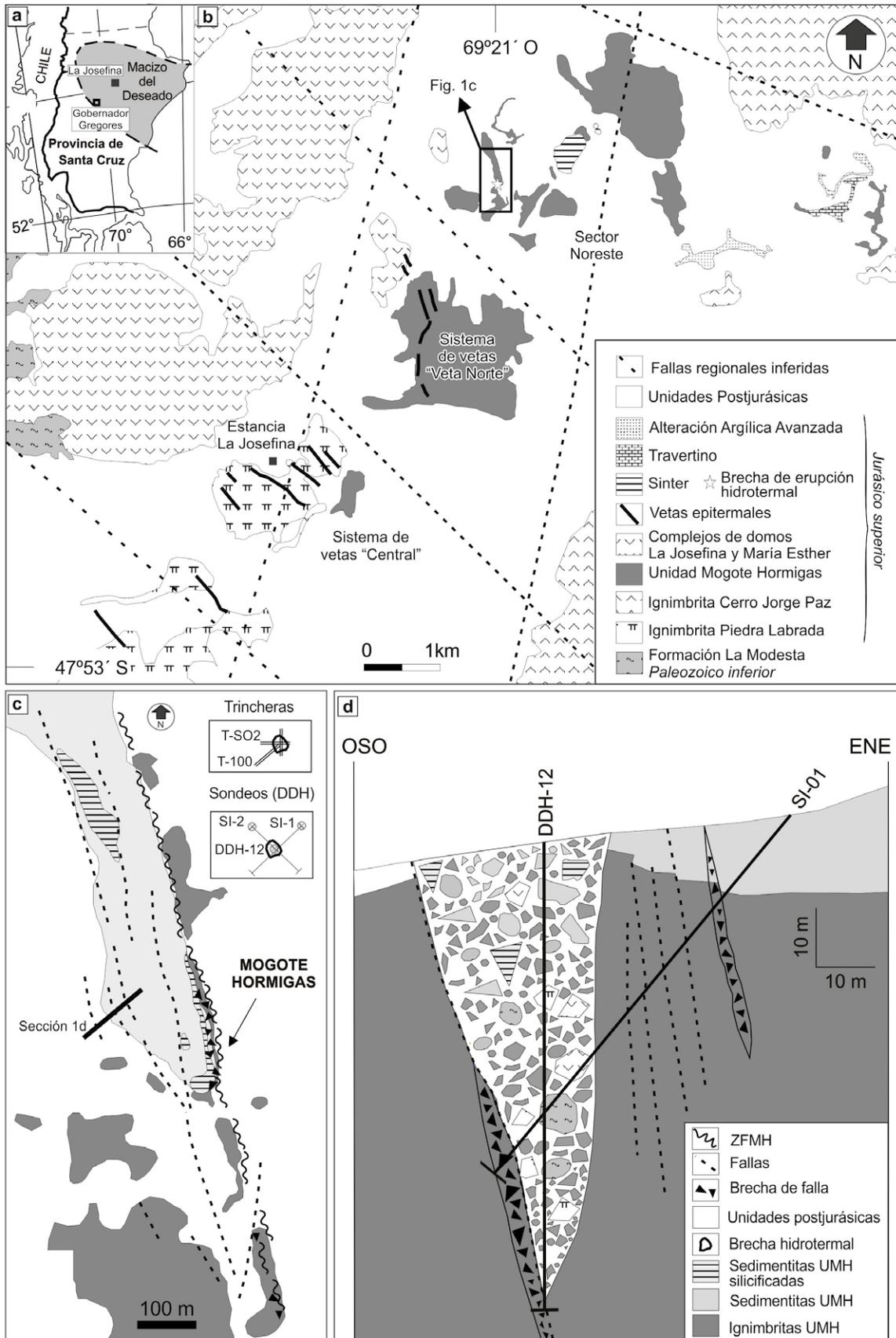
Las rocas mencionadas están cubiertas por basaltos terciarios, extensas coladas de basaltos neógenos y el relleno moderno.

SISTEMA EPITERMAL LA JOSEFINA

El depósito La Josefina en su conjunto se formó en un ambiente de tipo *hot spring* con claras evidencias de su posición proximal a la paleosuperficie y al paleonivel freático del Jurásico Tardío (Moreira y Fernández 2015). Estos autores indican que las características de este depósito son consistentes con la clasificación cuarzo \pm calcita \pm adularia \pm illita definida por Simmons *et al.* (2005) y con el tipo de baja sulfuración de acuerdo a Hedenquist *et al.* (2000) y Sillitoe y Hedenquist (2003) aunque con ciertas características del tipo de sulfuración intermedia, situación que comparte con varios depósitos del Macizo del Deseado (*e.g.* Schalamuk *et al.* 1997, Wallier 2009, Permuy Vidal *et al.* 2016).

La edad de la mineralización en el depósito La Josefina fue estimada en $156,0 \pm 2,0$ Ma (errorcrons Rb-Sr en illita, Fernández *et al.* 1999). Moreira *et al.* (2009) sugieren un solapamiento temporal entre el volcanismo ($152,7 \pm 2,3$ Ma, SHRIMP U-Pb en circones) y la mineralización.

Las manifestaciones epitermales están expuestas en los bloques tectónicos delimitados por fallas NO y NNE. Dentro de este esquema se reconocen los sistemas vetiformes denominados “Veta Norte” y “Central” (Moreira 2005, Andrada de Palomera *et al.* 2012) portadores de Au-Ag y metales base que representan las porciones más profundas del sistema epitermal (Fig. 1a). Las vetas tienen principalmente rumbo NO y son subverticales, con corridas de 100 a 400 m y un espesor que varía desde pocos cm hasta 3,5 metros. Se han desarrollado en fallas de segundo orden de rumbo NO, con una cinemática dextral que dio origen a lavos mineralizados relacionados a zonas



IRA

Figura 1: a) Ubicación del depósito La Josefina; b) Mapa geológico del depósito La Josefina con la ubicación de la brecha de erupción hidrotermal (recuadro indica ubicación de la figura c); c) Detalle de la geología aledaña a la brecha de erupción hidrotermal con ubicación del perfil de la figura d y con la localización de las trincheras y perforaciones realizadas sobre la brecha (inserto arriba a la izquierda); d) Perfil de la brecha de erupción hidrotermal, ZFMH: Zona de Falla Mogote Hormigas. UMH: Unidad Mogote Hormigas.

de dilatación (Moreira *et al.* 2008). La unidad Piedra Labrada es la roca de caja del sistema de vetas "Central" que se presenta en un bloque elevado, mientras que el sistema "Veta Norte" se encuentra alojado en la unidad Mogote Hormigas en un bloque algo más profundo. Las vetas están compuestas de cuarzo, calcedonia y ópalo que constituyen más del 90% del relleno, junto a menores cantidades de adularia y baritina (Schalamuk *et al.* 1998, Moreira *et al.* 2002a). Presentan texturas masivas, en peine, cocardas, bandeados coloforme-crustiforme y de reemplazo pseudomórfico de calcita por sílice (Moreira 2005, Moreira y Fernández 2015). Los minerales de mena están representados por electrum, sulfosales de plata (freibergita), piritita, galena, esfalerita, calcopirita y especularita junto a escasa arsenopirita, marcasita, tetraedrita y bornita (Moreira 2005, Moreira y Fernández 2015). Se identificaron cuatro estadios de mineralización, los dos primeros ricos en Au y Ag formados a expensas de fluidos hidrotermales con temperaturas entre 225 y 290°C y salinidades de ~1% a 15% en peso eq. ClNa y cuyas inclusiones fluidas en cuarzo registran evidencias de ebullición, un tercer estadio rico en metales base (> 1%) y fluidos hidrotermales con temperaturas de ~200°C y un último estadio estéril formado a temperaturas menores a 100°C (Moreira y Fernández 2015).

Las vetas están asociadas a un halo irregular de alteración hidrotermal proximal representado por cuarzo + piritita ± adularia ± illita que pasa a una argilización de interstratificados de illita/esmectita y esmectitas (con escasa clorita), y finalmente un halo externo de alteración propilítica (Moreira 2005, Andrada de Palomera *et al.* 2012, Moreira y Fernández 2015).

Las manifestaciones hidrotermales superficiales se localizan en el bloque tectónico más profundo situado hacia el noreste del depósito, intercaladas con la unidad Mogote Hormigas (Fig. 1a). Incluyen la brecha de erupción hidrotermal estudiada en este trabajo, así como también depósitos de tipo *hot spring* (sinter y

travertino) y una zona de alteración argílica avanzada. El sinter consiste en un pequeño depósito horizontal de 0,5 m de espesor que está confinado a un área de 100 x 200 m (Moreira *et al.* 2008). Las facies laterales del sinter se intercalan con mantos sub-horizontales de hasta 0,5 m de rocas sedimentarias lacustres, en parte silicificados y asociados a *chert*, que han sido interpretados por Moreira y Fernández (2015) como silicificaciones cercanas a la superficie. El travertino se presenta en cuerpos mantiformes de poco espesor, que afloran en un área de 1500 m² y frecuentemente cubren o se intercalan con niveles de rocas sedimentarias lacustres y tobas de caída (Moreira *et al.* 2002b). La alteración argílica avanzada afecta a ignimbritas ricas en pómez y líticos y en menor medida a rocas sedimentarias lacustres. Está representada por mantos de calcedonia que conforman niveles de 2-3 m de espesor y en su base presentan una alteración compuesta por caolinita + piritita ± dickita ± cristobalita. Esta alteración ha sido interpretada como el producto del accionar de fluidos ácidos calentados por vapor (Rolando y Fernández 1996, Moreira y Fernández 2015).

METODOLOGÍA

Se realizó un mapeo detallado de la brecha y de las rocas de sus inmediaciones, así como de las trincheras T-SO2 y T-100 (Fig. 1b inserto; INREMI-FOMICRUZ 2004) y se seleccionaron 50 muestras para estudios de gabinete. Con el fin de reconstruir la morfología de la brecha en profundidad, se revisaron los testigos, se analizaron los datos de las perforaciones a diamantina de diámetro HQ (Fig. 1b inserto; Minamérica S.A. 1999 y INREMI-FOMICRUZ 2004). La perforación DDH-12 es vertical y alcanzó una longitud de 67,1 m, mientras que DDH SI-1 y DDH-2 se realizaron en forma ortogonal entre sí, con inclinaciones de 50° al SO y SE y longitud de 66,5 y 69,7 m, respectivamente. Se efectuó una minuciosa revisión de testigos de estas perforaciones y se tomaron 40 muestras para ser estudiadas en gabinete.

Las texturas de las brechas fueron examinadas en muestra de mano y con lupa binocular, así como también mediante estudios petrográficos y calcográficos que se realizaron con microscopía óptica en el Instituto de Recursos Minerales de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata. Por su parte, el análisis por difracción de Rayos X para completar el estudio petrográfico de alteraciones hidrotermales, fue llevado a cabo en el Museo de Ciencias Naturales de la misma institución.

BRECHA DE ERUPCIÓN HIDROTHERMAL

La brecha de erupción hidrotermal aparece en afloramientos pequeños y saltuarios distribuidos en una superficie de unos 1000 m² (Fig. 1b); su integración otorga una forma subcircular en planta. La roca de caja de esta brecha es la unidad Mogote Hormigas (Fig. 1c) conformada por depósitos de flujo piroclástico con abundante matriz vítrea argilizada, pómez irregulares argilizados (1 a 5 cm), escasos cristaloclastos (< 2 mm) de cuarzo, biotita y feldespato argilizado y líticos de formas subangulosas (< 1 a 5 cm). Ignimbritas brechosas con mayor proporción y tamaño de fragmentos (hasta 40 cm) representan la base de estos flujos piroclásticos. La porción superior consiste de un nivel de tobas lapilíticas de 2,5 m con fragmentos pumíceos argilizados de formas subredondeadas moderadamente orientados, de un tamaño promedio de 1,5 cm de eje mayor; en ocasiones se observa una marcada estratificación. Por encima se disponen unos 3 m de rocas sedimentarias de grano fino con estructura laminar ondulada de longitudes de onda del orden del metro que, de acuerdo a Fernández *et al.* (2005) fueron depositadas en una pequeña cuenca lagunar poco profunda controlada por una serie de fallas de extensión subverticales y orientación NNO, que denominaron Zona de Falla Mogote Hormigas (Fig. 2a, b). Estos autores señalaron que la zona de falla coincide con una pequeña escarpa de unos 700 m de longitud y desnivel de has-

ta 5 m en su borde oriental y podría alcanzar los 100 m de ancho; mencionaron en ella, la presencia de brechas con o sin cemento silíceo (Fig. 2c), silicificaciones penetrativas (Fig. 2d) y fajas intensamente diaclasadas y argilizadas, así como anomalías en oro y plata. La brecha de erupción hidrotermal está asociada a una falla del borde oriental de la Zona de Falla Mogote Hormigas.

A partir de la información de las perforaciones, se interpreta que la geometría de la brecha hidrotermal tiene forma de un cono invertido, de unos ~30 m de diámetro que se extiende al menos hasta unos ~66 m de profundidad, hacia donde se adelgaza (Fig. 1c). El contacto oriental con la roca de caja es vertical y neto, aunque lateralmente se presentan fallas de pequeña escala y zonas con argilización de distribución irregular. El contacto occidental y la porción más profunda están conformadas por una brecha de falla de disposición subvertical (levemente inclinada al ENE) que se desarrolla sobre la ignimbrita de pómez y líticos.

Se trata de una brecha polimíctica con contenidos variables de matriz (20 a 60 % en volumen) en la que predomina principalmente la textura matriz soportada, conformada por polvo de roca y fragmentos finamente triturados menores a 1-2 milímetros. La mayoría de los clastos tienen de entre 1 a 5 cm de longitud pero se encuentran bloques de hasta 50 cm de lado.

En la brecha de erupción hidrotermal, predominan los clastos angulosos a sub-redondeados de la ignimbrita rica en líticos y pómez y de la toba lapillítica pertenecientes a la unidad Mogote Hormigas (Fig. 2e), ocasionalmente de hasta 50 cm. En la porción más superficial se presentan pequeñas cavidades (<0,5 cm) que constituyen hasta ~10% en volumen y son comunes los clastos angulosos a sub-angulosos de las rocas sedimentarias laminares silicificadas que pueden alcanzar hasta 40 cm de lado (Fig. 2f) y escasos fragmentos de calcedonia gris de 1 a 2 cm. Se reconocieron, además, clastos subangulosos a subredondeados de ignimbritas ricas en cristales de la uni-

dad Piedra Labrada y fragmentos verdosos redondeados con abundantes esferulitas, que probablemente corresponden a las lavas riolíticas del complejo de domos La Josefina, así como clastos sub-angulosos de brechas silicificadas. También lleva fragmentos exóticos de esquistos muscovíticos de bajo grado de la Formación La Modesta (Moreira *et al.* 2001), aflorante a unos 5 kilómetros al oeste; sus tamaños varían desde < 1 cm hasta 3 cm de diámetro con apariencia de plato y bordes redondeados (Fig. 2g).

Se reconocieron zonas con intensa argilización que alternan con zonas fuertemente silicificadas que, en general, afectan tanto a los clastos como a la matriz. Predominan los fragmentos silicificados y los argilizados a caolinita con diferentes grados de cristalinidad y/o a illita (Fig. 3a, b y c). En algunos fragmentos se observó un reborde milimétrico de silicificación. Los fragmentos de rocas metamórficas se encuentran total a parcialmente alterados a illita y caolinita de alta cristalinidad (Fig. 3e). Hay cristales de pirita de 1-2 mm diseminados en toda la roca y su oxidación dio lugar a abundantes tinciones limoníticas.

Mineralización

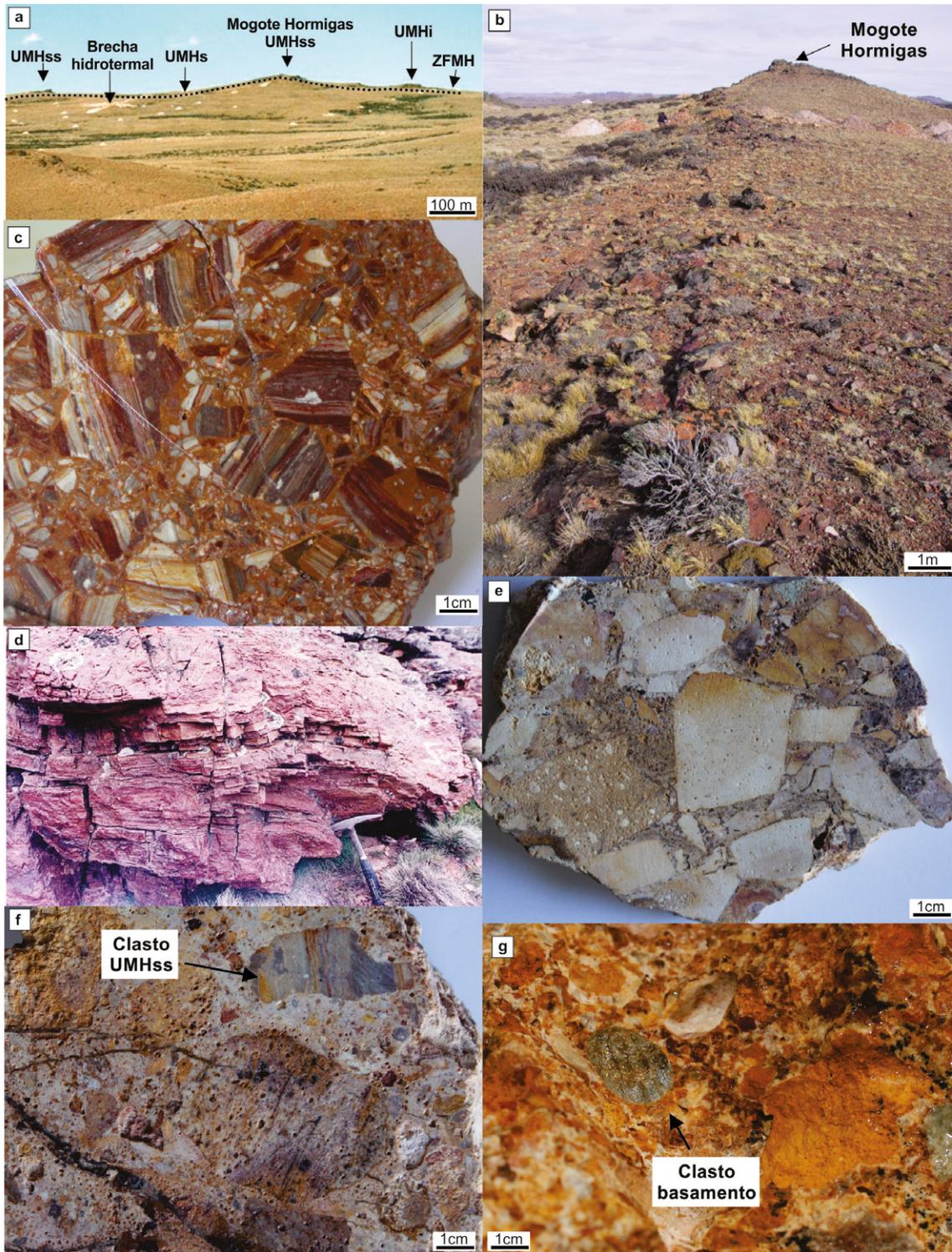
El relleno hidrotermal puede alcanzar hasta el 10 % en volumen de la brecha. Está desarrollado desde la superficie hasta aproximadamente los 55 m de profundidad. En la figura 4 se presenta el diagrama paragenético correspondiente que está conformado por una primer etapa (E1) compuesto por cuarzo microcristalino (0,5-0,001 mm) de tipo sacaroides donde se observan texturas de recristalización, intercrecido con adularia, tanto en cristales tabulares (hasta 100 μm) como de forma rómbica (50 a 250 μm , Fig. 5a). Asociada a estos minerales se encontró pirita euhedral a subhedral (<1-5 mm) y ocasionalmente pequeños individuos de galena (<1 mm). Se observaron escasos y pequeños granos de electrum diseminados en el cuarzo (~15 μm). Contiene menor cantidad de cristales de especularita de hasta 200 μm (Fig. 5b) y escasos de calcita. El cuarzo suele encerrar paquetes

de hasta 150 μm de diámetro compuestos por cristales fibrosos radiados de esmectitas y/o illita (Fig. 5a). La etapa 2 (E2) está representado por una generación tardía de cuarzo cristalino (>0,5 mm) translúcido que rellena delgadas vetillas de hasta 3 mm de espesor que atraviesan la brecha y además tapiza algunas cavidades de hasta 1 cm de diámetro con textura en peine; también se hallaron pequeños individuos tabulares de baritina (300 μm) como relleno de estas cavidades. La etapa 3 (E3) está representado por caolinita de alta cristalinidad que se manifiesta no solo como alteración de los clastos sino también como parte del cemento de esta brecha.

Hasta la profundidad reconocida la brecha presenta alteración supergénica (S) donde la pirita está reemplazada, en parte pseudomórficamente, por limonitas y jarosita asociadas a menores cantidades de cerusita alterando a galena, yeso y caolinita supergénica de baja cristalinidad (Fig. 3d). Desde la superficie y hasta los 15 m de profundidad, se encontraron abundantes granos de oro nativo de forma anhedral o de hábito dendrítico (50 μm a 5 mm). Se presentan diseminados y/o como el relleno de fracturas delgadas dentro del agregado supergénico limonítico (Fig. 5c). Cabe destacar que los fragmentos de rocas metamórficas contienen abundantes laminillas de oro nativo, preferentemente dispuestas siguiendo la esquistosidad (Fig. 5d).

DISCUSIÓN

En el depósito La Josefina los productos de la actividad hidrotermal jurásica superior han sido preservados desde sus niveles más profundos (vetas epidermales portadoras de Au-Ag y metales base) hasta su paleosuperficie y paleonivel freático (sinter, travertino, alteración argílica avanzada y rocas sedimentarias lacustres silicificadas). Estos diferentes niveles de exposición se deben al movimiento relativo de bloques tectónicos con un hundimiento de los mismos hacia el noreste donde se ubica la brecha de erupción hidrotermal (Fig. 6).



RA

Figura 2: a) Vista regional con la ubicación de la brecha de erupción hidrotermal, UMHs: rocas sedimentarias de la unidad Mogote Hormigas, UMHss: rocas sedimentarias silicificadas de la unidad Mogote Hormigas; UMHi: ignimbritas de la unidad Mogote Hormigas; ZFMH: zona de falla Mogote Hormigas b) Detalle de la escarpa de la Zona de Falla Mogote Hormigas; c) Brecha hidrotermal con cemento silíceo desarrollada sobre las rocas sedimentarias silicificadas; d) Detalle de las rocas sedimentarias silicificadas; e) Detalle de la brecha de erupción hidrotermal con predominio de fragmentos de las ignimbritas de la unidad Mogote Hormigas; f) Clasto subanguloso de rocas sedimentarias silicificadas de la unidad Mogote Hormigas (UMHss) en la brecha; g) Clastos sub-redondeados de basamento en la brecha.

Además de su posición dentro del sistema hidrotermal, esta brecha reúne las principales características descritas para brechas relacionadas con erupciones hidrotermales (e.g. Berger 1985, Nelson y Giles 1985, Hedenquist y Henley 1985, He-

denquist 1986, Browne y Lawless 2001, Izawa y Aoki 1991, Christiansen *et al.* 2007, Rowland y Simmons 2012) que son las siguientes: 1) geometría en forma de cono invertido, 2) contacto intrusivo con las rocas hospedantes y/o asociado a fa-

llas, 3) pobre selección, 4) naturaleza polimíctica, 5) textura matriz sostén predominante, 6) matriz conformada por abundante material triturado (polvo de roca), 7) amplio rango composicional y de tamaño de los fragmentos, 8) presen-

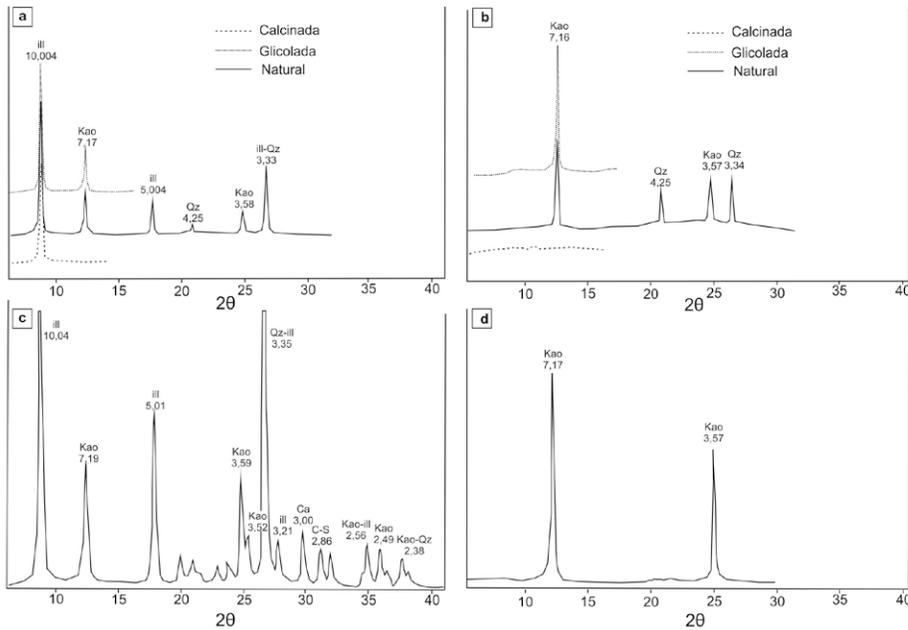


Figura 3: Difractograma de Rayos X de los argilominerales presentes en la brecha de erupción hidrotermal. a) Fragmento de ignimbrita de líticos y pómez de la unidad Mogote Hormigas donde se identifican picos de illita (Ill) y caolinita de baja cristalinidad (Kao) con trazas de cuarzo (Qz); b) Clasto redondeado totalmente argilizado donde se identifica picos de caolinita de baja cristalinidad (Kao) con trazas de cuarzo (Qz); c) Clasto de basamento donde se identifican picos de caolinita (Kao) de alta cristalinidad (en tripletes) e illita (ill) junto con trazas de cuarzo (Qz), calcita (Ca) y clorita-esmectitas (C-S); d) Cemento de la brecha hidrotermal donde se identifican picos de caolinita de baja cristalinidad. Nota: Muestra al estado natural seca al aire y muestra calcinada a 550°C.

cia de fragmentos alterados hidrotermalmente, 9) signatura geoquímica de la brecha con anomalías en Au, As, Sb, Hg y Tl típica de ambientes epitermales someros (Hunt Mining Corp. 2010, Moreira y Fernández 2015), 10) fragmentos con rebordes silicificados, 11) presencia de relleno hidrotermal (cuarzo, adularia, calcita acompañados por electrum y pirita junto a especularita y galena), 12) presencia de espacios abiertos tapizados por cuarzo y 13) presencia de vetillas tardías de cuarzo que cortan la brecha.

La naturaleza de los fragmentos observados permite estimar que el fracturamiento hidráulico afectó a toda la columna estratigráfica definida para el área, desde fragmentos redondeados de rocas metamórficas provenientes de zonas profundas hasta clastos de rocas sedimentarias lacustres silicificadas originados en niveles cercanos a la paleosuperficie.

La presencia de clastos de lavas riolíticas, que representan las volcanitas más jóvenes del área (~148,18-150 Ma, Arribas *et al.* 1996, Fernández *et al.* 1999), indicarían

que las erupciones hidrotermales se produjeron durante las etapas finales del sistema volcánico-hidrotermal, como indican Guido y Campbell (2012) y Permuy Vidal *et al.* (2016) para otras manifestaciones someras de sistemas hidrotermales en el Macizo del Deseado.

Los estudios de $\delta^{18}\text{O}$ realizados por Moreira y Fernández (2015) en las vetas y rocs sedimentarias lacustres silicificadas indican que se trata de un sistema hidrotermal compuesto principalmente por fluidos meteóricos (neutros clorurados) que formaron las vetas en profundidad y que al alcanzar la superficie dieron lugar a la depositación de niveles de sinter silíceo (Fig. 6).

Varios autores indican que las brechas de erupción hidrotermal son producto de una liberación brusca de presión de estos fluidos neutros (*e.g.* Fournier 1983, 1985, Hedenquist y Henley 1985, Nelson y Giles 1985, Browne y Lawless 2001) y que el aumento de la presión se debe a la acumulación de gases no condensables (Hedenquist y Henley 1985, Browne y Lawless

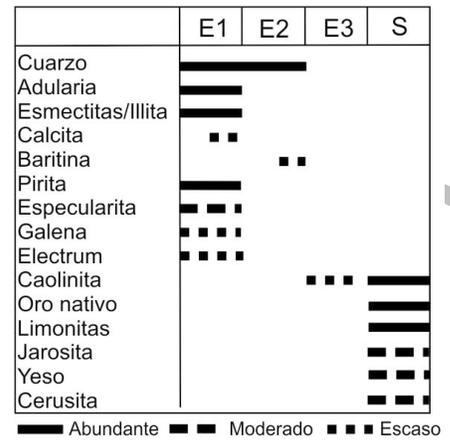


Figura 4: Diagrama paragenético del relleno hidrotermal que conforma el cemento de la brecha. E1: etapa 1, E2: etapa 2, E3: etapa 3; S: alteración supergénica.

2001), a veces por debajo de una barrera impermeable (Fournier 1983, 1985, Hedenquist y Henley 1985, Nelson y Giles 1985). Se interpreta que la ebullición de fluidos neutros ha sido principalmente el responsable de la generación de erupciones hidrotermales en La Josefina. Asimismo, la brecha estudiada se aloja en una falla extensional cuya actividad estuvo relacionada con el ascenso de fluidos hidrotermales (Fernández *et al.* 2008), por lo que la actividad tectónica también puede haber jugado un rol importante como disparador de las erupciones hidrotermales como en las erupciones descritas en el lago Rotowaka en la zona volcánica del Taupo de Nueva Zelanda (Rowland y Simmons 2012). Asimismo, Nairn *et al.* (2005) mencionan otros posibles disparadores externos de erupciones hidrotermales tales como el drenaje de un lago, la actividad sísmica y/o una intrusión magmática que aporte CO₂. Si bien no se han hallado evidencias directas de estos mecanismos en la brecha estudiada, no se descarta que el magmatismo emplazado próximo a la superficie que dio origen a la erupción de los complejos de domos, con quien la brecha esta temporal y espacialmente relacionada, podría haber aportado calor y gases como para gatillar una erupción hidrotermal como las estudiadas en Nueva Zelanda en el campo geotermal Waitopu (Nelson y Giles 1985) o solamente aportado calor

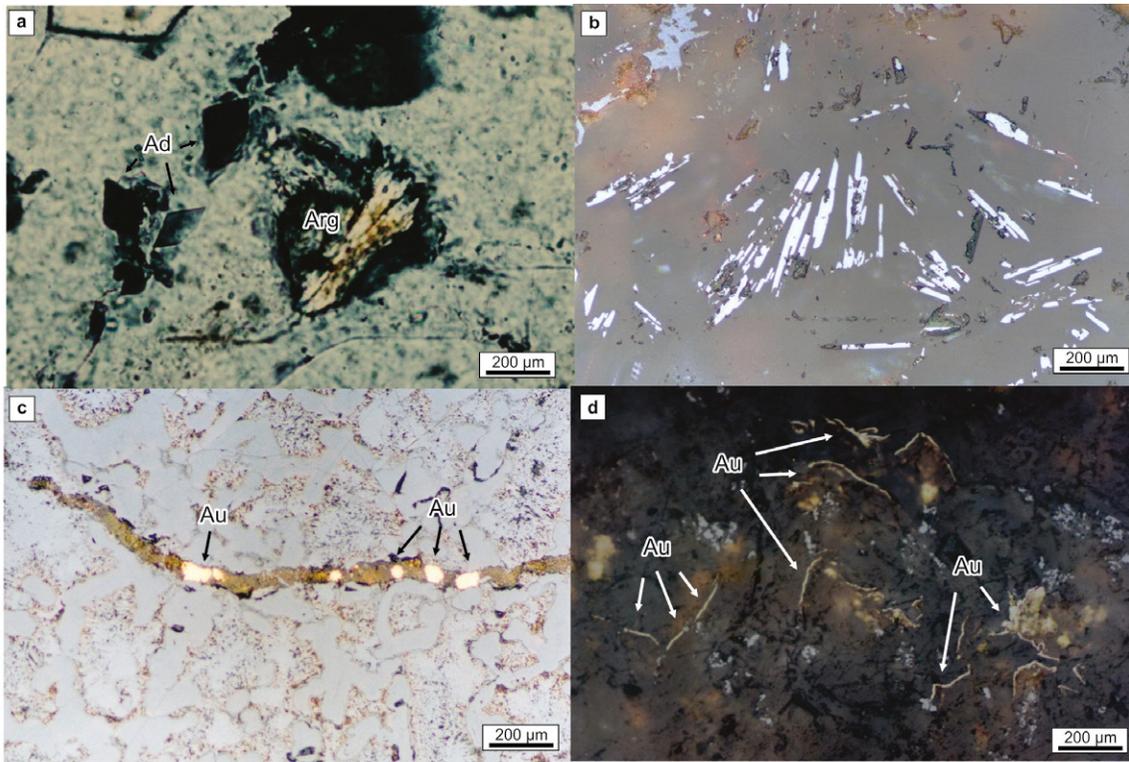


Figura 5: Fotomicrografías de la mineralización en la brecha. a) Cristales de adularia de forma rómbica (Ad) y paquetes de argilominerales (Arg) en cuarzo sacaroide de la etapa 1; b) Cristales tabulares de especularita (blancos) que conforman parte de la etapa 1 junto con limonitas supergénicas (rojizas); c) Detalle del cemento con alteración supergénica rico en limonitas atravesado por una vetilla tardía que lleva granos de oro nativo (Au); d) Detalle de clasto de basamento con abundantes laminillas de oro nativo (Au) localizadas a lo largo de los planos de esquistosidad.

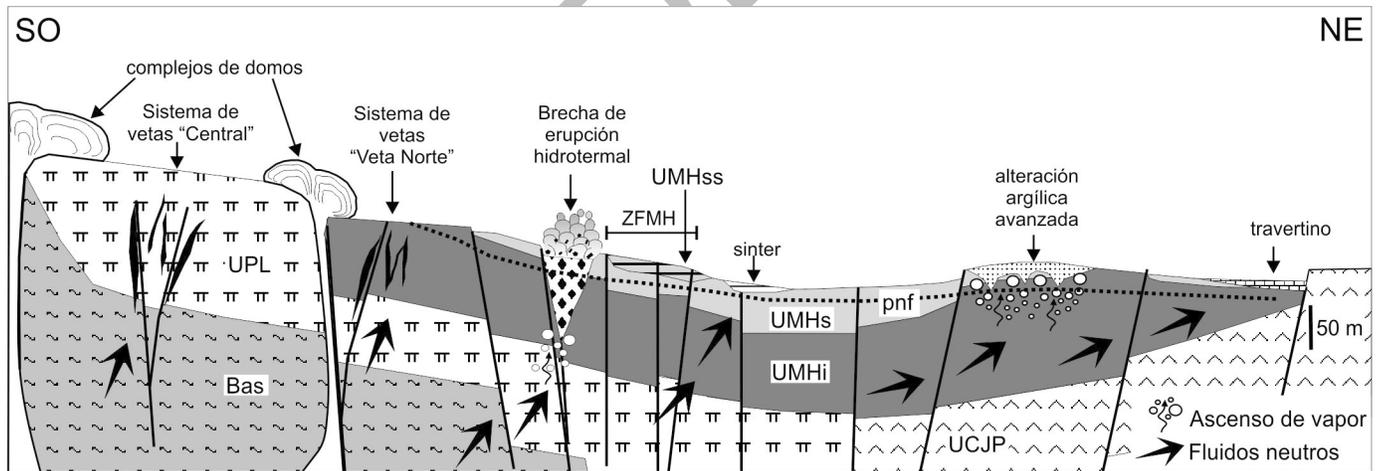


Figura 6: Perfil esquemático del depósito La Josefina que incluye la brecha de erupción hidrotermal estudiada y las manifestaciones asociadas. Bas: basamento; UPL: unidad Piedra Labrada; UCJP: unidad Cerro Jorge Paz; UMHi: ignimbritas de la unidad Mogote Hormigas; UMHs: rocas sedimentarias de la unidad Mogote Hormigas; UMHss: rocas sedimentarias silicificadas de la unidad Mogote Hormigas; ZFMH: zona de falla Mogote Hormigas, pnf: paleonivel freático.

como es el caso de algunas de las erupciones descritas para el campo geotermal Kawerau (Milichich *et al.* 2013). Como consecuencia de la generación de estas erupciones se forman cráteres que generan zonas deprimidas del paisaje, que son afectados por procesos de erosión y de slumping de sus paredes, dan-

do lugar al desarrollo de facies sedimentarias de ambientes lacustres/fluviales que se interpreta que, al menos en parte, podrían corresponder a las sedimentarias lacustres de la unidad Mogote Hormigas. Las brechas de erupción hidrotermal ofrecen condiciones favorables para la deposición de metales preciosos en el

conducto y las zonas alimentadoras del sistema (Hedenquist y Henley, 1985). Se interpreta que la mineralización presente en la etapa 1 de la brecha (electrum, pirita, especularita y galena junto con cuarzo, adularia y calcita) se depositó durante o inmediatamente después del brechamiento, ya que los fluidos neutros porta-

dores de metales preciosos circulan hasta niveles sub-superficiales por las zonas permeables generadas durante el brechamiento (Fig. 6). Este transporte de los fluidos acompañado por procesos como ebullición y/o por cambios químicos (por ejemplo por la interacción de aguas de distinto origen) provoca la precipitación de metales preciosos cerca de la superficie (Berger y Eimon 1983). La presencia de adularia de forma rómbica es una evidencia de la ebullición de los fluidos como mecanismo para la deposición de los metales preciosos (*e.g.* Dong y Morrison 1995, Henley 1993, Simmons y Christenson 1994). Asimismo la etapa 2 representa un estadio más tardío de relleno hidrotermal sin aporte de metales preciosos (Browne y Lawless 2001). Por su parte, la ebullición de los fluidos neutros también produjo aguas ácidas sulfatadas que originaron una alteración argílica avanzada por encima del nivel freático (Fig. 6, Rolando y Fernández 1996, Moreira y Fernández 2015). Estas aguas comúnmente se desarrollan en los cráteres de las brechas de erupción hidrotermal y sus depósitos asociados (Sillitoe 2015), y por colapso del sistema hidrotermal pueden movilizarse en profundidad a través de fracturas y/o por sectores permeables de la brecha incluso hasta profundidades de hasta 300 m (Hedenquist *et al.* 2000). Estudios realizados en el depósito La Josefina por Andrada de Palomera (2015) revelan que la presencia de caolinita de alta cristalinidad es producto del accionar de estos fluidos ácidos; por lo tanto el hallazgo este mineral en la etapa 3 es una evidencia de que estos fluidos ácidos han alcanzado las porciones más profundas de la brecha estudiada. Asimismo, la ebullición de los fluidos neutros generó aguas ácidas bicarbonatadas que cuando alcanzaron la superficie depositaron el travertino en los márgenes del sistema (Fig. 5, Moreira *et al.* 2002b). Esta brecha ha servido de canal para el descenso subsecuente de aguas meteóricas que causaron la oxidación de la mineralización debido a procesos supergénicos, provocando la re-depositación del oro.

CONCLUSIONES

La brecha de erupción hidrotermal ubicada en el bloque más profundo del depósito La Josefina, representa una posición próxima a la paleosuperficie y al paleonivel freático. Los estudios realizados revelan que las erupciones hidrotermales se produjeron durante las etapas finales del sistema volcánico-hidrotermal y que la ebullición de fluidos hidrotermales neutros clorurados de origen meteórico asociada a la actividad tectónica extensional habría generado condiciones favorables para dar origen a estas erupciones hidrotermales.

Asimismo, esta brecha constituyó un ambiente favorable para que estos fluidos en ebullición portadores de metales preciosos circulen hasta niveles sub-superficiales durante o inmediatamente después del brechamiento dando lugar a una mineralización epitermal.

El reconocimiento de las brechas de erupción hidrotermal en el Macizo del Deseado contribuye a un mayor entendimiento de los sistemas hidrotermales jurásicos, y además constituye una importante guía en la exploración de depósitos de metales preciosos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado con el aporte del subsidio otorgado por la Universidad Nacional de La Plata al proyecto 11/N685.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Andrada de Palomera, R.P., van Ruitenbeek, F.J.A., van der Meer, F.D. y Fernández, R. 2012. Geochemical indicators of Au-rich zones in the La Josefina epithermal deposit, Deseado Massif, Argentina. *Ore Geology Review* 45: 61-80.
- Andrada de Palomera, R.P. 2015. Spectral Prospectivity mapping of the Deseado Massif, Argentina- Deciphering the geochemistry and mineralogical of a low to intermediate sulfidation epithermal system. Tesis Doctoral Universidad de Twente (inédita), 206 p., Twente.

- Arribas, Jr A., Schalamuk, I., de Barrio, R., Fernández, R. y Itaya, T. 1996. Edades Radimétricas de Mineralizaciones Epitermales Auríferas del Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz, Argentina. 39° Congreso Brasileiro de Geología, Actas: 254-257, Salvador.
- Berger, B. R. 1985. Geologic-Geochemical features of hot spring precious-metal deposits. United States Geological Survey. Bulletin 1646: 47-53.
- Berger, B.R. y Eimon, P.I. 1983. Conceptual models of epithermal metal deposits. En: Shanks, W. C. (ed.), Cameron Volume on Unconventional Mineral Deposits. Society of Mining Engineers: 191-205, New York.
- Browne, P.R.L. y Lawless, J.V. 2001. Characteristics of hydrothermal eruptions, with examples from New Zealand and elsewhere. *Earth Sciences Review* 52: 299-331.
- Channing, A., Zamuner, A.B. y Zúñiga, A. 2007. A new Middle-Late Jurassic flora and hot spring chert deposit from the Deseado Massif, Santa Cruz province, Argentina. *Geological Magazine* 144: 401-411.
- Christiansen, R.L., Lowenstern, J.B., Smith, R.B., Heasler, H., Morgan, L.A., Nathenson, M., Mastin, L.G., Muffler, L.J.P. y Robinson, J.E. 2007. Preliminary assessment of volcanic and hydrothermal hazards in Yellowstone National Park and vicinity. U.S. Geological Survey, Open-file Report 2007-1071, 94 p, Virginia (USA).
- Dong, G. y Morrison, G.W. 1995. Adularia in epithermal veins, Queensland: morphology, structural state and origin. *Mineralium Deposita* 30: 11-19.
- Echeveste, H. 2005. Travertines and jasperoids of the Manantial Espejo, a Jurassic hot spring environment. Macizo del Deseado, Santa Cruz province, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 12: 23-39.
- Fernández, R., Echeveste, H., Tassinari, C. y Schalamuk, I. 1999. Rb-Sr age of the La Josefina epithermal mineralization and its relation with host volcanic rocks. Macizo del Deseado, Santa Cruz Province. Argentina. 2° Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, Actas: 462-465, Villa Carlos Paz.
- Fernández, R., Pérez, D., Moreira, P., Andrada, P., Albornoz, S. y Penzo, H. 2005. Exploración de la "Zona de Fractura Mogote Hormigas", Prospecto La Josefina, Santa Cruz, Ar-

- gentina. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 731-736, La Plata.
- Fernández, R.R., Blesa, A., Moreira, P., Echeveste, H., Mykietiuik, K., Andrada de Palomera, P. y Tessone, M. 2008. Los depósitos de oro y plata vinculados al magmatismo jurásico de la Patagonia: revisión y perspectivas para la exploración. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 665-681.
- Fournier, R.O. 1983. Active hydrothermal systems as analogues of fossil systems. En: *The role of heat in the development of energy and mineral resources in the northern Basin and Range province*. Geothermal Resources Council. Special Report 13: 263-284, Davis.
- Fournier, R.O. 1985. The behavior of silica in hydrothermal solutions. En: Berger B.R. y Bethke P.M. (eds.) *Geology and geochemistry of epithermal systems*. *Economic Geology* 2: 45-61.
- Guido, D.M. y Campbell, K.A., 2011. Jurassic hot spring deposits of the Deseado Massif (Patagonia, Argentina): Characteristics and controls on regional distribution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 203: 35-47.
- Guido, D.M. y Campbell, K.A. 2012. Diverse subaerial and sublacustrine hot spring settings of the Cerro Negro epithermal system (Jurassic, Deseado Massif), Patagonia, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 229-230: 1-12.
- Guido, D.M. y Campbell K.A., 2014. A large and complete Jurassic geothermal field at Claudia, Deseado Massif, Santa Cruz, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 275: 61-70.
- Guido D., de Barrio R. y Schalamuk I., 2002. La Marciana Jurassic Sinter-Implications for exploration for epithermal precious-metal deposits in the Deseado Massif, southern Patagonia, Argentina. *Transactions Institution of Mining and Metallurgy (Section B: Applied Earth Science)* 111: B106-B113, Londres.
- Hedenquist, J.W. 1983. Waiotapu, New Zealand: the geochemical evolution and mineralization of an active hydrothermal system. Tesis Doctoral Universidad de Auckland (inédita), 42 p., Nueva Zelanda.
- Hedenquist, J.W. 1986. Waiotapu geothermal field. En: Henley R.W., Hedenquist J.W. y Roberts P.J. (eds.) *Guide to the active epithermal (geothermal) systems and precious metals deposits of New Zealand*. Monograph Serie Mineral Deposits 26: 65-79, Nueva Zelanda.
- Hedenquist J.W. y Henley, R.W. 1985. Hydrothermal Eruptions in the Waiotapu Geothermal System, New Zealand: Their Origin, Associated Breccias, and relation to precious metal mineralization. *Economic Geology* 80: 1640-1668.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. y Gonzalez-Urrien, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Economic Geology* 13: 245-278.
- Henley, R.W. 1993. Epithermal gold deposits in volcanic terranes. En: Foster, R.P. (Ed.) *Gold Metallogeny and Exploration* 5: 133-164.
- HUNT MINING CORP., 2010. Gold-Silver Resource Estimate of the La Josefina Project Santa Cruz, Argentina. NI 43-101 Technical Report (<http://www.huntmining.com>).
- INREMI-FOMICRUZ, 2004. Prospecto La Josefina, Santa Cruz, Argentina. Programa de perforaciones primer semestre de 2004. Informe técnico y 5 anexos, (inédito), 33 p.
- Izawa, E. y Aoki, M. 1991. Geothermal activity and epithermal gold mineralization in Japan. *Episodes* 14: 269-273.
- Izawa, E., Urashima, Y., Ibaraki, K., Suzuki, R., Yokoyama, T., Kawasaki, K., Koga, A. y Tagu Taguchi, S. 1990. The Hishikari deposit; high grade epithermal veins in Quaternary volcanics of southern Kyushu, Japan. *Journal of Geochemical Exploration* 36: 1-56.
- Lloyd, E.F. 1959. The hot springs and hydrothermal eruptions of Waiotapu: New Zealand. *Journal of Geology and Geophysics* 2: 141-176.
- Marchionni, D.S., De Barrio, R.E., Tessone, M.O., Del Blanco, M.A. y Echeveste, H.J. 1999. Hallazgo de estructuras estromatolíticas jurásicas en el Macizo del Deseado, provincial de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 173-176.
- Milichich, S.D., Wilson, C.J.N., Bignall, G., Pezaro, B. y Bardsley, C. 2013. An integrated approach to correlation of geology in geothermal systems: a case study from the Kawerau Geothermal field, New Zealand. 35th New Zealand Geothermal Workshop: 2013 Proceedings, Rotorua, Nueva Zelanda.
- Minamérica S.A., 1999. Proyecto La Josefina. Provincia de Santa Cruz. Argentina. Informe técnico y 13 anexos, (inédito), 13 p.
- Moreira, P., Andrada, P. Fernández, R. y Etcheverry R. 2001. Fragmentos de rocas metamórficas portadoras de oro en una brecha hidrotermal de la Formación Chon Aike, distrito La Josefina, Santa Cruz. 7° Congreso Argentino de Geología Económica, Actas 1: 105 p., Salta.
- Moreira, P., Fernández, R., Mondelo, R., Schalamuk, I. y Etcheverry, R. 2002a. Características mineralógicas del sector "Veta Norte", Distrito La Josefina, Provincia de Santa Cruz. 6° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 271-277, Buenos Aires.
- Moreira, P., Fernández, R., Schalamuk, I.A. y Etcheverry, R. 2002b. Depósitos carbonáticos de hot spring relacionados a manifestaciones epitermales (Au-Ag), Distrito La Josefina. Macizo del Deseado. Provincia de Santa Cruz. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 324-329. Calafate.
- Moreira, P. 2005. Geología y Metalogénesis del Prospecto La Josefina, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata (inédita), 360 p., La Plata.
- Moreira, P., González, P. Fernández, R., Echeveste, H., Schalamuk I. y Etcheverry, R. 2005. El basamento de bajo grado de las Estancias La Modesta y La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 49-63.
- Moreira P., Fernández R., Cabana C. y Schalamuk I. 2008. Análisis estructural de volcánitas y mineralizaciones jurásicas del Prospecto epitermal La Josefina (Au-Ag), Macizo del Deseado, Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 84-93.
- Moreira P., Echeveste H., Fernández R., Harman L., Santos J.O. y Schalamuk I. 2009. Depositional age of Jurassic epithermal gold-silver ore in the Deseado Massif, Argentine Patagonia: based on Manantial Espejo and La Josefina Prospects. *Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaontologie* 253: 25-40.
- Moreira, P., Fernández, R., Etcheverry, R. y Schalamuk, I. 2010. Complejos de domos jurásicos (~150 Ma) La Josefina y María Esther, sector central del Macizo del Deseado, Patagonia Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66: 335-348.
- Moreira, P., Fernández, R., Hervé, F., Fanning, M. y Schalamuk, I. 2013. Detrital zircons U-Pb SHRIMP ages and provenance of La Modesta Formation, Patagonia Argentina. *Journal*

- of South America Earth Science 47: 32-46.
- Moreira P. y Fernández R. 2015. La Josefina Au-Ag deposit (Patagonia, Argentina): A Jurassic epithermal deposit formed in a hot spring environment. *Ore Geology Reviews* 67: 297-313.
- Mykietiuik K. 2006. Volcanismo y alteración hidrotermal en el prospecto de metales preciosos del área de la estancia La Esperanza, Macizo del Deseado, Santa Cruz. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata (inédita), 243 p., La Plata.
- Nairn, I.A., Hedenquist, J.W., Vilamar, P., Berryman, K.R. y Shane, P.A. 2005. The ~AD1315 Tarawera and Waiotapu eruptions, New Zealand: contemporaneous rhyolite and hydrothermal eruptions driven by an arrested basalt dike system? *Bulletin of Volcanology* 67: 186-193.
- Nelson, C.E. y Giles, D.L. 1985. Hydrothermal eruption mechanisms and hot spring deposits. *Economic Geology* 89: 1633-1639.
- Páez, G.N. 2012. Génesis del yacimiento de metales preciosos Mina Martha, sector sudoccidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata (inédita), 241 p., La Plata.
- Peñalva, G.A., Moreira, P. y Chernicoff, C.J. 2005. Área La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz: nuevas evidencias geofísicas y geoquímicas. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 807-814, La Plata.
- Permuy Vidal, C., Zalazar, M., Guido, D.M. y Brown, G. 2013. The Mariana-San Marcos vein system: shallow features of epithermal Au-Ag deposits, Cerro Negro District, Deseado Massif, Argentina. *Mineral deposit research for a high-tech world*. 12° SGA Bienial Meeting, Actas: 1303-1306, Sweden.
- Permuy Vidal, C., Guido, D.M., Jovic, S. M., Bodnar, R.J., Moncada, D., Melgarejo, J.C. y Harnes, W. 2016. The Marianas-San Marcos vein system: characteristics of a shallow low sulfidation epithermal Au-Ag deposit in the Cerro Negro district, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. *Mineralium Deposita*. DOI 10.1007/s00126-015-0633-9.
- Rolando, P.A. y Fernández, R.R. 1996. Alteración hidrotermal del sector nor-oriental del prospecto epitermal La Josefina, Santa Cruz. 3° Reunión de Mineralogía y Metalogénesis, Actas: 209-216, La Plata.
- Rowland, J. y Simmons, S. 2012. Hydrologic, Magmatic, and Tectonic Controls on Hydrothermal Flow, Taupo Volcanic Zone, New Zealand: Implications for the Formation of Epithermal Vein Deposits. *Economic Geology* 107: 427-457.
- Schalamuk, I., Zubia M., Genini A. y Fernández, R. 1997. Jurassic epithermal Au-Ag deposits of Patagonia, Argentina. *Ore Geology Reviews* 12 (3): 173-186.
- Schalamuk, I., Del Blanco, M., de Barrio, R., Etcheverry, R. y Marchionni, D. 1998. Características mineralógicas de la paragénesis epitermal del Prospecto La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. 4° Reunión de Mineralogía y Metalogénesis, Actas: 259-266, Bahía Blanca.
- Schalamuk, I., de Barrio, R., Zubia, M., Genini, A. y Echeveste, H. 1999. Provincia Auroargentífera del Deseado, Santa Cruz. En Zapettini E. (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1177-1188, Buenos Aires.
- Sillitoe, R.H. y Hedenquist, J.W. 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions and epithermal precious metal deposits. *Society of Economic Geology, Special Publication* 10: 315-343.
- Sillitoe, R.H. 2015. Epithermal paleosurface. *Mineralium Deposita* 50: 767-793.
- Simmons, S.F. y Christenson, B.W., 1994. Origins of calcite in a boiling geothermal system. *American Journal of Science* 294: 361-400.
- Simmons, S.F., White, N.C. y John, D.A. 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. En: Hedenquist, J.W., et al. (eds.) *Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume 1905-2005*: 485-522, Littleton (Colorado).
- Simpson, M.P. y Mauk, J.L. 2007. The Favona Epithermal Gold-Silver Deposit, Waihi, New Zealand. *Economic Geology* 102: 817-839.
- Wallier, S. 2009. The geology and evolution of the Manantial Espejo epithermal silver (+gold) deposit, Deseado Massif, Argentina. Tesis Doctoral University of British Columbia (inédita), 303 p., Vancouver.

Recibido:

Aceptado: