

Paragénesis de la mineralización de la Veta 49, proyecto Calcatreu, Macizo de Somún Cura, Río Negro, Argentina

Matías Sebastián WERNERT^{1,2}, Darío VERA³, Marcelo PAOLINI³, Sebastián Miguel JOVIC^{1,2,4} y Diego Martín GUIDO^{1,2}

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

²Instituto de Recursos Minerales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina.

³Patagonia Gold Corp.

⁴Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

Email: mswernert11@gmail.com

Editor: Silvia Ametrano

Recibido: 5 de julio de 2023

Aceptado: 7 de febrero de 2024

RESUMEN

El proyecto Calcatreu es un depósito epitermal de baja sulfuración ubicado en el centro-oeste de la provincia de Río Negro, aproximadamente 60 km al sur de la ciudad de Ingeniero Jacobacci. Presenta múltiples enjambres de vetas de cuarzo-carbonato-adularia, con 746 kOz de recursos indicados y una ley promedio de 2.36 g/t Au Eq. La Veta 49 es uno de los principales cuerpos mineralizados del depósito, y presenta una corrida de 1 km, potencias de entre 3 a 12 m, y vergencia NE-SO con inclinación de 55° a 75° SE. La mineralización ocurrió bajo un régimen estructural extensivo asociado a la Zona de Falla de Gastre, y estuvo controlada por fallamiento normal y procesos de ebullición. Se identificaron 6 estadios hidrotermales para la paragénesis de mineralización: 1) Brechas tectónico-hidrotermales con rellenas por pirita-esmectita-clorita; 2) Carbonatos brechosos monomícticos; 3) Carbonatos bandeados, masivos, y brechosos asociados a vetillas de pirita, calcopirita, esfalerita, galena y eléctrum; 4) Cuarzo bandado, con ocasionales calcita, adularia y láminas de *ginguros* conformadas por pirita, calcopirita, galena, esfalerita, tetraedrita-tennantita y eléctrum; 5) Cuarzo masivo, brechoso y bandado, sin concentraciones de oro y plata, y con ocasional amatista; 6) Carbonatos bandeados, masivos y drusiformes. La mayor parte de las concentraciones de Au-Ag se asocian con *ginguros* del estadio 4, y están dispuestas como clavos mineralizados de alta ley dentro de la Veta 49. La alteración meteórica abarca una columna oxidada de hasta 90 m, a la cual también se asocian altas leyes de Au-Ag con escasos sulfuros de enriquecimiento secundario.

Palabras clave: Epitermal, baja sulfuración, vetiforme, oro, hidrotermal.

ABSTRACT

Paragenesis of the Mineralization of the Vein 49, Calcatreu Project, Somún Curá Massif, Río Negro, Argentina.

The Calcatreu Project is a low-sulphidation epithermal deposit located in the center-west region of the Río Negro province, approximately 60 km south of Ingeniero Jacobacci city. The mineralization encompasses an array of multiple quartz-carbonate-adularia veins, with 746 kOz of estimated resources and ore grades of 2.36 g/t Au Eq. Vein 49 stands as one of the main ore bodies of the deposit, with a well-defined 1 km long streak and a thickness of between 3 to 12 meters. It follows a NE-SW orientation and a 55° to 75° SE dip. The mineralization occurred under an extensional tectonic environment, linked to the Gastre Fault Zone mega structure, and was controlled by normal faulting and boiling processes. Six hydrothermal stages were identified for the vein paragenesis: 1) Tectonic-hydrothermal breccias with a pyrite-smectite-chlorite infill; 2) Monomictic carbonate breccias 3) Carbonates with banded, massive and breccia textures, associated with massive sulfide veins of pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite and electrum; 4) Banded silica, with occasional calcite, adularia and *ginguro* layers, composed by pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, tetrahedrite-tennantite and electrum; 5) Silica with massive, breccia and banded textures, which hold no gold-silver concentrations, and is linked with occasional amethyst; 6) Late banded, massive and drusy carbonates. Most Au-Ag volume is linked to *ginguro* bands of stage 4 and are concentrated in high grade ore shoots within the Vein 49. Intense weathering reaches up to 90 m in depth, to which high ore grades are also linked, as well as few supergene sulphides.

Keywords: Epithermal, low-sulphidation, vein, gold, hydrothermal.

INTRODUCCION

El proyecto Calcatreu (Aquiline Resources Inc. 2007, Patagonia Gold Corp. 2017) es un depósito epitermal de baja sulfuración de Au-Ag ubicado en el sector centro-oeste de la provincia de Río Negro, aproximadamente 60 km al S de la ciudad de Ingeniero Jacobacci, y próximo al límite con la provincia de Chubut (Fig. 1). Pertenece a la faja metalogenética Manantiales (Cardó et al. 2003 y 2015), un corredor de rumbo NO-SE donde se albergan múltiples depósitos epitermales correspondientes al distrito minero Navidad-Calcatreu, como el proyecto argentífero de clase mundial de Navidad (Márquez y Zubia 2008, Williams 2010, Márquez et al. 2016, Bouhier et al. 2017, 2023), el depósito polimetálico Mina Ángela (Dessanti 1957, Bassi y Rochefort 1979, Domínguez 1981, Bengochea et al. 1988, Varela 1994a, 1994b, Arizmendi et al. 1996, Márquez 1999, Lafont et al. 2003), el proyecto auro-argentífero Taquetrén (Norseman Silver SA 2023) y otros prospectos polimetálicos con menor grado de desarrollo, como Santa Máxima, Del Mallín, Cañadón Bagual y Fortuna (Saulnier 1975, Márquez et al. 1988). La Veta 49 representa uno de los objetivos de exploración de mayor interés para el proyecto Calcatreu, y cuenta con numerosas perforaciones a lo largo de su extensión. La paragénesis de la mineralización epitermal de este cuerpo se definió a partir del análisis petrológico, mineralógico y geoquímico de muestras de testigo corona de estos sondajes.

El depósito tiene una amplia historia de exploración, con diversas empresas que contribuyeron al desarrollo del proyecto desde su descubrimiento en el año 1997. El proyecto actualmente se halla en etapa de exploración avanzada, con recursos indicados en 746 kOz y una ley promedio de 2.36 g/t Au Eq. (Cube Consulting 2018).

La bibliografía científica disponible del proyecto Calcatreu es escasa. Se destacan los aportes de Fernández et al. (2008), Arangue et al. (2022), Wernert (2022) y Ganem et al. (2023) sobre la mineralización del depósito y aspectos de su geología local, además del modelamiento tridimensional de las principales vetas del proyecto provisto por Wernert et al. (2023).

La geología del depósito se encuadra en la provincia geológica del Macizo Nordpatagónico o Macizo de Somún Curá (Harrington 1962, Stipanovic y Methol 1972, 1980, Ramos 1999). La mineralización epitermal está hospedada en las vulcanitas intermedias jurásicas de la Formación Taquetrén (Nullo y Proserpio 1975, Nullo 1978), equivalente a la Formación Lonco Trapial (Lesta y Ferello 1972).

El potencial minero de la región del Macizo de Somún

Curá es elevado, y está dado en gran medida por sus abundantes depósitos epitermales portadores de recursos auríferos, auro-argentíferos y polimetálicos. Además del proyecto Calcatreu y los otros depósitos correspondientes al distrito minero Navidad-Calcatreu, se destaca el distrito minero Los Menucos (Franco et al. 1999, Gimeno et al. 2000, Cuchi et al. 2001, Ganem et al. 2023), en donde se encuentran los proyectos auro-argentíferos de alta sulfuración de Caltrauna, Laguna Amarilla y El Puesto (Río de Oro SA 2014), Iván (Trendix Mining SA 2023) y Cerro La Mina (Ducart et al. 2006), además de los proyectos de baja a intermedia sulfuración de La Luz, Dos Lagunas y Cerro Choique (Jovic et al. 2015, Trendix Mining SA 2023, Pagola et al. 2023) y Trancura (Río de Oro SA 2014). Asimismo, también se reconocen los proyectos polimetálicos de Mina Gonzalito (Korzeniewski et al. 2011, Jovic et al. 2015, Ganem et al. 2023, Trendix Mining SA 2023), San Roque (Dill et al. 2013, Jovic et al. 2015, González et al. 2022, Ganem et al. 2023), Toruel (Jovic et al. 2015, Ganem et al. 2023), y otros prospectos metalíferos menores. Dado su grado de desarrollo, Calcatreu está posicionado como un proyecto próximo para comenzar su explotación, y representaría el primer yacimiento metálico en producción de la provincia de Río Negro en tiempos recientes.

GEOLOGIA

Geología local

La estratigrafía de las áreas del proyecto Calcatreu, la localidad de Ingeniero Jacobacci y las zonas aledañas fue abordada por Nullo (1978), Coira (1979) y González et al. (2000). Las unidades más antiguas de la región corresponden al basamento ígneo-metamórfico, representado por los esquistos, gneises y migmatitas neoproterozoicos a eopaleozoicos de la Formación Cushamen (Volkheimer 1964, Varela et al. 1991, Dalla Salda et al. 1991, 1994, Duhart et al. 2002, Giacosa et al. 2004, Varela et al. 2005), y los intrusivos graníticos, granodioríticos y tonalíticos eopaleozoicos a neopaleozoicos de las formaciones Mamil Choique (Ravazzoli y Sesana 1977, Dalla Salda et al. 1994, Giacosa et al. 2004, Pankhurst et al. 2006) y Lipetrén (Nullo 1978, Dalla Salda et al. 1994, Rapela et al. 1991, Rapela y Pankhurst 1992).

Sobre las unidades de basamento se disponen las vulcanitas jurásicas de la Formación Garamilla, que incluyen riolitas, riodacitas y rocas piroclásticas de composición similar (Nullo 1978, Franzese et al. 2002, Benedini y Gregori 2012, 2013). Estas rocas se encuentran cubiertas por los depósitos jurásicos de la Formación Taquetrén (Nullo y Proserpio 1975,

Nulló 1978, Coira 1979, Ruiz et al. 2014), conformados por ignimbritas andesíticas intercaladas por cuerpos lávicos andesíticos y dacíticos, consideradas equivalentes a la Formación Lonco Trapial (Lesta y Ferello 1972, Page y Page 1993, Page et al. 1999, Zaffarana y Somoza 2012, Benedini y Gregori 2013, Cúneo et al. 2013, Figari et al. 2015, Bohuier et al. 2017, Zaffarana et al. 2018, 2020).

Aismismo, la estructuración de estas unidades, al igual que el emplazamiento de los múltiples episodios volcánicos mesozoicos, estuvieron enmarcados en el contexto geotectónico del desmembramiento de Gondwana (Rapela et al. 1992, Page et al. 1999, Navarrete et al. 2016, Zaffarana et al. 2018). Algunos autores encuadran esta deformación a la Zona de Falla de Gastre, un corredor de deformación mesozoica de rumbo NO-SE y aproximadamente 30-40 km de ancho que atraviesa al Macizo de Somún Curá (Coira et al. 1975, Rapela et al. 1991, Rapela y Pankhurst 1992, Rapela 1997). La estructuración de la Zona de Falla de Gastre estuvo condicionada por la existencia de anisotropías paleozoicas de rumbo NO-SE (Zaffarana et al. 2010, 2017), y está representada por múltiples sistemas del tipo *graben* y *horst*, que resultaron en la formación de cuencas volcano-sedimentarias en las áreas deprimidas a lo largo de su extensión (Von Gossen y Loske 2004, Klinger et al. 2011).

Bajo este contexto geotectónico, Hodgkin y Rivera (2001) definieron para la zona del depósito la Cuenca Volcano-Tectónica Calcatreu. Esta cuenca de retroarco o intraarco habría experimentado estructuración extensional bajo un régimen de *pull-apart*, con fallamiento normal de vergencia NE-SO. Según los autores, esta dinámica estaría asociada al tectonismo de la Zona de Falla de Gastre, y habría propiciado la génesis de al menos 5 eventos volcánicos riolíticos a andesíticos en la cuenca, equivalentes a las formaciones Garamilla y Taquetrén, y a los cuales también se asociaría el emplazamiento de pórfidos intermedios a ácidos responsables del hidrotermalismo vinculado a la mineralización epitermal de Calcatreu.

Durante el Cretácico, se depositaron sobre las unidades anteriores las sedimentitas continentales de la Formación Angostura Colorada (Volkheimer 1973, Nulló 1978, Manassero y Maggi 1995), seguido de las sedimentitas marinas someras y de transición de la Formación Coli Toro (Bertels 1969, Volkheimer 1973, Coira 1979).

La estratigrafía cenozoica de la región comprende rocas volcánicas de la Formación Huitrera (Ravazzoli y Sesana 1977, Nulló 1978, Coira 1979, Palotti et al. 2013), que abarcan andesitas, basaltos, traquitas, riolitas e ignimbritas de composición intermedia, y que corresponden al Paleoceno-Eoceno. Por encima y durante el Mioceno-Plioceno, se depositaron las tobas de la Formación Collón Curá (Volkheimer 1973, Coira

1979, Falco et al. 2022), al igual que diversas unidades basálticas de *plateau*. Los depósitos cuaternarios están representados por sedimentitas fluviales, aluviales y de laguna, como así también por basaltos modernos de *plateau*.

METODOLOGÍA

Las labores de mapeo y relevamiento geológico se realizaron durante múltiples campañas al proyecto Calcatreu, durante las cuales también se recolectaron muestras superficiales y datos estructurales. Además, también se trabajó sobre la base de 221 perforaciones que interceptan a la Veta 49, que incluyen tanto pozos de diamantina como aire reverso.

El logueo y muestreo se realizó sobre 34 sondajes de diamantina con testigos corona, seleccionados con el objetivo de realizar un análisis representativo de la mineralización a lo largo de su extensión y profundidad. Durante las labores de logueo se estudió la paragénesis mineral de la veta, a partir de la identificación de pulsos mineralizantes de acuerdo con su composición, texturas y relaciones de corte. Los sondajes seleccionados para este trabajo disponían de análisis geoquímico para aproximadamente cada metro de muestra, provisto por Patagonia Gold Corp. Esta geoquímica incluye mediciones de los contenidos de elementos mayoritarios, minoritarios y traza para los sectores donde se interceptó mineralización, y resultó de gran utilidad para precisar la presencia de minerales de mena en los pulsos definidos. Muestras representativas de cada pulso fueron posteriormente analizadas en detalle a partir de cortes delgados, pulidos calcográficos y difracción de rayos X.

Asimismo, se empleó la base de datos geoquímica y litológica total de las 221 perforaciones de la Veta 49, para confeccionar secciones longitudinales de la veta con la distribución del oro y la plata en el cuerpo mineralizado por medio del *software* de modelamiento geológico Leapfrog.

RESULTADOS

Mineralización epitermal del proyecto Calcatreu

El proyecto Calcatreu comprende numerosos enjambres de vetas epitermales y *stockworks* asociados, rellenas por múltiples pulsos de sílice, carbonatos, adularia y escasos sulfuros, con predominio de texturas bandeadas y brechosas. En base a esta mineralogía y sus texturas, el proyecto es clasificado como un sistema epitermal de baja sulfuración según Hedenquist et al. (2000) o como un depósito Au-Ag del tipo

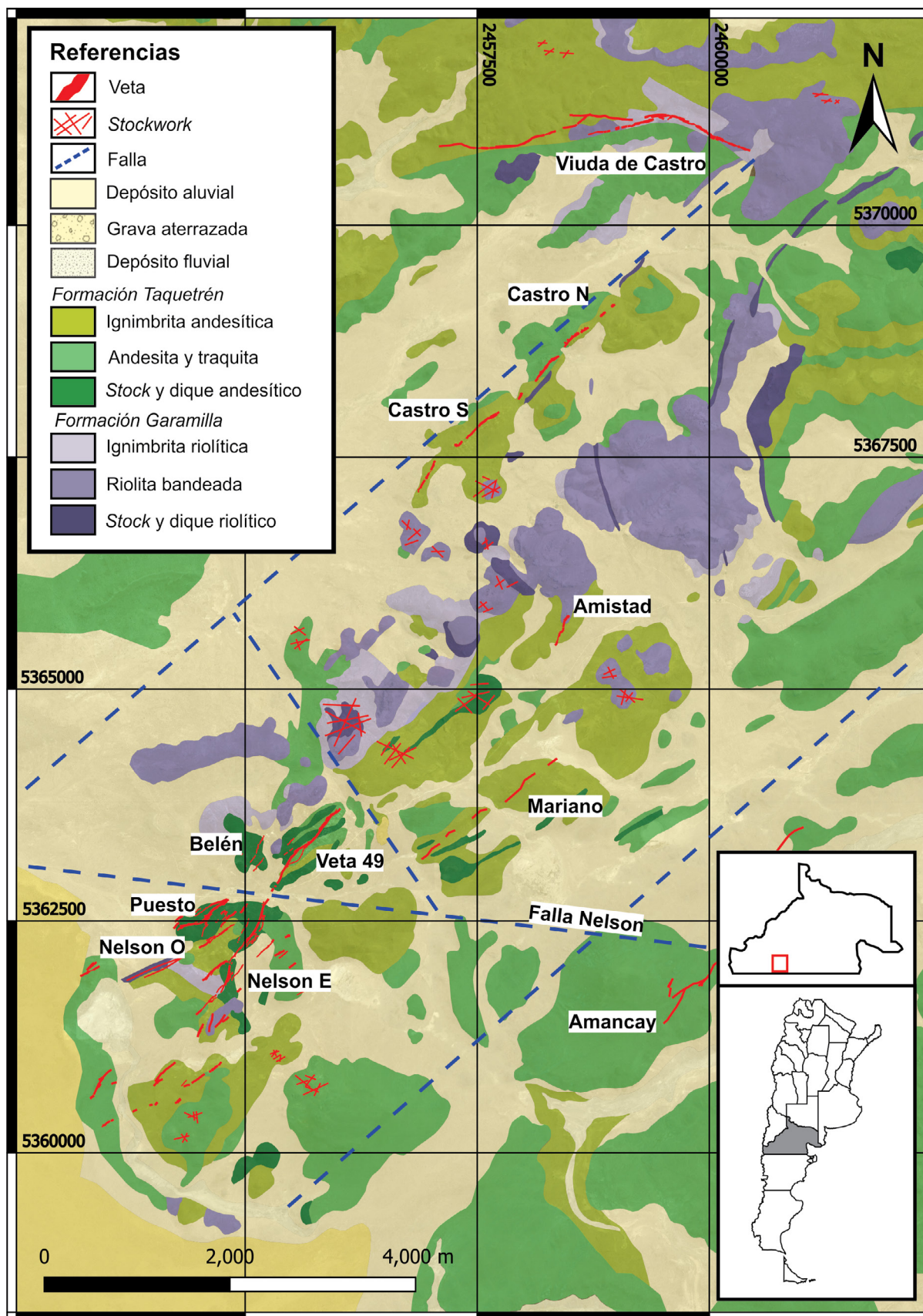


Figura 1. Mapa geológico del proyecto Calcatreu y su mineralización. Modificado de Hodgkin y Rivera (2001).

adularia-sericita según los modelos propuestos por Corbett y Leach (1998).

Entre los cuerpos principales mineralizados del depósito, se incluyen las vetas 49, Nelson E, Nelson O, Castro N, Castro S, Belén, Mariano, Amistad, Amancay y Viuda de Castro, al igual que otras zonas mineralizadas menores (Fig. 1). Los cuerpos se disponen en general con rumbo NE-SO, con la excepción de la veta Viuda de Castro, cuya orientación es E-O (Fig. 1).

La Veta 49 posee una corrida NE-SO de aproximadamente 1 km de extensión, geometrías sigmoidal y *en echelón*, y potencias de entre 3 a 12 m (Figs. 1, 2a, b). Los segmentos principales del cuerpo mineralizado están contenidos entre los azimuts 40° y 80° , que en promedio inclinan entre 55° y 75° hacia el SE, mientras que las ocasionales ramificaciones secundarias y *splays* se disponen entre los azimuts 0° y 30° . Asimismo, se identificaron ocasionales estrías de falla silicificadas en la Veta 49 (Fig. 2c), con ángulos de *rake* de entre 70° y 80° .

La terminación NE de la Veta 49 es coincidente con un cambio litológico entre un stock andesítico y depósitos extrusivos piroclásticos. El contacto entre estas unidades está dado a partir de una posible falla postmineral de rumbo NO-SE, aunque se destaca la presencia de brechas menores de carácter hidrotermal y rellenas por sílice bandeada, al igual que la silicificación penetrativa de las unidades allí presentes (Fig. 1).

Hacia el SE, la Veta 49 es interceptada por la falla Nelson, una importante estructura de rumbo E-O a NNE-SSO coincidente con un profundo valle fluvial, y que también limita hacia el SE el enjambre de vetas Nelson E, Nelson O y Puesto (Fig. 1). En promedio, estos cuerpos presentan potencias menores a las de la Veta 49, y están predominantemente rellenos por carbonatos de texturas bandeadas y brechosas, aunque se destaca la presencia de cuerpos menores rellenos por sílice brechosa y bandeada hacia los *targets* Nelson O y Puesto, al igual que ocasionales *stockworks* de cuarzo amatista.

Roca de caja y alteración hidrotermal

La mayor parte de la mineralización está alojada en vulcanitas de la Formación Taquetrén y, en menor medida, de la Formación Garamilla (Fig. 1). Las vetas Nelson y Puesto se albergan predominantemente en un stock andesítico de facies de autobrecha, conformada por clastos subangulares y subredondeados que varían entre 2 y 10 cm de tamaño (Fig. 3a). Vistas bajo el microscopio, las rocas presentan textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa, biotita y ocasional piroxeno, inmersos en una pasta afanítica de composición similar (Fig. 3b, c). El stock muestra diversos estilos de alte-

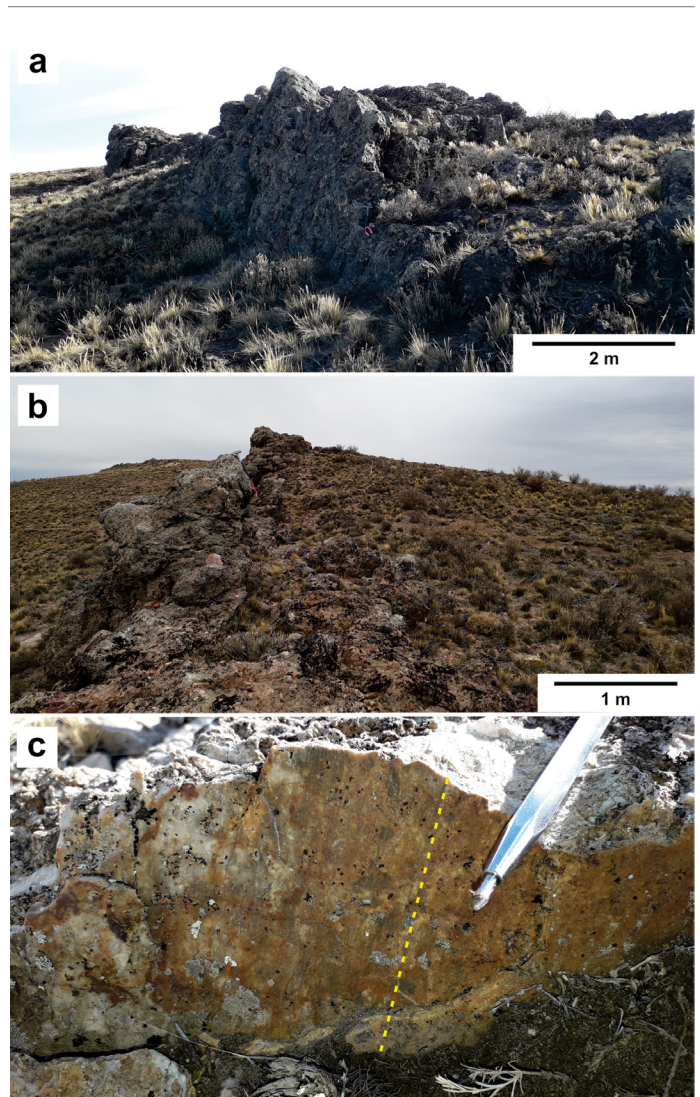


Figura 2. a y b) Fotografías de afloramientos de la Veta 49. c) Estrías de falla silicificadas en la Veta 49, resaltadas en línea punteada amarilla.

ración hidrotermal, que incluyen cloritización y piritización en los sectores distales a las vetas, y argilización con presencia de illita y caolinita en proximidad a los cuerpos mineralizados (Fig. 3a-c).

Las vetas 49, Amistad, Mariano y algunos tramos de las vetas Nelson se alojan en ignimbritas de composición cristalo-clástica masivas y de *surge* volcánico u oleadas piroclásticas, caracterizadas por estructuras tractivas de laminación subhorizontal y entrecruzada de bajo ángulo (Fig. 4a). Asimismo, algunos niveles de esta unidad tienen composición litoclástica, con tamaños que varían entre 0.5 y 5 cm, y que ocasionalmente pueden exceder 20 cm (Fig. 4b). La matriz de estas ignimbritas es fina y se encuentra totalmente alterada a minerales de los grupos de la esmectita, clorita y/o arcillas. Ocasionalmente, las ignimbritas poseen intercalación de lavas andesíticas coherentes, con espesores de entre 1 a 5 m y textura porfírica (Fig. 4c). Muchos de estos cuerpos pre-

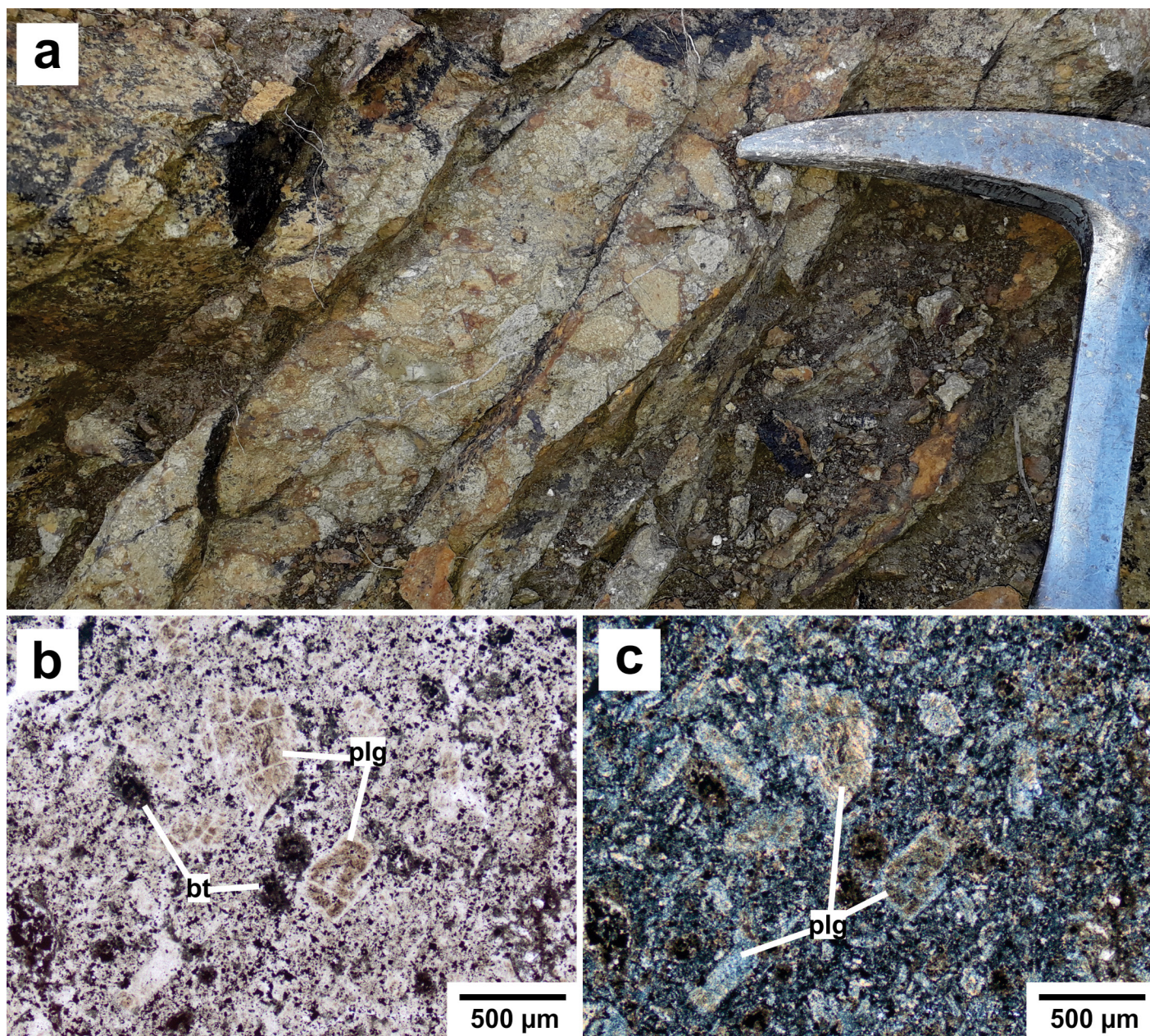


Figura 3. a) Afloramiento de autobrecha andesítica de la Formación Taquetrén. b y c) Micrografías de la autobrecha andesítica vista bajo nicols paralelos (B) y cruzados (C), donde se observan fenocristales de plagioclasa alterados a illita y de biotita reemplazados por clorita y pirita. Plg: plagioclasa; Bt: Biotita.

sentan amígdalas rellenas por minerales secundarios, como cuarzo, pirita y clorita (Fig. 4c, d).

El tramo norte de la Veta 49 se encuentra emplazada en un stock andesítico de textura porfírica (Fig. 5a), conformado por fenocristales de plagioclasa, biotita y piroxeno, inmersos en una matriz afanítica de composición similar (Fig. 5b, c). Este intrusivo posee bajo grado de alteración en comparación a otras unidades del proyecto, incluso en los contactos con las vetas, e incluye leve a moderada cloritización y piritización.

Los múltiples estilos de alteración hidrotermal del área de

Veta 49 generalmente se disponen de forma concéntrica en relación con el cuerpo mineralizado. La piritización y la alteración propilítica son de amplia distribución, y afectan a la mayoría de las litologías presentes en el depósito. A distancias moderadas de la Veta 49 y algunas de sus inmediaciones, Merker (2022) informó alteración propilítica conformada por calcita y minerales de los grupos de la esmectita y clorita. Asimismo, en algunos sectores de los contactos con la Veta 49 la roca de caja presenta argilización moderada a intensa con obliteración parcial de la textura volcánica, que según Merker (2022) incluyen illita, caolinita y minerales del grupo de la es-

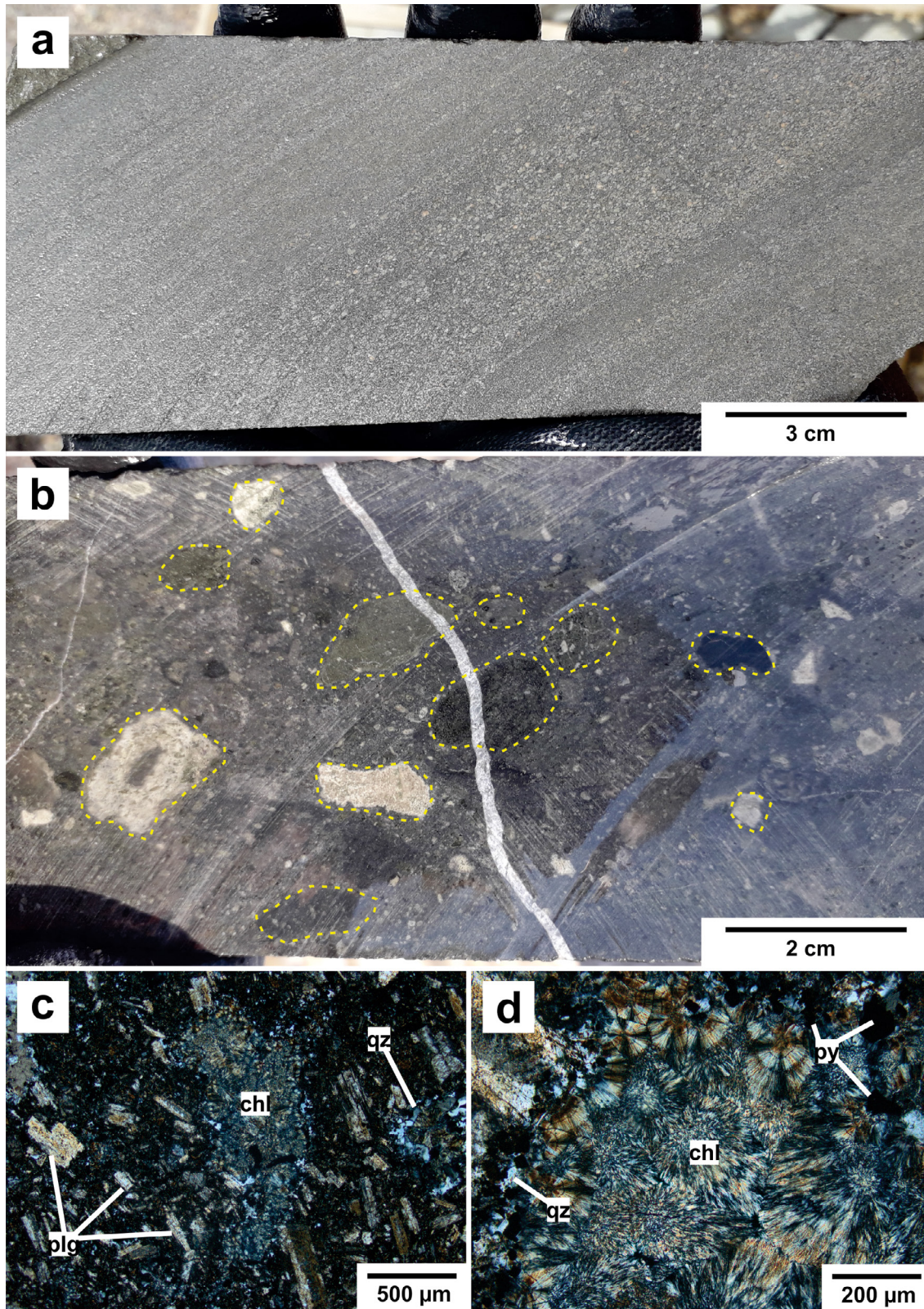


Figura 4. a) Fotografía de testigo de corona de perforación del sector Veta 49 (profundidad 176 m) correspondiente a niveles de *surge* andesíticos cristaloclásticos de laminación subhorizontal, con intercalación de capas arenosas finas a gruesas. b) Fotografía de testigo de corona de perforación del sector Veta 49 (profundidad 142 m) correspondiente a una ignimbrita andesítica litoclástica. Con línea punteada amarilla se resaltaron los litoclastos. c) Micrografía de la textura porfírica amigdalara de lava andesítica. Con analizador intercalado. d) Micrografía del relleno de la amígdala vista en (c), donde se aprecia un reborde de cuarzo-pirita, seguido de cloritas de hábito fibroso radial. Con analizador intercalado. Plg: plagioclasa; Chl: clorita; Qz: cuarzo; Py: pirita.

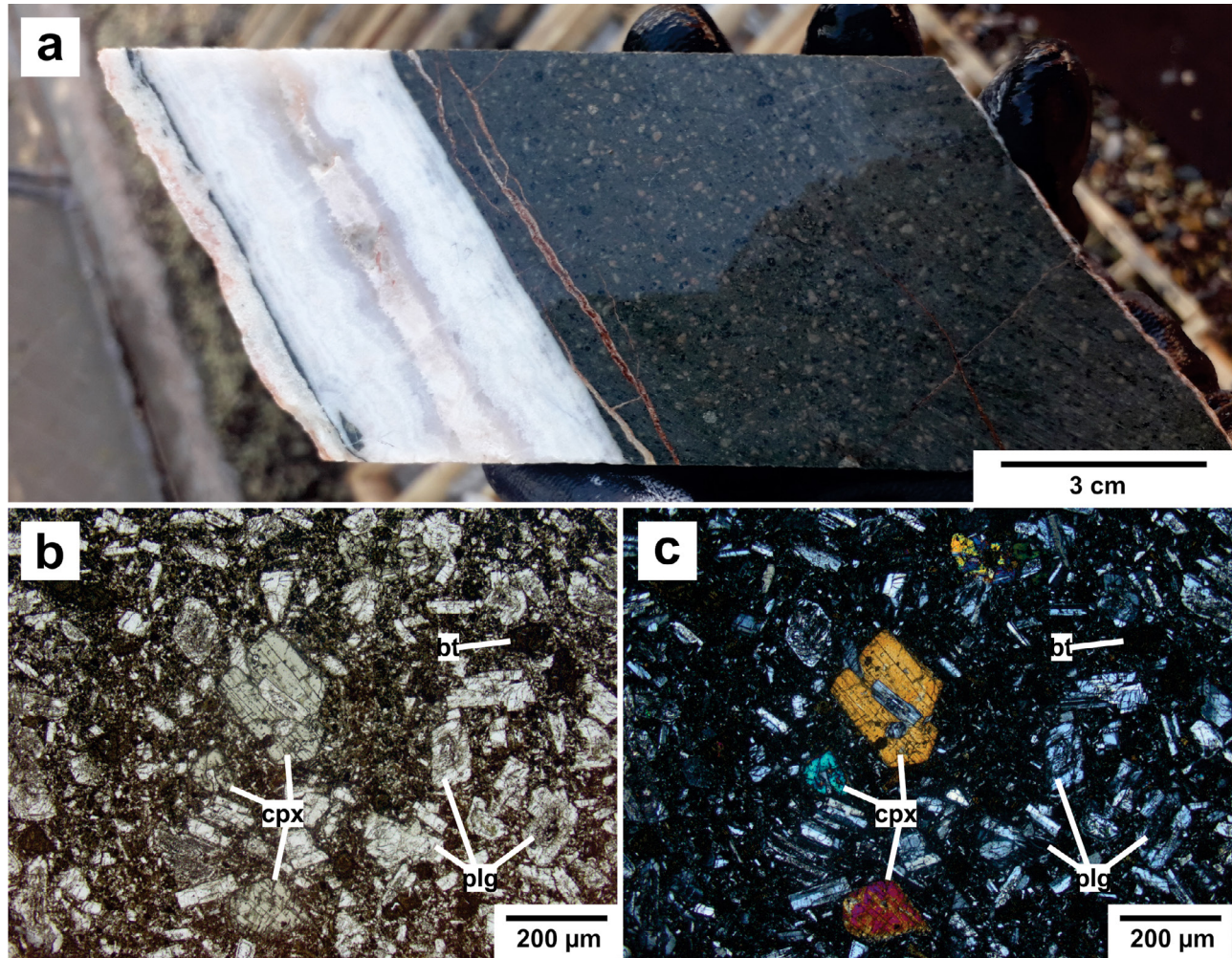


Figura 5. a) Fotografía de testigo de corona de perforación de la Veta 49 (profundidad 307 m) donde se observa el stock andesítico porfírico de roca de caja en contacto con la veta. b) Micrografía del stock andesítico, donde se aprecian fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno y biotita, inmersos en una matriz afanítica cloritizada. Sin analizador intercalado. c) Ídem (b), con analizador intercalado. Plg: plagioclasa; Bt: biotita; Cpx: clinopiroxeno.

mectita como producto de la alteración hidrotermal.

La roca de caja de las vetas Castro N y Castro S corresponde principalmente a niveles piroclásticos de tipo *surge* u oleadas piroclásticas (Fig. 6a-c). La granulometría de estos depósitos abarca generalmente tamaños de arena media a gruesa, aunque en raras ocasiones se identificaron niveles gravosos muy gruesos. Estas rocas presentan estructuras tractivas de laminación subhorizontal y entrecruzada de bajo ángulo, a veces con deformación por escape de gases (Fig. 6b) y calcos de carga (Fig. 6c), al igual que estructuras de impacto balístico (Fig. 6a).

Paragénesis de la Veta 49

La mineralización de la Veta 49 comprende 7 estadios, que abarcan un estadio tectónico-hidrotermal, 5 estadios hidrotermales y uno supergénico (Fig. 7). Se describen cada uno en detalle a continuación:

Estadio 1 (E1): Abarca brechas monomícticas matriz-sos-

tén, conformadas por clastos de la roca de caja. La matriz representa entre el 5 % y 25 % del volumen de estas rocas, y está compuesta por pirita diseminada, jaboncillo de falla y material clástico fino. El cemento representa entre un 1 % y 5 % del volumen de las brechas, y lo conforman minerales de los grupos de la clorita y la esmectita.

Estas rocas representan estadios de estructuración e hidrotermalismo anteriores a la mineralización del depósito. Las formas a veces subredondeadas de los clastos, al igual que su habitual rotación y la abundancia de material clástico fino en la matriz de las brechas sugieren procesos de atrición por tectonismo (Fig. 8a, b). Asimismo, la presencia de brechas con fábricas de tipo en mosaico o en rompecabezas cementadas por minerales hidrotermales evidencian procesos de fracturación hidráulica (Jébrak 1997), (Fig. 8b, c). Estos aspectos indican que las brechas del estadio 1 se generaron bajo condiciones hidrotermales a tectónico-hidrotermales.

La brechas del estadio 1 se disponen generalmente en al-

gunos contactos de la Veta 49, al igual que sus ramificaciones secundarias y zonas de falla asociadas. No se identificaron minerales de mena auro-argentífera ni la presencia de sulfuros o sulfosales de metales base asociados a este estadio, a excepción de la pirita temprana.

Estadio 2 (E2): Es el primer evento mineralizante, y está representado por brechas carbonáticas matriz-sostén de carácter tectónico-hidrotermal (Fig. 9a, b). Su composición es monomíctica, y la conforman clastos de la roca de caja in-

mersos en una matriz de material clástico fino que representa entre el 10 % y 20 % del volumen de estas rocas. El cemento representa entre el 20 % y 30 % del volumen de las brechas, y comprende calcita de color gris claro a blanco. Ocasionalmente se identificaron brechas de atrición asociadas a este estadio, caracterizadas clastos subredondeados con orientación, buena selección y tamaños de entre 0.1 y 2 mm.

Además, se asocian al estadio 2 vetas de textura masiva y bandeada, conformadas por calcita de color gris claro a

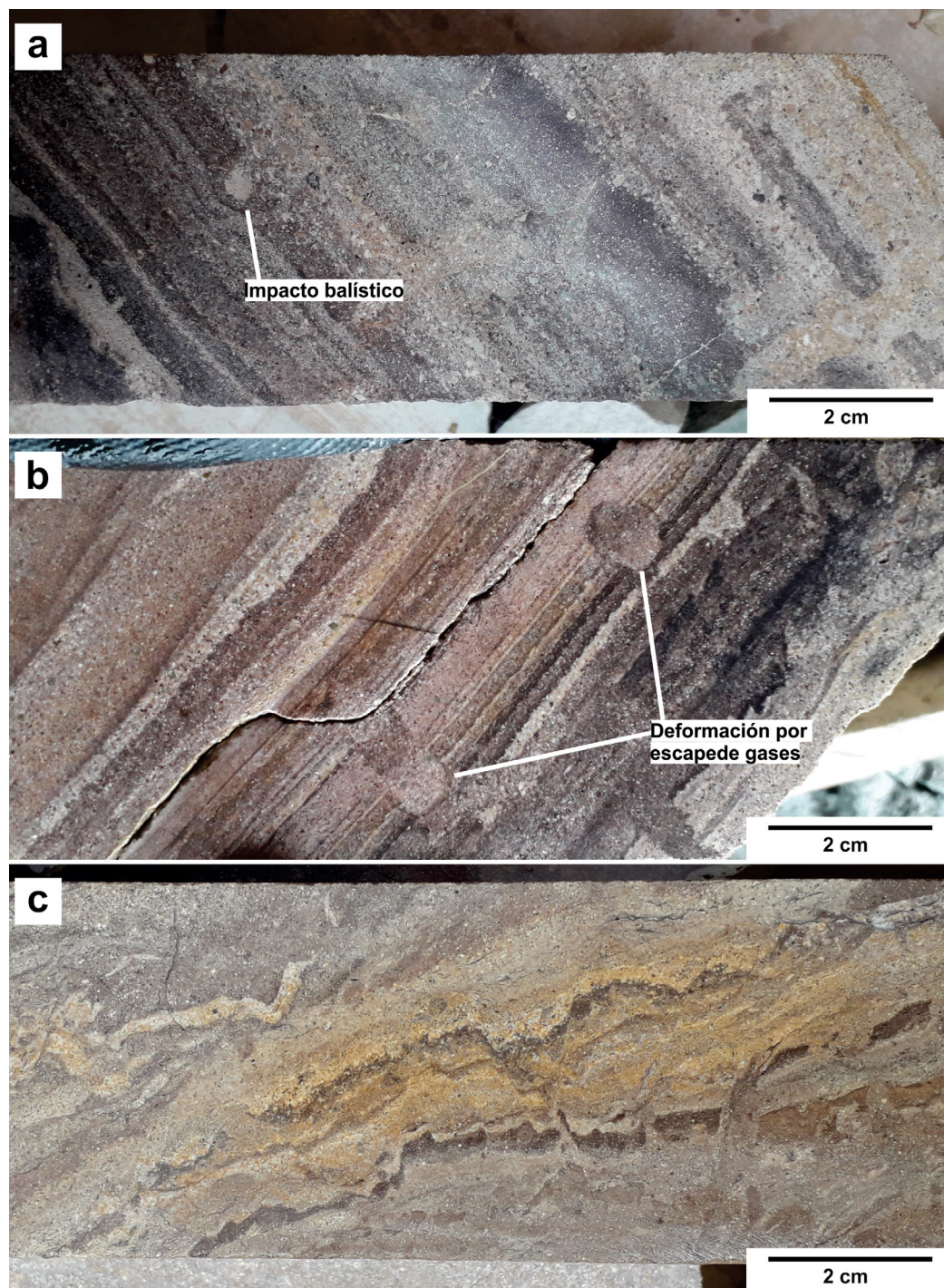


Figura 6. Fotografías de muestras de testigos de corona de perforaciones de los sectores de veta Castro y Castro S. a) Niveles de surge volcánico con estructuras de laminación subhorizontal e impacto balístico (profundidad 80 m). b) Niveles de surge volcánico con estructuras de laminación subhorizontal a entrecruzada de bajo ángulo, con deformación por escape de gases (profundidad 116 m). c) Niveles de surge volcánico con estructuras de laminación altamente deformadas por calor de cargas (profundidad 107 m).

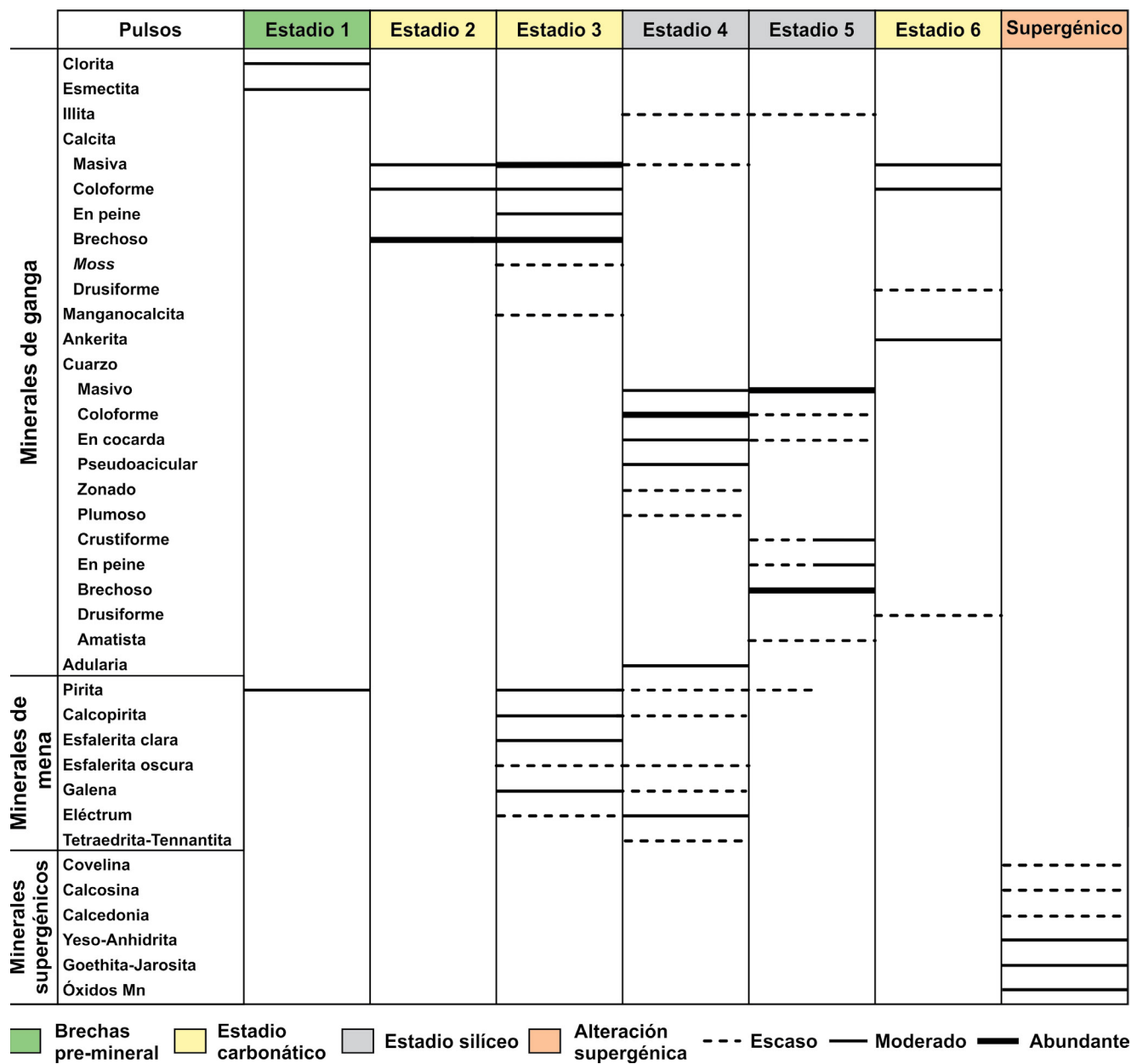


Figura 7. Evolución paragenética de los estadios mineralizantes de la Veta 49.

blanco (Fig. 9c). No se reportan concentraciones de mena auro-argentífera en las rocas de este evento, ni tampoco la presencia de metales vinculados a sulfuros y/o sulfosales.

Estadio 3 (E3): Está caracterizado por abundantes pulsos carbonáticos, que incluyen calcita de variedades blanca, gris clara, amarilla clara e incolora, al igual que ocasional manganocalcita de color rosado claro. Estos carbonatos integran vetas masivas de hasta 30 cm de potencia, que pueden también asociarse a intercalaciones de bandeados de textura coloforme de igual composición (Fig. 10a). Además, los carbonatos también fueron identificados con texturas tipo moss, aunque de forma infrecuente.(Fig. 10b).

Se asocia a este estadio la presencia de vetillas de sulfuros masivos de espesores variables entre 0.5 a 3 cm, conformadas por pirita, galena, calcopirita y/o esfalerita (Fig. 10c, d). La pirita presenta cristales euhedrales de entre 250 µm y 2.5 mm, y representa el sulfuro más abundante de este estadio. En ocasiones, se observaron inclusiones de granos de eléctrum de formas anhedrales y globulares, con tamaño de hasta 25 µm. Asimismo, la galena y esfalerita negra reemplazan en ocasiones a la pirita, lo que resulta en formas anhedrales y aspecto corroído para el sulfuro de hierro (Fig. 11a).

La galena se presenta como cristales de entre 200 µm y 1 mm, con formas euhedrales a subhedrales, y con frecuentes

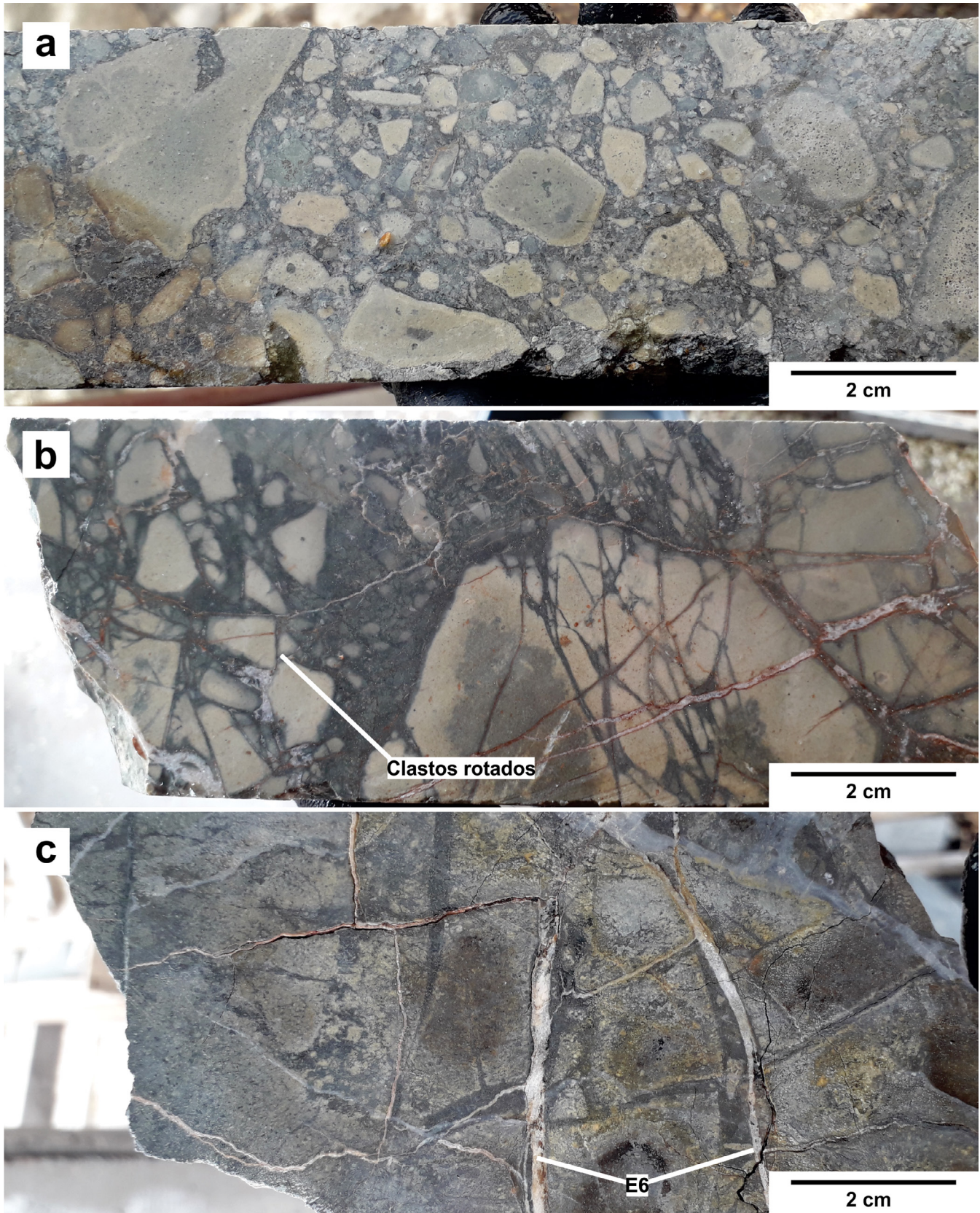


Figura 8. Fotografías de muestras de testigos de corona de perforaciones del sector de Veta 49. a) Brecha tectónica-hidrotermal del E1, con clastos subredondados de roca de caja y matriz de clorita-esmectita-pirita. b) Brecha tectónica-hidrotermal del E1, con clastos subangulosos a subredondados de roca de caja, a veces rotados. c) Brecha hidrotermal del E1, con fábrica en rompecabezas y vetillas del E6.

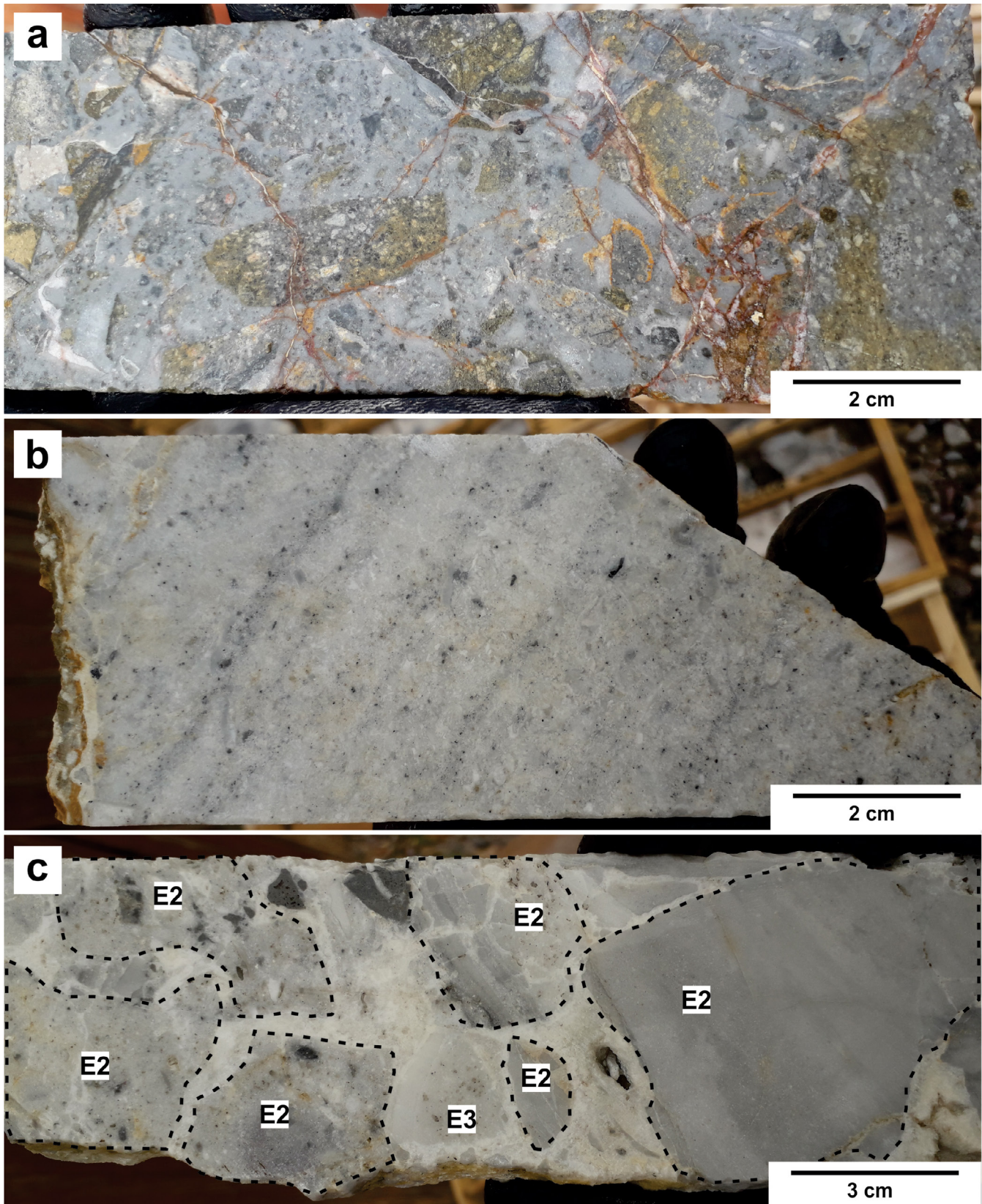


Figura 9. Fotografías de muestras de testigos de corona de perforaciones de la Veta 49. a) Brecha hidrotermal monomíctica del E2, con clastos subredondeados de roca de caja y matriz de calcita gris (profundidad 77 m). b) Brecha tectónico-hidrotermal monomíctica del E2, con finos clastos subredondeados de roca de caja orientados, cementados por calcita gris claro (profundidad 180 m). c) Brecha carbonática polimíctica del E3, conformada por clastos de brecha monomíctica del E2 y calcita gris bandeada del E2, cementada por calcita blanca masiva del E3 (profundidad 187 m).

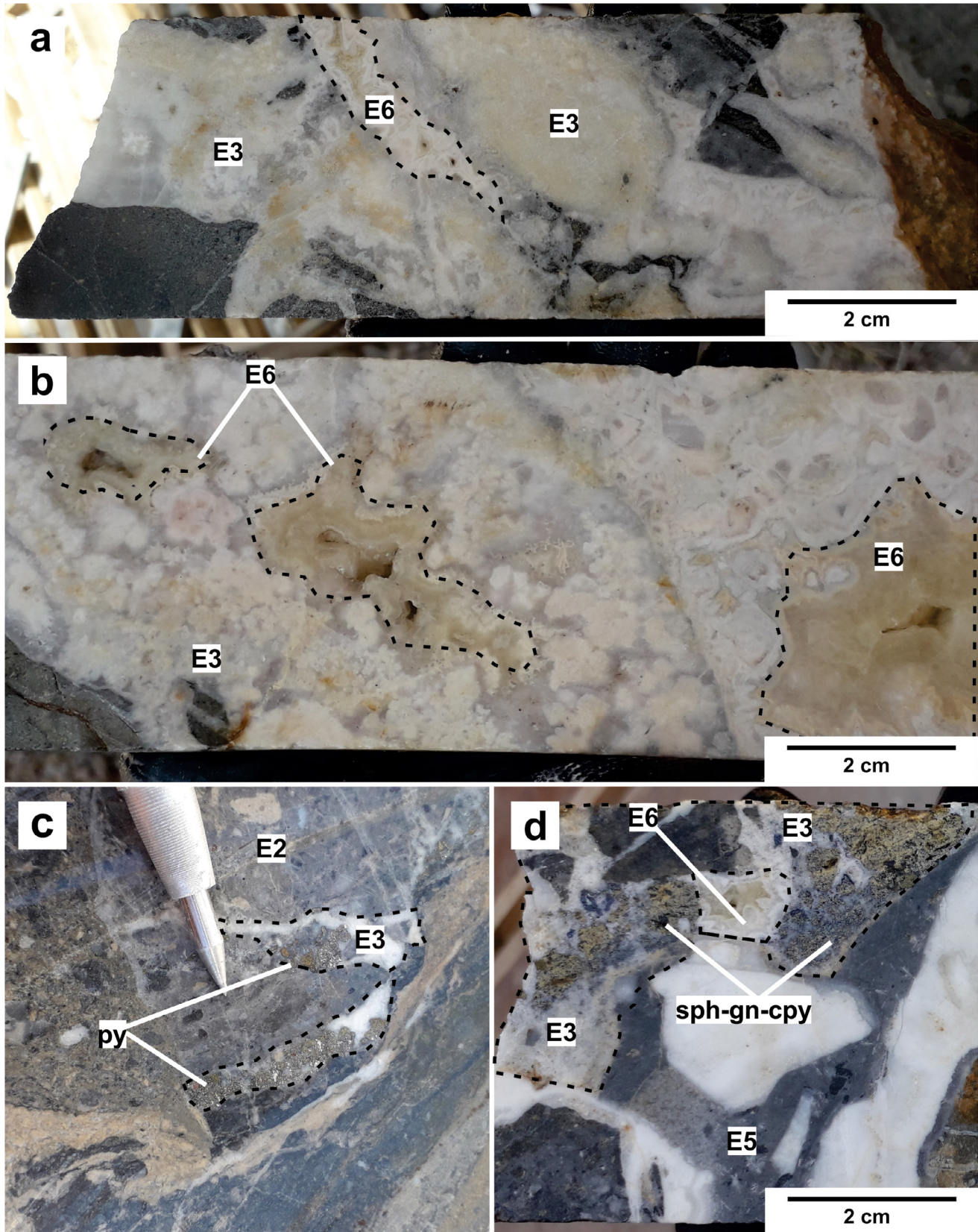


Figura 10. Fotografías de muestras de testigos de corona de perforaciones de la Veta 49. a) Veta de calcita masiva y bandeada del E3, atravesada por una vetilla bandeada de calcita-ankerita del E6 (profundidad 95 m). b) Veta de calcita blanca, amarilla y manganocalcita con textura moss del E3 y drusas de ankerita del E6 (profundidad 97 m). c) Brecha monomíctica del E2 atravesada por una vetilla del E3 de pirita y calcita blanca masivo. (profundidad 150 m). d) Brecha silíceea polimíctica del E5 con clastos de brecha del E3 con de esfalerita, galena y calcopirita, también con una drusa de ankerita amarilla del E6 (profundidad 144 m). Py: pirita; Sph: esfalerita; Gn: galena; Cpy: calcopirita.

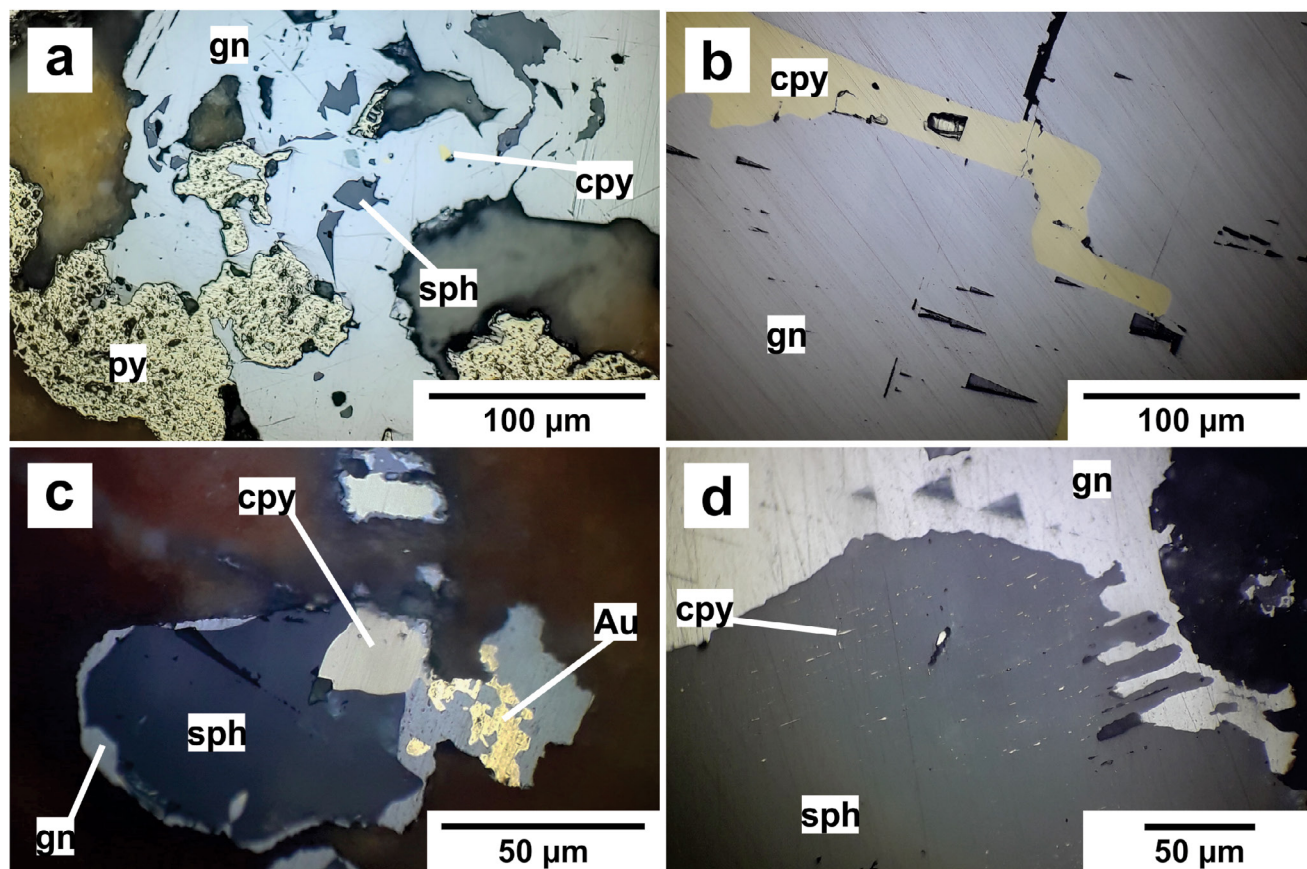


Figura 11. Micrografías de sulfuros del E3. a) Galena con exsoluciones de esfalerita y calcopirita en reemplazo parcial de pirita. Visto a través de aceite de inmersión. b) Calcopirita exsuelta en planos de clivaje de galena. Visto a través del aire. c) Galena con inclusiones de electrum, asociada a calcopirita y esfalerita. Visto a través de aceite de inmersión. d) Esfalerita con exsoluciones de calcopirita en reemplazo parcial de galena. Visto a través de aceite de inmersión. Py: pirita; Sph: esfalerita; Gn: galena; Cpy: calcopirita; Au: electrum.

exsoluciones de calcopirita y esfalerita a lo largo de sus bordes o sus planos de clivaje (Fig. 11b). Este sulfuro frecuentemente posee inclusiones de granos de electrum, las cuales exhiben formas anhedrales y globulares, con granulometrías variables entre 25 y 350 µm (Fig. 11c). La mayor parte del oro identificado para muestras del estadio 3 se asocia a la galena. Análisis geoquímicos de las muestras de perforaciones correspondientes a vetas portadoras de sulfuros del estadio 3 revelaron concentraciones máximas de oro de hasta 32.4 g/t, pero que por lo general varían entre 0.5 y 6.5 g/t aproximadamente.

La esfalerita se identificó en variedades rojiza y negra. La primera es la más común y se presenta como cristales subhedrales de hasta 2 cm (Fig. 10d), mientras que la variedad oscura normalmente se presenta en cristales anhedrales de no más de 300 µm, a veces con exsoluciones de granos de calcopirita en textura tipo disease con tamaños de hasta 5 µm (Fig. 11d), o bien como exsolución en cristales de galena o la pirita.

El estadio 3 también está representado por abundantes brechas polimícticas de fábrica matriz-sostén, con clastos

que corresponden a calcita y brechas hidrotermales del estadio 2, roca de caja y/o vetillas de sulfuro masivo (Fig. 9c), y que presentan formas subangulosas y tamaños que varían entre 0.2 a 20 cm. La matriz de estas brechas está conformada por partículas clásticas finas correspondiente a calcita del estadio 2.

Estadio 4 (E4): Está caracterizado por el desarrollo de sílice con texturas primarias de crecimiento, que incluyen bandeados coloformes, en cocarda y crustiformes. Estos bandeados tienen espesores de entre 1 a 5 mm, e intercalan variedades de sílice blanca lechosa, gris clara, amarilla clara e incolora, además ocasional calcita blanca, ginguros y adularia (Fig. 12a-d). Pulsos de sílice masiva también fueron identificadas para este estadio, y se presentan como rellenos de veta de hasta 20 cm de espesor.

Internamente, las bandas coloformes están constituidas por mosaicos de cuarzo criptocristalino a microcristalino (Fig. 13a), integradas por cristales subhedrales que no superan los 500 µm de tamaño. Los mosaicos de los bandeamientos intercalan entre granulometrías finas y gruesas, o bien siguen un orden granodecreciente. En ocasiones, las bandas de ma-

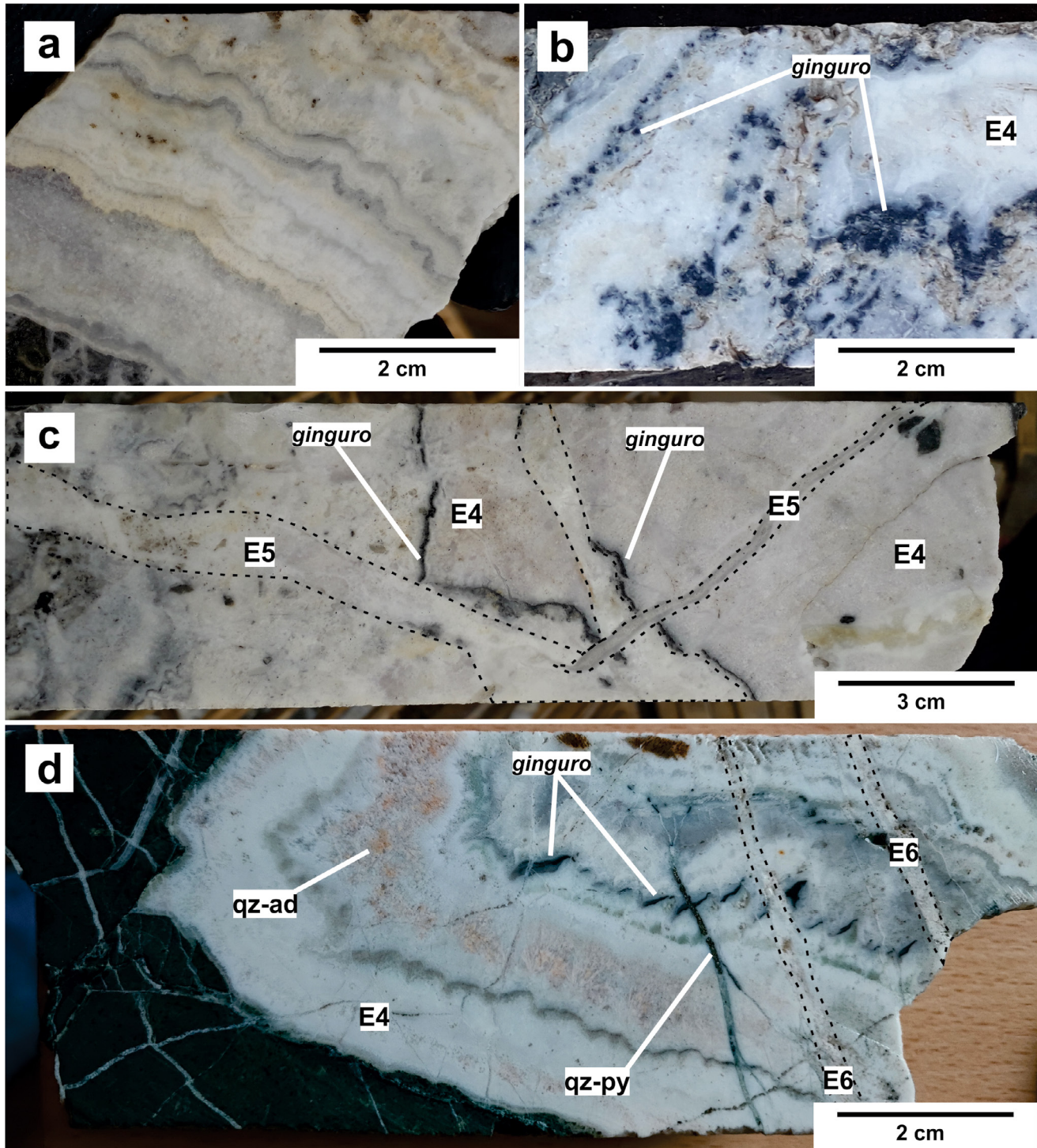


Figura 12. Fotografías de muestras de testigos de corona de perforaciones de la Veta 49. a) Bandeados coloformes silíceos del E4 (profundidad 168 m). b) Bandeados coloformes silíceos del E4, con ginguros moteados (profundidad 243 m). c) Sílice y carbonato masivos con ginguros del E4, interceptado por vetillas de sílice blanca masiva e incolora crustiforme del E5 (profundidad 142 m). d) Bandeados coloformes silíceos con adularia y escasos ginguros con deformación sigmoidal del E4, interceptados por vetillas de cuarzo y pirita del E5, además de vetillas de carbonato masivo del E6 (profundidad 296 m). Qz: cuarzo; Py: pirita; Ad: adularia.

yor granulometría presentan cristales de cuarzo euhedral con zonaciones dadas por inclusiones fluidas de hasta 25 μm de tamaño. A su vez, las terminaciones de estos cristales zonados a veces están dadas por cuarzo de textura plumosa radial (Fig. 13b).

Algunos bandeados coloformes pueden además contener illita y adularia como minerales accesorios (Figs. 12d, 13b, c). El feldespato posee color naranja a amarillo claro, y se presenta como cristales euhedrales de hábito rómbico y ocasionalmente tabular (Fig. 13c), con tamaños de entre 10 a 200

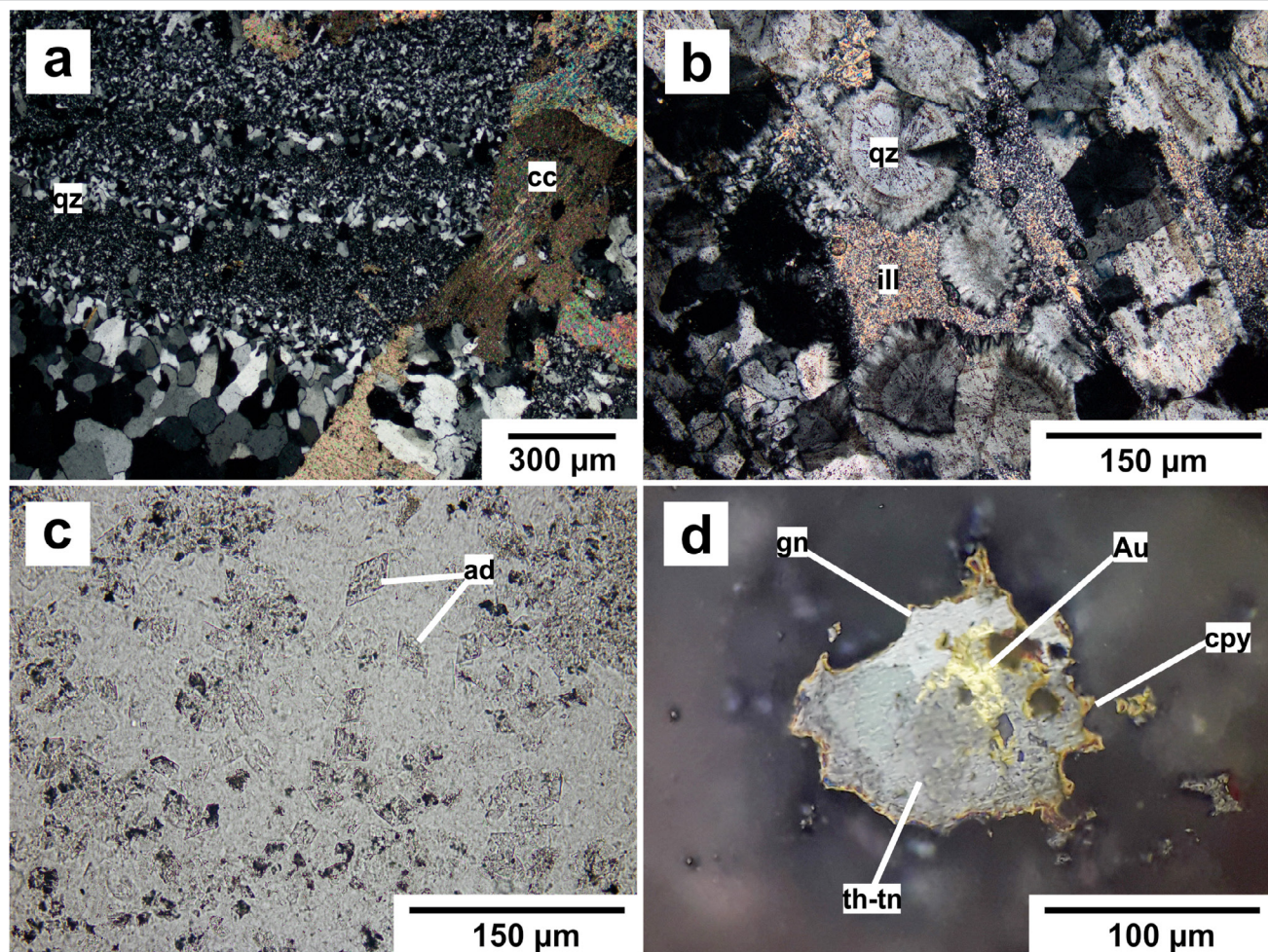


Figura 13. Micrografías de muestras representativas del E4. a) Bandeado coloforme de sílice, conformado por la alternancia de mosaicos criptocristalinos y microcristalinos, atravesados por una venilla de calcita. Con analizador intercalado. b) Cristales de cuarzo zonados con reborde de textura plumosa, asociados a illita. Con analizador intercalado. c) Cristales rómbicos de adularia en bandas de cuarzo. Sin analizador intercalado. d) Agregado de galena, electrum y tetrahedrita-tenantita, coronados por un halo de calcopirita. Visto a través de aceite de inmersión. Qz: cuarzo; Cc: calcita; Ill: illita; Ad: adularia; Gn: galena; Au: electrum; Cpy: calcopirita; Th-tn: tetrahedrita-tennantita.

µm, y una incipiente alteración a arcillas.

Uno de los rasgos más distintivos del estadio 4 es la presencia de sulfuros tipo *ginguros*, que se presentan como bandas de espesores de entre 0.2 y 5 mm, o bien como agregados de aspecto moteado dentro de otras bandas de cuarzo coloforme (Fig. 12b-d). Se identificaron dos variedades de *ginguros*; la primera compuesta casi exclusivamente por pirita subhedral a anhedral, acompañada por escasa galena y esfalerita; y la segunda integrada por múltiples sulfuros y sulfosales, que incluyen calcopirita, pirita, esfalerita, galena y tetrahedrita-tennantita. Es frecuente observar texturas de desmezcla entre estos minerales, y con frecuencia se identificaron agregados de esfalerita, galena y/o tetrahedrita-tennantita coronados por finos rebordes de calcopirita (Fig. 13d). Estos *ginguros* suelen concentrar abundante electrum, ya sea como inclusión dentro de la galena y la calcopirita, o bien en la misma sílice. La mayoría de las anomalías positivas de Au-Ag identificadas mediante geoquímica de perforaciones de la

Veta 49 es coincidente con ginguros de este estadio, y revelaron concentraciones máximas de oro de hasta 36.8 g/t, pero que por lo general varían entre 1 y 18 g/t aproximadamente.

Asimismo, también se asocian a estos bandeados texturas de reemplazo, producto de la silicificación de estadios previos. Con frecuencia se observaron bandas de cuarzo con textura pseudoacicular subparalela a radial (Fig. 14a), que vistas bajo el microscopio exhiben cuarzo criptocristalino a microcristalino e illita, dispuestas con geometría lineal y pseudomórfica tras el reemplazo de prismas de calcita del estadio 3 (Fig. 14b, c). Algunas de estas bandas presentan una silicificación parcial, dada la presencia de calcita relicta (Fig. 14d, e).

Estadio 5 (E5): Es un evento conformado casi exclusivamente por cuarzo de variedades blanca lechosa, gris clara, incolora y amatista (Fig. 15a-c). Está representado por vetas de sílice masiva, al igual que brechas silíceas matriz-sostén (Fig. 15a, c). Estas brechas presentan composición polimicta-

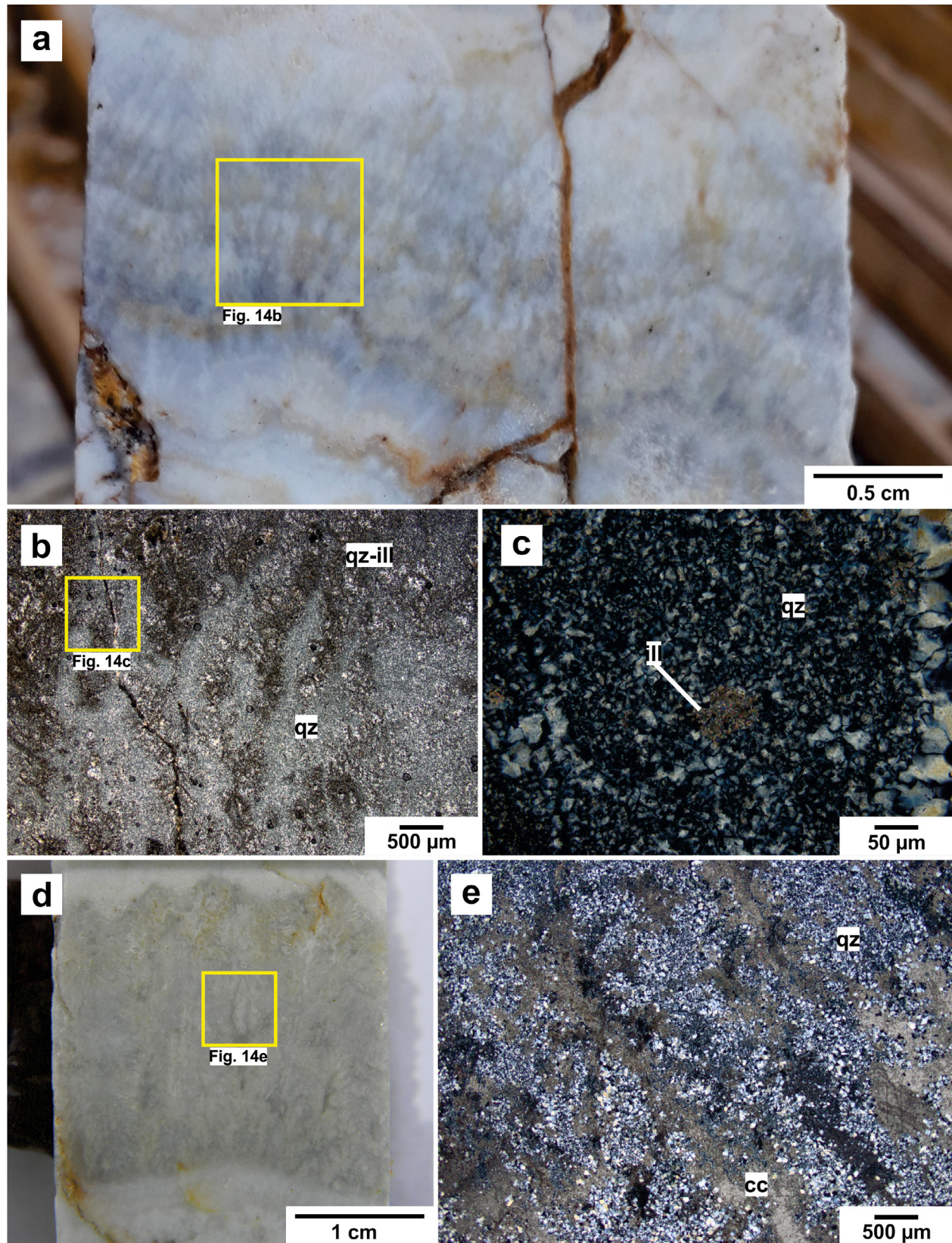


Figura 14. Texturas de reemplazo en bandeados silíceos del E4. a) Fotografía de muestra de testigo de corona de perforación de la Veta 49 con textura de cuarzo pseudoacicular (profundidad 71 m). b y c) Micrografías de (A), donde se observa un reemplazo pseudomórfico de calcita por cuarzo criptocristalino e illita. Con analizador intercalado. d) Banda de calcita prismática del E3 parcialmente silicificada (profundidad 165 m). e) Micrografía del detalle de A, donde se observan relictos de calcita parcialmente reemplazados por cuarzo criptocristalino. Con analizador intercalado. Qz: cuarzo; Cc: calcita; Ill: illita.

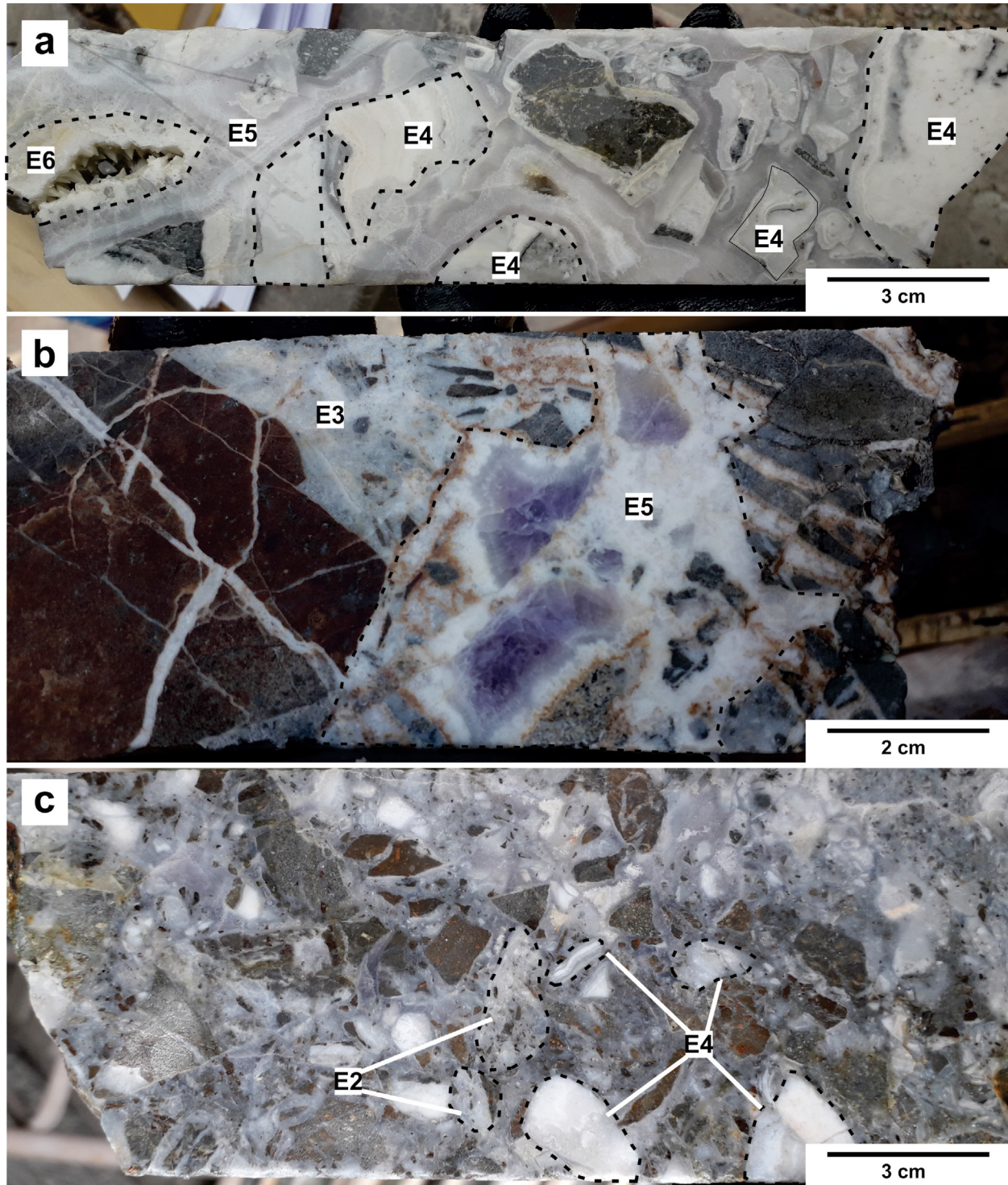


Figura 15. Fotografías de muestras de testigos de corona de perforaciones de la Veta 49. a) Brecha polimíctica del E5, con clastos de roca de caja y sílice bandeada del E4, además de una drusa de calcita prismática E6 (profundidad 231 m). b) Pulso de cuarzo de variedades blanco masiva y amethysta del estadio 5 interceptando brecha carbonática del estadio 3 (profundidad 120 m). c) Brecha polimíctica tectónico-hidrotermal del E5, conformada por clastos de roca de caja, sílice masiva y bandeada del E4, y fragmentos de brecha silicificada del E2 (profundidad 229 m).

ca, con clastos de sílice bandeada del estadio 4, carbonatos bandeados o brechosos de los estadios 2 y 3, y fragmentos de roca de caja, cementados por cuarzo masivo de color blanco a gris claro translúcido (Fig. 15a, b). En ocasiones, las brechas de este estadio halladas hacia la periferia de la Veta 49

poseen composición monomíctica, y están conformadas por clastos de roca de caja.

Las brechas del estadio 5 denotan origen hidrotermal y tectónico-hidrotermal. Las primeras se distinguen por su fábrica de tipo rompecabezas, integrada por clastos de formas

subangulares a subredondeadas que a veces se encuentran rodeados por cocardas de sílice gris coloforme (Fig. 15a). Las brechas tectónico hidrotermales se diferencian por poseer clastos de formas subangulosas, frecuentemente rotados, y la presencia de jaboncillo de falla y material clástico fino en su matriz (Fig. 15c). Se asocia a ambas brechas una moderada a intensa silicificación de los estadios carbonáticos previos y de la roca de caja.

Este estadio también abarca *stockworks* de cuarzo cristalino de variedades incoloro y amatista, con texturas en peine a crustiforme representadas por prismas subparalelos bien desarrollados de tamaños de hasta 2 cm. El cuarzo amatista también fue identificado con frecuencia como el relleno de cavidades y drusas en las vetas.

La precipitación de sulfuros fue mínima durante este estadio, limitada únicamente a ocasionales vetillas de pirita de no más de 2 mm de espesor (Fig. 12d). No se observaron minerales de mena auro-argentífera asociados a este pulso, salvo por la ocasional presencia de clastos con sulfuros o bandeados de *ginguros* en algunas brechas hidrotermales.

Estadio 6: Representa el último evento de mineralización

hidrotermal de la Veta 49, y abarca diversos pulsos carbonáticos a ocasionalmente silíceos de poco volumen. La expresión más común de este evento son las frecuentes vetillas de carbonato blanco masivo de entre 0.5 a 2 mm de espesor (Fig. 8c y 12d), las cuales han sido identificadas interceptando todos los estadios anteriores.

También se destaca la presencia de ankerita (Fig. 16) con característicos colores amarillo claro a verde intenso, aspecto translúcido y texturas coloformes bandeadas (Fig. 10a-b, d). Este carbonato normalmente se halla como relleno póstum en drusas de la veta, aunque en menor medida también fue identificado como relleno de brechas hidrotermales. Asimismo, durante este estadio precipitó también calcita blanca y cuarzo incoloro prismáticos como relleno de drusas, con cristales de tamaño entre 0.2 mm y 1.2 cm (Fig. 15a).

Estadio supergénico: La mineralización supergénica del depósito está representada principalmente por el desarrollo de óxidos de hierro y, en menor medida, manganeso. Los óxidos de hierro incluyen limonitas varias, como goethita y hematita, distribuidas en fracturas y en los sectores ricos de carbonatos.

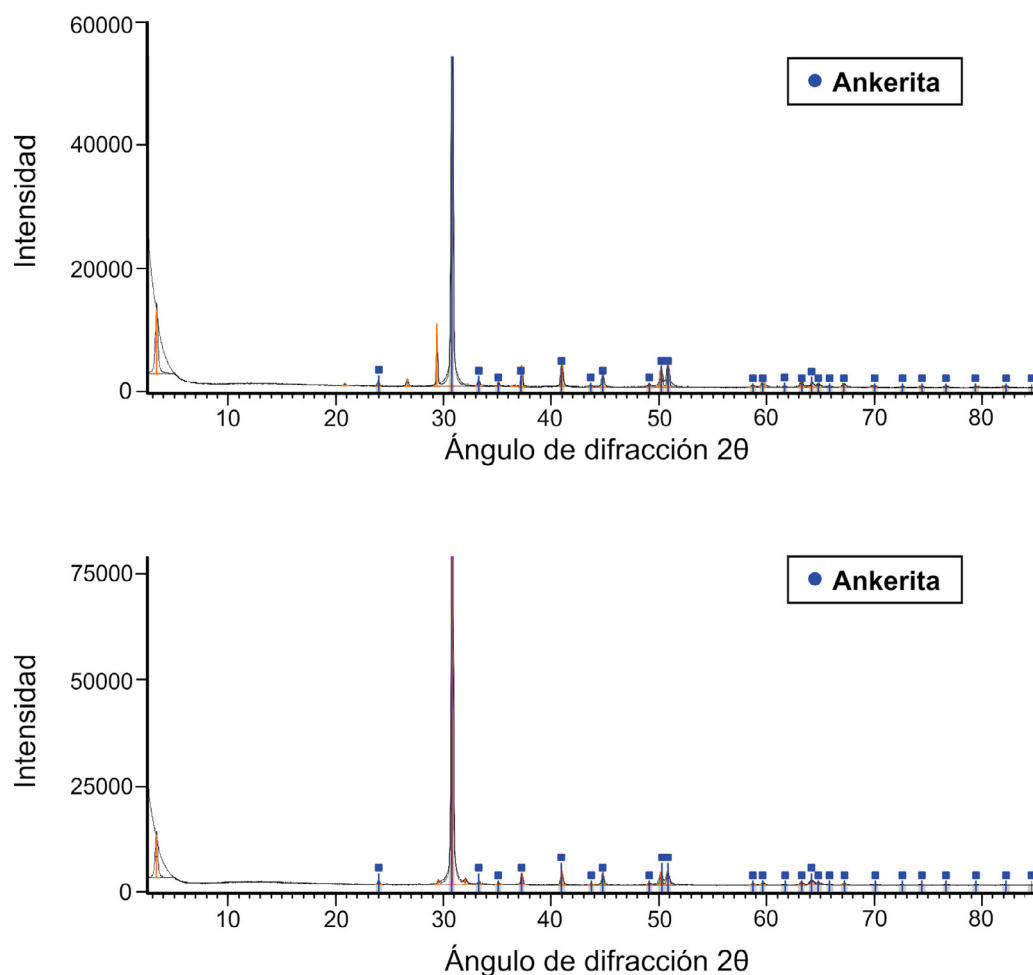


Figura 16. Difractogramas de rayos X para muestras de ankerita del E6 de la Veta 49.

También se asocian a este estadio la presencia de abundantes vetillas de yeso-anhidrita y ocasional calcedonia. Estas estructuras no fueron observadas interceptando pulsos previos ni rellenando vetas, sino que se desarrollaron hacia la periferia de la Veta 49, donde rellenan fracturas a lo largo de decenas de metros.

Distribución de Au-Ag en la Veta 49

Las concentraciones de Au (Fig. 17) y Ag (Fig. 18) en la Veta 49 muestran una correlación espacial positiva que se atribuye a la precipitación coetánea de ambos elementos. La distribución de estos metales refleja en parte el arreglo interno de la Veta 49, en donde hacia el extremo SO predominan los carbonatos de los estadios 2 y 3, y hacia el NE las brechas y bandeados silíceos de los estadios 4 y 5. Si bien una proporción menor de los metales preciosos se vincula a los escasos sulfuros masivos del estadio 3, las concentraciones de mayor interés económico se vinculan con el estadio 4 y, específicamente, con la presencia de sílice bandeadada con gingueros.

Asimismo, se observa que las mayores concentraciones

se Au y Ag se encuentran vectorizadas con inclinaciones de 20° y 50° hacia el NE (Figs. 17 y 18). Este aspecto permite suponer que los fluidos mineralizantes silíceos del estadio 4, portadores de elementos de interés económico, fueron canalizados en estructuras concretas dentro de la Veta 49, restringiendo su distribución en clavos mineralizados. También se denota la presencia de una marcada correlación entre concentraciones elevadas de Au-Ag en relación con el límite subhorizontal de la columna oxidada de la veta, que alcanza entre 60 y 90 m de profundidad, y presenta valores máximos de hasta 76.9 g/t. (Figs. 17 y 18).

DISCUSIÓN

La estructuración del proyecto Calcatreu se habría desarrollado bajo el marco geotectónico de la Cuenca Volcano-Tectónica Calcatreu propuesta por Hodkin y Rivera (2001), que según los autores, estuvo dominada por fallamiento normal al cual se vincularía el emplazamiento de la mena vetiforme. Las estrías de falla con elevado ángulo de rake (Fig.

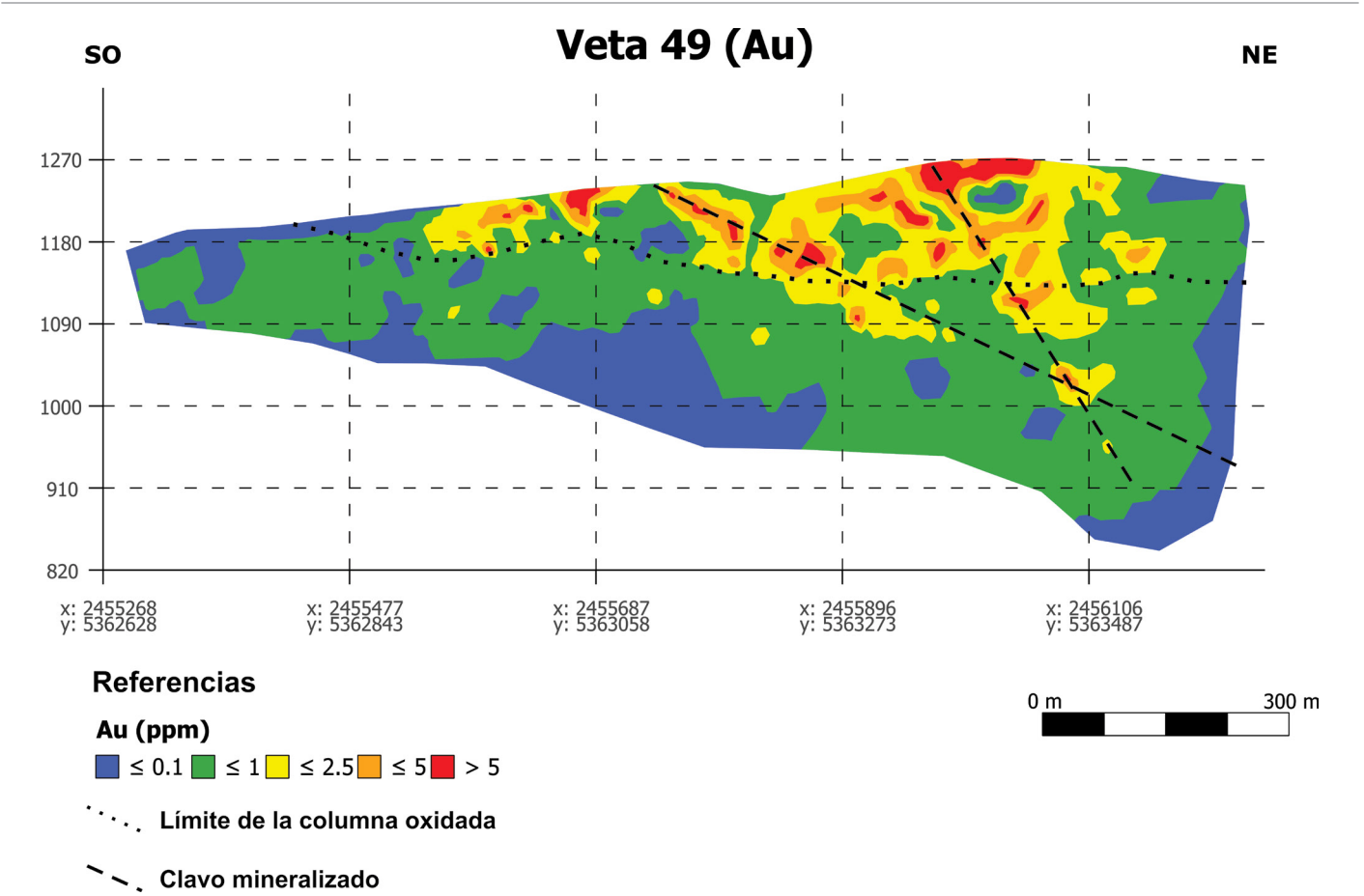


Figura 17. Distribución de las concentraciones de Au en la sección longitudinal de la Veta 49.

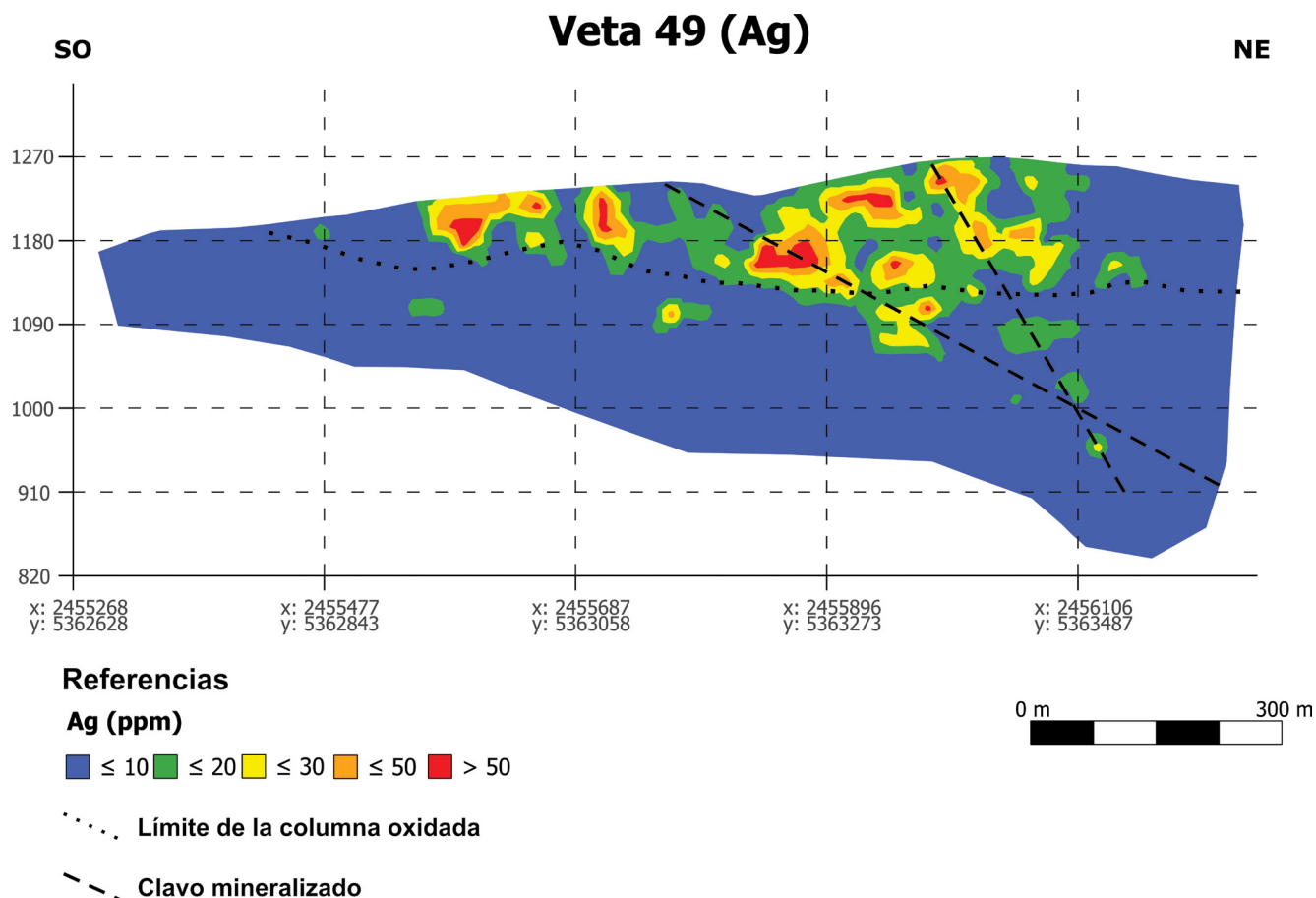


Figura 18. Distribución de las concentraciones de Ag en la sección longitudinal de la Veta 49.

6a) halladas en la Veta 49 evidencian una estructuración de movimiento subvertical con bajo componente de rumbo, y sirven de sustento para este modelo, aunque aún resta hallar indicadores cinemáticos que registren el sentido del desplazamiento.

Bajo este contexto geotectónico, las etapas iniciales del hidrotermalismo del área de la Veta 49 habrían estado vinculadas con este régimen estructural. Las brechas hidrotermales y tectónico-hidrotermales del estadio 1 se consideran producto de estos procesos, y representarían las etapas precursoras al emplazamiento de la mena vetiforme.

La mineralización de la Veta 49 comenzó durante el estadio 2, que también estuvo dominada por importantes componentes tectónicas, y resultó en las brechas tectónico-hidrotermales y las ocasionales brechas de atrición que caracterizan al estadio. Estas condiciones cambiaron hacia el estadio 3, donde el sistema favoreció significativamente la apertura de espacios, como lo evidencian las abundantes vetas de carbonatos bandeados y ocasionales sulfuros masivos. La presencia de brechas hidrotermales de este estadio se interpreta como producto de la fracturación hidráulica tras el sellado de

la permeabilidad por cementación (Chauvet et al. 2006, Jovic et al. 2019).

El estadio 4 marca la transición a una mineralización predominantemente silíceea, que abarca texturas bandeadas coloformes a las que se asocian las principales concentraciones auro-argentíferas del proyecto, además de la silicificación de los carbonatos de estadios anteriores. Estos bandeados indican que la estructuración del sistema prosiguió con la apertura de espacios, que específicamente devino en el desarrollo de los clavos mineralizados en los que se concentró la mineralización del estadio 4 (Figs. 17 y 18).

Asimismo, se interpreta que este último episodio de estructuración fomentó la despresurización y ebullición del sistema epitermal. La ebullición es considerada como un importante agente de control para la mineralización de interés económico en sistemas epitermales (Hedenquist et al. 2000, Seward et al. 2014), y diversas evidencias de este proceso pueden hallarse en el estadio 4, entre los que se destacan la presencia de bandeamientos coloformes silíceos (Fournier 1985, Saunders 1994, Dong et al. 1995, Henley y Hughes 2000, Simmons y Browne 2000, Shimizu 2014, Moncada et al. 2017),

adularia (Dong y Morrison 1995, Simmons y Browne 2000, Shimizu 2014, Moncada et al. 2017) y *ginguros* (Brown 1986, Shimizu 2014)

Los procesos de ebullición habrían disminuido significativamente su magnitud hacia el estadio 5, para el cual se identificaron escasos bandeados coloformes como única evidencia de este proceso. Las brechas silíceas hidrotermales que caracterizan al estadio sugieren que, durante esta etapa, predominó la fracturación hidráulica, posiblemente como consecuencia del sellado de permeabilidad tras la mineralización del estadio 4. Asimismo, durante la mineralización del estadio 5 el depósito también experimentó reactivaciones tectónicas, evidenciado por las frecuentes brechas de carácter tectónico-hidrotermal asociadas.

El estadio 6 representaría la etapa final de mineralización y sellado del sistema hidrotermal, donde precipitaron carbonatos y cuarzo que desarrollaron acotados volúmenes de veta.

La alteración meteórica del depósito no desarrolló concentraciones significativas sulfuros de enriquecimiento supergénico. Asimismo, la correlación entre concentraciones de alta ley de Au y Ag en la columna oxidada sugerirían un posible enriquecimiento secundario para estos metales preciosos.

CONSIDERACIONES FINALES

La mineralización de la Veta 49 del proyecto Calcatreu se desarrolló bajo un régimen de fallamiento normal, está albergada en ignimbritas y *stocks* andesíticos de la Formación Taquetrén, y abarcó al menos 7 estadios hidrotermales. El primero corresponde a los estadios tempranos del hidrotermalismo de la zona, y comprende múltiples brechas hidrotermales a tectónico-hidrotermales rellenas por pirita y minerales de los grupos de la clorita y esmectita.

El estadio 2 representa el primer evento mineralizante, y está caracterizado por brechas tectónico-hidrotermales monomícticas y escasa calcita bandeadas a masiva. El estadio 3 abarca principalmente vetas de carbonato masivo y bandeadas, al igual que brechas hidrotermales rellenas por estos carbonatos. A estos carbonatos se asocia el desarrollo de vetillas de sulfuros masivos, que a veces poseen eléctrum como inclusión en la galena y, en menor medida, la pirita. Este estadio también indica la transición hacia una mineralización dominada por procesos de ebullición.

El estadio 4 está caracterizado por bandeados de sílice coloforme intercalados por adularia, calcita y *ginguros*, concentrados en dos clavos mineralizados dentro de la Veta 49. La mayor parte del oro y la plata del depósito precipitó como

eléctrum en estas bandas de *ginguros*, que además incluyen pirita, esfalerita, galena, calcopirita y tetraedrita-tenantita. El estadio 5 también es de composición silícea, pero es estéril y está representando por brechas hidrotermales a tectónico-hidrotermales y *stockworks* de cuarzo incoloro, gris y amatista de textura en peine, crustiforme y masivo.

El estadio 6 corresponde a pulsos estériles póstumos del hidrotermalismo de la Veta 49, y abarca finos bandeados coloformes de calcita y ankerita, al igual que cuarzo y calcita drusiforme.

El ciclo supergénico está representado por óxidos de hierro y manganeso, al igual que vetillas de yeso-anhidrita, calcedonia y ocasionales sulfuros de cobre de enriquecimiento secundario. La columna oxidada abarca hasta 90 m de profundidad, y es coincidente con niveles subhorizontales de alta ley en la Veta 49.

El análisis de la evolución paragenética permitió vincular la presencia del Au a estadios mineralizantes específicos, al igual que su concentración de interés económico en clavos mineralizados. Estos aspectos suponen una optimización para la exploración del depósito, al igual que una útil herramienta para orientar futuros sondeos en otros sitios mineralizados del proyecto Calcatreu.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Patagonia Gold Corp. por su disposición y apoyo para facilitar el acceso al proyecto y sus perforaciones. En particular, destacan los valiosos aportes provistos por los geólogos Jonatan Arangue y Sebastián Andrada durante las tareas de mapeo y logueo, al igual que la asistencia provista por el personal técnico de la empresa. Se agradece también a la Asociación Mineralógica Argentina, la Comisión Científica de Petrología Ígnea y Metamórfica y al Comité Organizador por la planificación del 14 MinMet y V PIMMA; a los revisores y editores a cargo del volumen especial en honor a la Dra. Milka Kronegold de Brodtkorb por sus valiosos comentarios; al Lic. Miguel del Blanco de la División de Mineralogía, Petrología y Sedimentología del Museo de Ciencias Naturales de La Plata por su asistencia con el análisis de difracción de rayos X; y al Dr. Gerardo Páez por sus valiosos comentarios y aportes sobre las unidades volcánicas estudiadas.

REFERENCIAS

Aquiline Resources Inc. 2007. Calcatreu Gold Project. Initial Feasibility

- Study. Snowden Optiro. Informe técnico (inédito), 237 p., Londres.
- Arangue, J., Andrada, S., Villavicencio, F. y Vera, D. 2022. Nuevos aportes a la exploración del Distrito Calcatreu, Río Negro, Patagonia Argentina. XXI Congreso Geológico Argentino, Actas: 1569-1570, Puerto Madryn.
- Arizmendi, A., Brodtkorb, M. y Bernhardt, H.J. 1996. Paragénesis mineral de la mina Ángela, Gastre, provincia del Chubut. 3º Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de la Plata, 5: 1-7. La Plata.
- Bassi, H. y Rochefort, G. 1979. Estudios geológicos de la Mina Ángela, con énfasis en sus características estructurales. II Congreso Geológico Chileno, Actas: C419-C435. Antofagasta.
- Benedini, L. y Gregori, D. 2012. La Formación Garamilla: evento volcánico del Jurásico Inferior del sector occidental de la Comarca Nordpatagónica, Provincia de Río Negro, Argentina. Aportes al Magmatismo y Metalogénesis. Serie Correlación Geológica 28: 9-26. San Miguel de Tucumán.
- Benedini, L. y Gregori, D. 2013. Significance of the Early Jurassic Garamilla formation in the western Norpatagonian Massif. Journal of South American Earth Sciences 45: 259-277.
- Bengochea, A.L., Mas, G.R., Maiza, P.J. y Varela, M.E. 1988. Petrografía y termometría de las inclusiones fluidas de la veta Platífero W, Mina Ángela. Provincia del Chubut. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas 7: 430-442. Buenos Aires.
- Bertels, A. 1969. Estratigrafía del límite Cretácico-Terciario en Patagonia Septentrional. Revista de la Asociación Geológica Argentina 24 (1): 41-54.
- Bouhier, V.E., Franchini, M.B., Caffè, P.J., Maydagán, L., Rapela, C.W. y Paolini, M. 2017. Petrogenesis of volcanic rocks that host the world-class Ag-Pb Navidad district, North Patagonian Massif: comparison with the Jurassic Chon Aike volcanic province of Patagonia, Argentina. Journal of Volcanology and Geothermal Research 338: 101-120.
- Bouhier, V., Franchini, M., Tornos, F., Rainoldi, A.L., Patrier, P., Beaufort, D., Boyce, A.J., Pratt, W. y Impiccini, A. 2023. Genesis of the Loma Galena Pb-Ag deposit, Navidad district, Patagonia, Argentina: A unique epithermal system capped by an anoxic lake. Economic Geology 118 (2): 433-457.
- Brown, K.L. 1986. Gold deposition from geothermal discharges in New Zealand. Economic Geology 81: 979-983.
- Cardó, R., Segal, S.J., Zubia, M. y Ferpozzi, F. 2003. Metalogenia del Oro de la República Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 38. Buenos Aires.
- Cardó, R., Godeas, M., Márquez, M., Ramallo, E. y Zanettini, J.C. 2015. Las Fajas Metalogenéticas Cupríferas de la República Argentina. Anales LIII. 158 p. Buenos Aires.
- Chauvet, A., Bailly, L., André, A., Monié, P., Cassard, D., Llosa Tajada, F., Rosas Vargas, J. y Tuduri, J. 2006. Internal vein texture and vein evolution of the epithermal Shila-Paula district, southern Perú. Mineralium Deposita 41 (4): 387-410.
- Coira, B., Nullo, E., Proserpio, C. y Ramos, V. 1975. Tectónica del basamento en la región occidental del Macizo Nordpatagónico (provincia de Río Negro y Chubut), República Argentina. Revista Asociación Geológica Argentina 30 (4): 361-383.
- Coira, B. 1979. Descripción Geológica de la Hoja 40 d, Ingeniero Jacobacci, Provincia de Río Negro. Carta Geológico-Económica de la República Argentina. Servicio Geológico Nacional. Boletín 168. 101 p. Buenos Aires.
- Corbett, G.J. y Leach, T.M. 1998. Southwest Pacific gold-copper systems: structure, alteration and mineralization. Society of Economic Geologists Special Publication 6, 238 p.
- Cuchi, R., Busteros, A. y Lema, H. 2001. Hoja Geológica 4169-II, Los Menucos. Provincia de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 265, 67 p. Buenos Aires.
- Cube Consulting 2018. Mineral Resource Estimate, Calcatreu Gold-Silver Project, Río Negro, Argentina. Informe técnico (inédito), 256 p., Perth.
- Cúneo, R., Ramezani, J., Scasso, R., Pol, D., Escapa, I., Zavattieri, A.M., Bowring, S.A., 2013. High-precision U-Pb geochronology and a new chronostratigraphy for the Cañadón Asfalto Basin, Chubut, central Patagonia: Implications for terrestrial faunal and floral evolution in Jurassic. Gondwana Research 24: 1267-1275.
- Dalla Salda, L., Varela, R. y Cingolani, C. 1991. Los granitoides de Chasicó-Mencué, Macizo Norpatagónico. Su implicancia geotectónica. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 46 (3-4): 189-200.
- Dalla Salda, L., Varela, R., Cingolani, C. y Aragón, E. 1994. The Río Chico Paleozoic Crystalline Complex and the evolution of Northern Patagonia. Journal of South American Earth Sciences, 7 (3-4): 377-386.
- Dalla Salda, L., Varela, R. y Cingolani, C. 1999. El basamento pre-gondwánico del centro-oeste del Macizo Nordpatagónico. En: Caminos, R. (ed.), Geología Argentina, Instituto de Geología Y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29: 107-112, Buenos Aires.
- Dessanti, R.N. 1957. Vetas metalíferas y fracturas en la Mina Ángela, Departamento Gastre, Chubut. Revista de la Asociación Geológica Argentina 11 (2): 116-141.
- Dill, H.G., Garrido, M.M., Melcher, F., Gomez, M.C., Weber, B., Luna, L.I. y Bahr, A. 2013. Sulfidic and non-sulfidic indium mineralization of the epithermal Au-Cu-Zn-Pb-Ag deposit San Roque (Provincia Río Negro, SE Argentina) — with special reference to the “indium window” in zinc sulfide. Ore Geology Reviews 51: 103-128.
- Domínguez, E.A., 1981. Génesis y geoquímica de la mineralización de los yacimientos Los Manantiales y Lago Fontana. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 36 (2): 123-142.
- Dong, G., Morrison, G. y Jaireth, S. 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland — classification, origin, and implication. Economic Geology 90: 1841-1856.
- Dong, G. y Morrison, G. 1995. Adularia in epithermal veins, Queensland: morphology, structural state and origin. Mineralium Deposita 30: 11-19.

- Ducart, D.F., Crósta, A.P., Souza Filho, C.R. y Coniglio, J. 2006. Alteration Mineralogy at the Cerro La Mina Epithermal Prospect, Patagonia, Argentina: Field Mapping, Short-Wave Infrared Spectroscopy, and AS-TER Images. *Economic Geology* 101: 981-996.
- Duhart, P., Haller, M. y Hervé, F. 2002. Diamictitas como parte del protolito de las metamorfitas de la Formación Cushamen en Río Chico, provincias de Río Negro y Chubut, Argentina. *XV Congreso Geológico Argentino, Actas 2*: 97-100. El Calafate.
- Falco, J.I., Bechis, F., Litvak, V.D. y Ballesteros Prada, J.M. 2022. Estratigrafía de la Formación Collón Curá en la localidad de Arroyo Chacay (provincia de Río Negro). *XXI Congreso Geológico Argentino, Actas*: 43-44. Puerto Madryn.
- Fernández, R.R., Blesa, A., Moreira, P., Echeveste, H., Mykietiuik, K., Andradra 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 (4): 665-681.
- Figari, E.G., Scasso, R.A., Cúneo, R.N. y Escapa I. 2015. Estratigrafía y evolución geológica de la Cuenca de Cañadón Asfalto, Provincia de Chubut, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 22 (2):135-169.
- 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*, *Reviews in Economic Geology* 2: 45-61.
- Franco, S., Puente, N., Varela, C. y Gemuts, I. 1999. Mineralización aurífera en el Distrito Los Menucos, Río Negro. En: Zappettini, E.O. (ed.) *Recursos minerales de la República Argentina*. Servicio Geológico Minero Argentino, *Anales* 35, 1: 893-894.
- Franzese, J.R., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Spalletti, L.A., Fanning, C.M. y Muravchick, M. 2002. Nuevas evidencias geocronológicas sobre el magmatismo gondwánico en el noroeste del Macizo Norpatagónico. En: C.N. Cingolani C.A., Linares E., López de Luchi M.G., Ostera H.A., Panarello H.O. (Eds.). *XV Congreso Geológico Argentino. Actas*: 144-148. El Calafate.
- Ganem, F., Álvarez, D., Gregorat, S., Dalponte, M.R., Asato, C.G., Giacosa, R.E., Azcurra, D., Turel, A.V., Peroni, J.I., Ferpozzi, L.H., Gozalvez, M., Juárez, P. y Moser, L.C. 2023. Metalogénesis y Potencial de Recursos Minerales Metalíferos de la Provincia de Río Negro. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Dirección de Recursos Minerales, 87p. Buenos Aires.
- Giacosa, R., Márquez, M., Nillini, A., Fernández, M., Fracchia, D., Parisi, C., Afonso, J., Paredes, J. y Sciutto, J. 2004. Litología y estructura del basamento ígneo-metamórfico del borde SO del Macizo Nordpatagónico al oeste del río Chico, (Cushamen, Chubut, 42° 10'S – 70° 30'O). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59 (4): 569-577.
- Gimeno, G., Heredia, T. y Hughes, D. 2000. El sistema epitermal del cerro Choique, Río Negro, Argentina. 9° Congreso Geológico Chileno, *Actas* 1: 224-229, Puerto Varas.
- González, P., Dalponte, M., Coluccia, A., Franchi, M. y Caba, R. 2000. Hoja Geológica 4169-III Ingeniero Jacobacci. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250.000. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Boletín 311. 103 p. Buenos Aires.
- González, M.V., Grecco, L.E., Luna, L.I., Garrido, M.M. y Bonuccelli, R. 2022. Geochemical relations of In (Indium) bearing Sphalerite in the San Roque Project (Río Negro Province, Argentina). *XXI Congreso Geológico Argentino, Actas*:1583-1584. Puerto Madryn.
- Harrington, H.J. 1962. Paleogeographic development of South America. *American Association of Petroleum Geologists. Bulletin* 46 (10): 1773-1818.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A.R. y González-Urien, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Society of Economic Geologists Reviews* 13: 245-277.
- Henley, R.W. y Hughes, G.O. 2000. Underground fumaroles: "Excess heat" effects in vein formation. *Economic Geology* 95: 453-466.
- Hodgkin, A. y Rivera, O. 2001. Geology and Mineralization of the Calca-treu District, Rio Negro province, Argentina. Informe técnico (inédito). 80 p., Santiago de Chile.
- 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., López, L., Guido, D.M., Redigonda, J., Páez, G.N., Ruiz, R. y Permuy Vidal, C. 2015. Presencia de Indio en sistemas epitermales polimetálicos de Patagonia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 72 (3): 433-437.
- Jovic, S.M., Páez, G., Permuy Vidal, C., López, L. y Guido, D.M. 2019. Brechas tectónico-hidrotermales en sistemas epitermales. XIII Congreso de mineralogía, petrología ígnea y metamórfica, y metalogénesis, *Actas*: 315-316, Córdoba.
- Klinger, F.L., Martínez, M.P., Giménez, M.E. y Ruiz, F. 2011. Profundidades al basamento en el Bajo de Gastre, a partir de soluciones de señal analítica, Chubut, Argentina. *Latinmag Letters* 1, edición especial, A10: 1-7.
- Korzeniewski, L., Gozalvez, M., Segal S., Crosta, S. y Herrmann, C. 2011. El depósito epitermal polimetálico Gonzalito, provincia de Río Negro, Argentina. Estudio de inclusiones fluidas y clasificación de la mineralización. 18° Congreso Geológico Argentino, *Actas* CD. Neuquén.
- Lafont, D., Strazzere, L. y Gregori, D.A. 2003. Diseños y temperaturas de alteración hidrotermal en Mina Ángela, Comarca Nordpatagónica, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58 (3): 391-402.
- Lesta, P.J. y Ferello, R. 1972. Región extrandina de Chubut y norte de Santa Cruz. En: Leanza, A.F. (ed.), 1° Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias: 601-653, Córdoba.
- Llambías, E.J., Llano, J.A., Rossa, N., Castro, C.E. y Puigdomenech, H.H. 1984. Petrografía de la Formación Mamil Choique en la Sierra del Medio-Departamento Cushamen-Provincia del Chubut. IX Congreso

- Geológico Argentino, Actas 2: 554–567, San Carlos de Bariloche.
- Manassero, M. y Maggi, J. 1995. Análisis sedimentológico de la Formación Angostura Colorada (Cretácico superior) en la región de Comallo–Jacobacci, provincia de Río Negro. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 50 (1-4): 132-142.
- Márquez, J.M. 1999. Los Sistemas Hidrotermales del distrito Los Manantiales, Chubut. En: Zappettini, E.O. (ed.) *Recursos minerales de la República Argentina*. Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 35, 1: 1167-1175.
- Márquez, M.J., Zubia, M.A. y Arizmendi, A. 1988. Mineralizaciones subvolcánicas jurásicas del Chubut central. Tercer Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 1: 57-68. Olavarría
- Márquez, M.J. y Zubia, M.A. 2008. Proyecto Navidad: mineralización argentoplumbífera singenética o epigenética?, Gastre, Chubut, Argentina. 17º Congreso Geológico Argentino y 9º Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas 2: 620-621. San Salvador de Jujuy.
- Márquez, M.J., Zubia, M.A., Giacosa, R.E., Trevisiol, S.A. y Fernández, M.I. 2016. Características geológicas y metalogenéticas del Depósito Navidad (Ag-Pb-Zn-Cu) Macizo Somún Curá, Chubut, Argentina. Instituto de Recursos Geológico Mineros, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 40, 50p. Buenos Aires.
- Merker, A. 2022. Caracterización de la alteración hidrotermal en roca de caja de Veta 49, proyecto Calcatreu, provincia de Río Negro. Trabajo Final de Licenciatura (inédito), Universidad Nacional de La Plata. 43 p., La Plata.
- Moncada, D., Baker, D. y Bodnar, R.J. 2017. Mineralogical, petrographic and fluid inclusion evidence for the link between boiling and epithermal Ag-Au mineralization in the La Luz area, Guanajuato Mining District, México. *Ore Geology Reviews*: 143-170.
- Navarrete, C., Gianni, G., Echaurren, A., Kingler, F. L., & Folguera, A. (2016). Episodic Jurassic to Lower Cretaceous intraplate compression in Central Patagonia during Gondwana breakup. *Journal of Geodynamics* 102: 185–201.
- Norseman Silver SA 2023. <https://norsemansilver.com/projects/taquetren/>
- Nullo, F., 1978. Descripción Geológica de la Hoja 41 d, Lipetrén. Provincia de Río Negro. Escala 1:200.000. Carta Geológico-Económica de la República Argentina. Servicio Geológico Nacional. Boletín 158. 97 p. Buenos Aires.
- Nullo, F., Proserpio, C. 1975. La Formación Taquetrén en Cañadón del Zaino (Chubut) y sus relaciones estratigráficas en el ámbito de la Patagonia, de acuerdo a la flora. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30 (2): 133-150.
- Page, R. y Page, S. 1993. Petrología y significado tectónico del Jurásico volcánico del Chubut central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 48 (1): 41–58.
- Page, R., Ardolino, A., de Barrio, R.E., Franchi, M., Lizuain, M., Page, S. y Nieto, D.S. 1999. Estratigrafía del Jurásico y Cretácico del Macizo de Somún Curá, provincias de Río Negro y Chubut. En: Caminos, R. (ed.), *Geología Argentina*, Instituto de Geología Y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29: 460-489, Buenos Aires.
- Pagola, M.S., Jovic, S.M., Palma, D.S., Guido, D.M. y Hughes, D. 2023. Vanadium and Indium enrichment in La Luz epithermal system, Patagonia, Argentina. *Society of Geology Applied to Mineral Deposits 17th Biennial Meeting, Proceedings Volumen 1*: 177-179. Zúrich.
- Palotti, P.F., Jait, D.M., Orts, D., Litvak, V.D. y Ramos, V.A. 2013. Geología de los alrededores de los ríos Caleufú y Meliquina, provincia del Neuquén: el volcanismo de la Formación Huitrera. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 70 (4): 527-541.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M. y Marquez, M. 2006. Gondwana continental collision and the origin of Patagonia. *Earth-Science Reviews* 76: 235-257.
- Patagonia Gold Corp. 2017. <https://patagoniagold.com/operations/calcatreu>
- Ramos, V.A., 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29: 41-96, Buenos Aires.
- Rapela, C.W. 1997. El sistema de fallas de Gastre: e pur si muove. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52 (2): 219-222.
- Rapela, C.W., Díaz, G., Franzese, J., Alonso, G. y Benvenuto, A. 1991. El Batolito de la Patagonia Central: Evidencias de un magmatismo triásico-jurásico asociado a fallas transcurrentes. *Revista Geológica de Chile* 18: 121-138.
- Rapela, C.W. y Pankhurst, R.J. 1992. The granites of northern Patagonia and the Gastre fault system in relation to the break-up of Gondwana. En: Alabaster, B., Pankhurst, R. (Eds.), *Magmatism and the Causes of Continental Break-Up*. Geological Society of London Special Publication 68: 209-220.
- Ravazzoli, I.A. y Sesana, F.L. 1977. Descripción Geológica de la Hoja 41 c, Río Chico. Provincia de Río Negro. Escala 1:200.000. Carta Geológico-Económica de la República Argentina. Servicio Geológico Nacional. Boletín 148, 82 p., Buenos Aires.
- Río de Oro SA 2014. <https://www.riodeoro.com.ar/projects/>
- Ruiz, R., Guido, D.M., Paez, G.N., Jovic, S.M., Permuy Vidal, C. y López, L. 2014. Caracterización del vulcanismo jurásico en el Distrito Jacobacci, sector occidental del Macizo del Somuncurá, Argentina. XIX Congreso Geológico Argentino, Actas CD. Córdoba.
- Saunders, J.A. 1994. Silica and gold textures in bonanza ores of the Sleeper deposit, Humboldt County, Nevada: Evidence for colloids and implications for epithermal ore-forming processes. *Economic Geology* 89: 628–638.
- Saulnier, M.E. 1975. Consideraciones mineralógicas, geoquímicas y termométricas sobre la mina de Pb y Zn Cañadón Bagual, provincia de Chubut, Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 6 (1-2): 11-22.
- Seward, T.M., Williams-Jones, A.E. y Migdisov, A.A. 2014. The chemistry

- of metal transport and deposition by ore-forming hydrothermal fluids. En: Turekian, K.K., Holland H.D. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*, Vol. 13, p. 29–57.
- Shimizu, T. 2014. Reinterpretation of quartz textures in terms of hydrothermal fluid evolution at the Koryu Au-Ag deposit, Japan. *Economic Geology* 109: 2051-2065.
- 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.
- Stipanovic, P.N. y Methol, E.J., 1972. El Macizo de Somoncurá. En: Leanza, A.F. (Ed.), *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias: 581-600. Córdoba.
- Stipanovic, P.N. y Methol, E.J. 1980. Comarca Nordpatagónica. En: Turner, J.C.M. (Ed.) *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias, 2: 1071-1097, Córdoba.
- Trendix Mining 2023. <http://www.trendixmining.com.ar/proyectos-trendix-mining.html>
- Varela, R., Dalla Salda, L., Cingolani, C. y Gómez, V. 1991. Estructura, Petrología y Geocronología del Basamento de la región del Limay, Provincias de Río Negro y Neuquén. *Revista Geológica de Chile*, 18 (2): 147-163.
- Varela, M.E., 1994a. Surface alteration and lithogeochemical indicators in the Ángela mine District, Chubut Province. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49 (3-4): 206-210.
- Varela, M.E., 1994b. Silicated melt and fluid inclusions in rhyolitic dykes, Los Manantiales Mining District, Argentina. *European Journal of Mineralogy*, 6: 837-854.
- Varela, R., Basei, M.A., Cingolani, C.A., Siga, O. y Passarelli, C.R. 2005. El basamento cristalino de los Andes norpatagónicos en Argentina: geocronología e interpretación tectónica. *Revista Geológica de Chile* 32 (2): 167-187.
- Volkheimer, W., 1964. Estratigrafía de la zona extraandina del Departamento Cushamen (Chubut), entre los paralelos 42° y 42°30' y los meridianos 70° y 71°. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 19 (2): 85-107.
- Volkheimer, W. 1973. Observaciones geológicas en el área de Ingeniero Jacobacci y adyacencia, provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 28: 13-36.
- Von Gossen, W. y Loske, W. 2004. Tectonic history of the Calcatapul Formation, Chubut province, Argentina, and the "Gastre fault system". *Journal of South American Earth Sciences*, 18: 73-88.
- Wernert, M.S. 2022. Characterization of Multiphasic Events of Calcatreu Project, Río Negro Province, Argentina. SEG 2022 Conference: Minerals for Our Future, Conference Proceedings: STV1_19, Denver.
- Wernert, M.S., Vera, D., Paolini, M., Jovic, S.M. y Guido, D.M. 2023. Calcatreu Project 3D vein modelling, Río Negro Province, Argentina. SEG 2023 Conference: Resourcing the Green Transition, Conference Proceedings: B123, Londres.
- Williams, D.K. 2010. Geology and mineralization of the Navidad, Ag-Cu-Pb-Zn District, Chubut Province, Argentina. *Economic Geologists*, Special Publication 15, 203 – 227.
- Zaffarana, C.B., Gallastegui, G., Lagorio, S.L., Poma, S., Busteros, A., Serra Varela, S., Orts, D.L., Silva Nieto, D., Giacosa, R.G., Ruiz González, V., Puigdomenech, C., Boltshauser, B. y Somoza, R. 2018. Geochemical signature and reservoir conditions of Early Jurassic calc-alkaline volcanic rocks from Lonco Trapial Formation, Central Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 88: 415–44.
- Zaffarana, C.B., Lagorio, S.L., Gallastegui, G., Wörner, G., Orts, D.L., Gregori, D., Poma, S., Busteros, A., Giacosa, R.G., Silva Nieto, D., Ruiz González, V., Boltshauser, B., Puigdomenech, C. y Haller, M. 2020. Petrogenetic study of the Lonco Trapial volcanism and its comparison with the Early-Middle Jurassic magmatic units from Northern Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 101: 102624.
- Zaffarana, C.B., López de Luchi, M.G., Somoza, R., Mercader, R., Giacosa, R. y Martino, R.D. 2010. Anisotropy of magnetic susceptibility study in two classical localities of the Gastre Fault System, central Patagonia: *Journal of South American Earth Sciences*, 30: 151– 166.
- Zaffarana, C.B., Montenegro, T. y Somoza, R. 2012. The host rock of the Central Patagonian Batholith in Gastre: Further insights on the Late Triassic to Early Jurassic deformation in the region: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69: 106–126.
- Zaffarana, C.B. y Somoza, R. 2012. Palaeomagnetism and ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating from Lower Jurassic rocks in Gastre, central Patagonia: further data to explore tectonomagmatic events associated with the break-up of Gondwana. *Journal of the Geological Society, London*, 169: 371–379.
- Zaffarana, C.B., Somoza, R., Orts, D.L., Mercader, R., Boltshauser, B., González, V.R. y Puigdomenech, C. 2017. Internal structure of the Late Triassic Central Patagonian batholith at Gastre, southern Argentina: Implications for pluton emplacement and the Gastre fault system: *Geosphere*, 13 (6).