



Geología y potencial exploratorio de las manifestaciones epitermales polimetálicas Cerro Cuadrado y El Bagual, Santa Cruz, Argentina

Eduardo A. ROSSELLO¹, Jorge Patricio JONES² y Cintia MARQUETTI²

¹ CONICET-IGEBA – Universidad de Buenos Aires, FCEN, Depto. Cs. Geológicas. Buenos Aires, Argentina.

² Consultor independiente.

Email: ea_rossello@yahoo.com.ar

Editor: Marta Franchini

Recibido: 20 de agosto de 2020

Aceptado: 8 de agosto de 2021

RESUMEN

Se describen la geología y el potencial exploratorio de las manifestaciones epitermales polimetálicas de Cerro Cuadrado y El Bagual localizadas en el extremo noroccidental de la provincia de Santa Cruz. Ambas manifestaciones están temporal y espacialmente vinculadas con el emplazamiento y depositación de las unidades ácidas lávicas y piroclásticas de la Formación El Quemado, asociadas al plateau jurásico del Macizo del Deseado en la Patagonia austral. Las principales mineralizaciones de Cerro Cuadrado y El Bagual se disponen a lo largo de corredores de fallamientos submeridianales en las porciones cuspidales y/o en las periferias de estructuras dómicas de diámetros de varias centenas de metros. En el Cerro Cuadrado constituyen vetas, vetillas y brechas hidrotermales ricas en Ag y Zn, asociadas a flexuras dilatantes de fallamientos en las porciones centrales del domo. En El Bagual, se destacan las presencias de venas auroargentíferas y de un cuerpo intrusivo tardío cilíndrico subvertical de unas decenas de metros de diámetro denominado Chimenea Central. Está constituido por una diatrema de brechas y aglomerados volcánicos con litoclastos subangulares metamórficos provenientes de la infrayacente Formación Río Lácteo, del Paleozoico superior. Ambas manifestaciones polimetálicas confirman el potencial exploratorio de la zona.

Palabras clave: mineralizaciones polimetálicas, epitermales, exploración, control estructural, domos, diatremas, Jurásico, Patagonia, Argentina.

ABSTRACT

Geology and exploratory potential of the Cerro Cuadrado and El Bagual polymetallic epithermal manifestations (Santa Cruz, Argentina).

The geology and exploratory potential of the polymetallic (Ag-Zn rich) epithermal manifestations of Cerro Cuadrado and El Bagual, located in the northwestern corner of the Santa Cruz province, in southern Patagonia, are described. Both manifestations are temporal and spatially associated with the emplacement of a dome and pyroclastic eruptive felsic units of the El Quemado Formation, related to the Jurassic plateau of the Deseado Massif. The main mineralization at Cerro Cuadrado and El Bagual occurs in veins, veinlets and brecciated areas along N-S trending fault corridors associated with apical portions and in the peripheries of domic structures with several hundred meters in diameter. In the Cerro Cuadrado, the mineralization is preferentially arranged in narrow vein corridors and banded areas rich in Ag and Zn that increase their thickness in dilating jogs of faults in the central portions of the dome. In the El Bagual, gold-silver veins and the presence of a subvertical cylindrical late intrusive body of a few dozen meters in diameter, called the Central Chimney, this structure represents a diatreme filled with volcanic agglomerates with metamorphic subangular lithic fragments of the underlying the Late Paleozoic Río Lácteo Formation. Both polymetallic manifestations present a very interesting exploratory

potential related to the outer areas of a Jurassic rhyolitic dome-complex model.

Keywords: polymetallic, epithermal mineralizations, exploration, structural control, domes, diatremes, Jurassic, Patagonia, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Las manifestaciones polimetálicas del Cerro Cuadrado y El Bagual se localizan 30 km al norte de la localidad de Lago Posadas (Hipólito Irigoyen), en el Departamento Río Chico, sobre el extremo noroccidental de la provincia de Santa Cruz (Fig.1). Constituyen mineralizaciones epitermales asociadas al magmatismo jurásico que fueron descubiertas en el año 2004 por DEPROMINSA (Desarrollo de Proyectos Mineros S.A) y que agrega un interesante potencial metalífero a los depósitos ya conocidos del Macizo del Deseado (Schalamuk et al. 2002, Súnico 2002, Guido et al. 2005, Fernández et al. 2008, Guido and Campbell 2011, Salani y Chernicoff 2017). Sin embargo, luego se produjo la re zonificación de la provincia de Santa Cruz decidiéndose impedir la prosecución de las actividades mineras al oeste de la ruta nacional 40. Además, las actividades exploratorias estuvieron en observación dada su cercanía al Lago Posadas, pero se cumplieron los plazos y consultas requeridas para obtener la licencia social en la reducida población de Hipólito Yrigoyen (localizada sobre sus riberas australes) que, en general, apoyó su exploración (OPI Santa Cruz 2008, No a la mina 2008).

El nuevo contexto legal, la situación económica difícil y la profusión de eventos sociales-ambientalistas antimineros,

obligaron el abandono de los proyectos Cerro Cuadrado y Cerro El Bagual, perdiéndose la oportunidad de completar su posible factibilidad económica a pesar de los buenos resultados que se estaban obteniendo. Pasados quince años de dicha exploración, con resultados hasta entonces muy prometedores, el objetivo de esta contribución es dar a conocer las principales características geológicas y los potenciales de las mineralizaciones del Cerro Cuadrado y El Bagual. Este trabajo se basa en mapeos superficiales de campo y satelitales, apoyados con relevamientos geoquímicos y geofísicos, incluyendo resultados de un plan de sondeos con recuperación de testigos de los sectores con mayor interés exploratorio. De este modo, se incorporan datos inéditos de estos importantes recursos metalíferos argentíferos y de metales base al inventario del prolífico Macizo del Deseado.

MARCO GEOLÓGICO

La región estudiada, integrada por las manifestaciones del Cerro Cuadrado y El Bagual, forma parte del antepaís de la Cordillera Patagónica Austral, que se dispone separando al Macizo del Deseado del extremo septentrional de la Cuenca Austral (Fig. 2) y comprende a la Hoja Geológica 4772-IV/III Lago Posadas/Lago Belgrano (Giacosa y Franchi 2001).

La estratigrafía de la comarca incluye las unidades más antiguas representadas por metagrauvascas, pizarras, cuarzo-filitas y metapsefitas de bajo a muy bajo grado metamórfico de la Formación Río Lácteo que afloran sobre el límite con Chile (Fig. 2). Con respecto a su edad, no se cuenta con determinaciones precisas, aunque por correlaciones se la considera pre-jurásica, probablemente del Paleozoico Superior (Giacosa y Franchi 2001). Bell y Suárez (2000) sugieren una edad devónica - carbonífera inferior a la Formación Río Lácteo teniendo en cuenta la posible correlación con la Formación Bahía La Lancha que ha suministrado algunos fósiles de esta edad (Riccardi y Roller 1980).

Sobre la unidad anterior yacen en discordancia mantos de rocas eruptivas ácidas a mesosilícicas y depósitos volcánoclasticos riolíticos de la Formación El Quemado asignadas al Jurásico Medio-Tardío (Pankhurst et al. 2000, Riley et al. 2001, Giacosa et al. 2010). Estos mantos, que tienen aproximadamente 600 m de potencia mínima, están constituidos

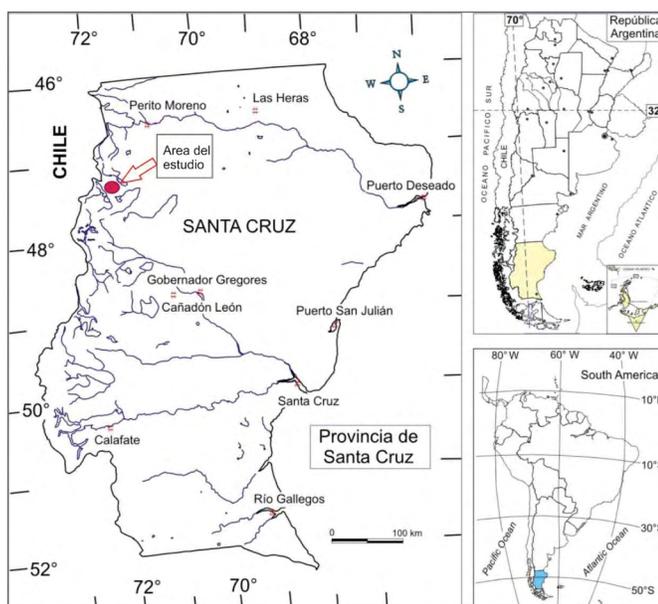


Figura 1. Mapa de ubicación de las mineralizaciones Cerro Cuadrado y El Bagual en el extremo noroccidental de la provincia de Santa Cruz.

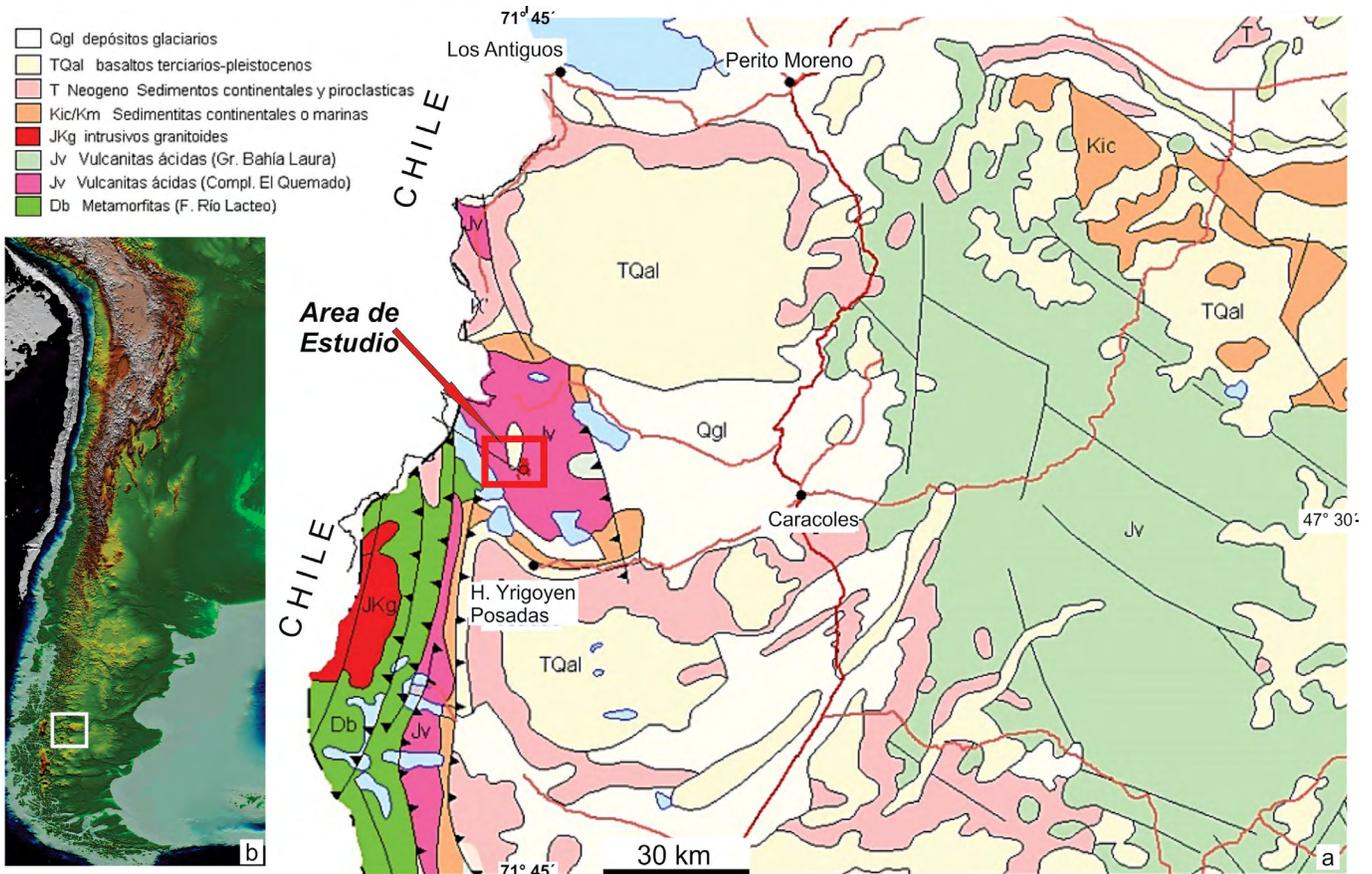


Figura 2. Principales unidades litoestratigráficas y estructuras regionales del sector donde se localizan las mineralizaciones Cerro Cuadrado y El Bagual (tomado de Giacosa y Franchi 2001).

por un 90% de brechas volcánicas, tobas e ignimbritas y 10 % de rocas epiclásticas y lavas. Se identificaron ignimbritas riolíticas, riódacíticas y dacíticas, tobas lapillíticas dacíticas y lavas riolíticas, incluyendo leucoriolitas biotíticas con intercalaciones de areniscas cuarzo-feldespáticas que afloran desde la región cordillerana hasta la extrandina (Giacosa y Franchi 2001). El conjunto de estas litologías se reconoce como Provincia Volcánica Chon Aike (Kay et al. 1989), Chon Aike *Large Igneous Province* (LIP, por sus siglas en inglés) (Pankhurst et al. 1998, Riley et al. 2001), o bien, Provincia Silíceo Chon Aike (Sruoga et al. 2010). A su vez, a estos depósitos de gran volumen eruptivo se le asignan distintas nomenclaturas formacionales según la región, como por ejemplo la Formación El Quemado, en la región cordillerana del extremo NO de la provincia de Santa Cruz (Giacosa y Franchi 2001, Giacosa et al. 2010). Por relaciones estratigráficas, la unidad se emplaza previamente a la sedimentación de la Formación Springhill (Berriasiano - Valanginiano) y luego de la Formación Río Lácteo. Existe una datación radimétrica en la sierra Colorado (cerca al área de estudio) que arrojó una edad de 136 ± 6 Ma (isocrona Rb/Sr, Pankhurst et al. 2000). Otras edades obtenidas de zonas igualmente cercanas ubican a la Formación El Quemado en el Jurásico Tardío, incluyéndose quizás

la base del Neocomiano (Sierra de Chacabuco: 154 ± 5 Ma y 137 ± 5 Ma, K/Ar, Busteros y Lapido 1983). La efusión de las rocas eruptivas ácidas jurásicas de la región patagónica está vinculada a calderas (o megacalderas), grandes fisuras o, muy probablemente, a la combinación de ambas (Sruoga et al. 2014). Además, en el ámbito extraandino de Santa Cruz (Panza y Haller 2002), se identificaron calderas vinculadas con distintas manifestaciones minerales epitermales, muchas de las cuales están en producción y/o exploración avanzada (Echavarría et al. 2005, Moreira et al. 2010, 2017). La localización de estas calderas en el área extraandina es consistente con el modelo propuesto por Pankhurst et al. (1998), que sostenían la hipótesis que debería haber otras calderas, aun no identificadas, para justificar el origen de los grandes volúmenes ignimbríticos eruptados. Por otro lado, estas ignimbritas también pudieron haberse distribuido a partir de erupciones fisurales vinculadas con los lineamientos de escala regional asociados con la ruptura del supercontinente de Gondwana, particularmente en las áreas oriental y central de la Patagonia (Féraud et al. 1999, Jovic et al. 2005, Guido y Campbell 2011).

Sobre las unidades eruptivas anteriores se depositaron secuencias sedimentarias clásticas cretácicas. Giacosa y

Franchi (2001) las describen en dos grupos: i) el inferior, o Grupo Pueyrredón, mayoritariamente marino integrado por las formaciones Springhill, Río Mayer y Río Belgrano y ii) el superior, o Grupo San Martín, constituido por sedimentitas continentales clásticas con abundante participación piroclástica de las formaciones Río Tarde y Cardiel. Durante el Eoceno, se intruyeron las rocas alcalinas de la Essexita Río Carbón y se formaron los extensos derrames del Basalto Posadas contemporáneamente con la depositación, en pequeños depocentros, de la sedimentitas clásticas de la Formación Río Lista (Giacosa y Franchi 2001).

Debido a la transgresión del mar patagoniano se suceden, en discordancia, sedimentitas marinas de la Formación Centinela, cubiertas por las sedimentitas continentales miocenas del Grupo Zeballos y la Formación Santa Cruz. Estas últimas están asociadas al levantamiento de la cordillera, que culmina con los derrames basálticos olivínicos de las mesetas de los lagos Buenos Aires y Belgrano (Giacosa y Franchi 2001). Durante el Plio-Pleistoceno se registran nuevos eventos volcánicos básicos con diferenciados traquíticos que conforman, entre otros, los cerros y conos con morfologías prominentes y agudas del Cerro Colmillo y Cerro Lápiz, (Lagabrielle et al. 2004, 2007). La intensa glaciación pleistocena depositó secuencias glaciarias, en las que se pueden distinguir los cuatro estadios de Caldenius con sus correspondientes terrazas glaciafluviales asociadas a flujos de basaltos olivínicos encauzados en la red de drenaje (Rabassa et al. 2011). Finalmente, en el Holoceno, se generan sedimentos originados por la acción fluvial, lacustre, evaporítica y gravitatoria (remoción en masa, deslizamientos y asentamientos alrededor de las mesetas de basaltos). Debido a la potente calota de hielo cuaternaria que sepultó la totalidad de las unidades preexistentes y se deslizó hacia el oriente, la topografía de la región quedó afectada por la erosión glaciaria que labró el relieve que se conserva prácticamente hasta al presente (Bendle et al. 2017). Su acción generó las conspicuas geoformas de *drumlins* acanalados y estriados desarrollados particularmente sobre las superficies de los domos riolíticos, como es el caso del Cerro Cuadrado. Entre los rasgos prominentes, se disponen depresiones parcialmente ocupadas por material morénico de fondo y delgados horizontes evaporíticos actuales que tapizan variablemente los afloramientos que hospedan las mineralizaciones.

Desde el punto de vista regional, diferentes episodios tectónicos han ocurrido sobre el margen Pacífico de la Patagonia, que pueden simplificarse en una serie de eventos del Jurásico medio a superior, de carácter extensional y singenético con la eruptividad de las unidades jurásicas, y un evento Andino desde el Cretácico superior que provocó el escenario esencialmente convergente que actualmente exhibe la Cor-

dillera Patagónica (cf. Cobbold et al. 2007, Barberón et al. 2018, Folguera et al. 2018, Ramos et al. 2019).

METODOLOGÍA

Con la finalidad de evaluar la constitución geológica y las características genéticas y estructurales de las mineralizaciones presentes en las manifestaciones del Cerro Cuadrado y El Bagual, se realizó una compilación de los datos regionales y locales públicos e inéditos disponibles. A partir de estos antecedentes, se generaron relevamientos geológicos de superficie a escala 1:10000, con sectores más detallados de las principales mineralizaciones con la finalidad de apoyar el muestreo estratégico que permita la evaluación de su potencial económico. Estos relevamientos fueron simultáneamente complementados con interpretaciones de imágenes satelitales de gran definición, con tratamientos específicos de bandas para resaltar características de las litologías y sus alteraciones. Esta metodología replanteó la distribución y características petrográficas de los afloramientos de rocas eruptivas del sector de estudio, localizado inmediatamente al noreste del Lago Posadas, y constituyentes de los encajantes de las mineralizaciones (Fig. 1). De este modo, en el análisis de imágenes Aster con técnicas de mejoramientos temáticos adquiridas específicamente en El Bagual, se aplicaron distintos geoprocесamientos para la identificación de las zonas de oxidación, de alteración argilica y filica, así como también para la discriminación de distintas litologías (siguiéndose las técnicas de Bedell et al. 2009, Crósta y Souza Filho 2009). Estos procedimientos analizan los componentes de bandas principales de las imágenes de modo estadístico y multivariante para reducir la redundancia de datos multispectrales al implicar una transformación lineal de las bandas de la imagen original y la creación de un nuevo conjunto de bandas (Componentes Principales). Estos nuevos valores de píxeles están relacionados linealmente con los valores de radiancia originales de las bandas involucradas en el análisis, aumentando los contrastes entre ellas (Bedell et al. 2009).

Los minerales primarios constituyentes de las litologías encajantes y de las mineralizaciones de origen hidrotermal fueron determinados mediante estudios petrográficos, tanto en secciones delgadas como en preparados calcográficos, y complementados con análisis geoquímicos expeditivos con la técnica PIMA (*Portable Infrared Mineral Analyzer II*) descrita por Herrmann et al. (2001). Esta herramienta de espectroscopía de reflectancia (Kruse 1996) resultó muy efectiva en la exploración mineral de las manifestaciones, la cual se utilizó directamente en el campo facilitándose una identificación

rápida de asociaciones minerales y zonaciones relacionadas con la mineralización y alteraciones. Se siguió la propuesta de Whitney y Evans (2010) para las abreviaturas de las especies minerales. Se siguió la terminología de Seedorff et al. (2005) para definir la magnitud de los cuerpos mineralizados vetiformes en función de sus potencias: filones (> 1 m ancho), vetas (1 m a 1 cm) y venillas (< 1 cm).

Se realizaron observaciones estructurales microtectónicas en muy escasos sectores porque las características de las litologías magmáticas y las condiciones de los afloramientos afectados por la intensa erosión glaciaria dificultaron la obtención de indicadores cinemáticos confiables. Sin embargo, se pudieron determinar e interpretar componentes transcurrentes sobre planos de fallas a partir del reconocimiento de desplazamientos y arrastres de rasgos de fluidalidad magmática (Llambías 2001). Igualmente, el diseño y las características extensionales y/o compresionales en escalas macroscópicas de las flexuras de las superficies de fallamiento permitieron la interpretación de los aspectos cinemáticos complementarios (Rossello 2001, Cunningham y Mann 2007).

Se efectuaron mapas de la distribución de un total de 2127 muestreos geoquímicos de superficie adquiridos mediante esquireos areales y lineales orientados a partir de métodos manuales y a martillo percutor de trincheras y/o canaletas a través de las principales mineralizaciones. Estos permitieron establecer un comportamiento espacial de la distribución y continuidad de los contenidos metalíferos de mayor interés relacionados con los principales fallamientos y litologías. Las determinaciones de contenidos metalíferos anómalos de los análisis geoquímicos fueron establecidas a partir de los umbrales de detección y de los criterios económicos estratégicos planteados internamente por DEPROMINSA.

La confirmación de la presencia y/o continuidad en profundidad de las mineralizaciones con características biextendidas (García 1981) se realizó mediante unos 4700 m de perforaciones a diamantina dirigidas y relevamientos geofísicos de resistividad aparente y conductibilidad obtenidos por la empresa de geofísica Quantec (2008). Se efectuaron relevamientos magnetométricos a partir de líneas dispuestas cada 100 m con lecturas cada 10 m. Los datos se obtuvieron a partir de electrodos de acero inoxidable firmemente incrustados en pozos cavados manualmente y regados con 1 a 2 litros de agua salina con la finalidad de detectar características contrastantes a aproximadamente 300 m de profundidad, con límites de resolución del orden de 25 m. Sin embargo, con el aumento de la profundidad desmejoró la calidad de los resultados para resolver la morfología de los cuerpos mineralizados de brechas, áreas con silicificaciones y/o diseminadas, incluidas las capas o estructuras silicificadas sub-horizonta-

les. Por ello, se determinó que la configuración polo-dipolo utilizada no resulta óptima para detectar estructuras estrechas silicificadas (Rideout y Langer 2004). La detección de anomalías de resistividad-conductibilidad a partir de esta metodología es usualmente independiente de la presencia de sulfuros, sin embargo, cuando ocurren acumulaciones significativas de sulfuros masivos en *stockworks* y/o mineralizaciones supergénicas de cobre pueden determinarse rangos de anomalías más evidentes. Las resistividades altas fueron habitualmente atribuidas a macizos rocosos con baja porosidad (inalterados, silicificados, etc.), en cambio, las bajas resistividades se atribuyeron a litologías porosas, altamente fracturadas, meteorizadas o con alteraciones arcillosas (Telford et al. 1990).

GEOLOGÍA LOCAL

Los relevamientos geológicos realizados permitieron establecer relaciones espaciales entre las mineralizaciones polimetálicas y las unidades magmáticas hospedantes, particularmente constituidas por criptodomas de naturaleza riolítica. Estos cuerpos subvolcánicos intruyen secuencias eruptivas de naturaleza predominantemente ignimbrítica y disposición subhorizontal. Los criptodomas resaltan topográficamente en el relieve debido a su mayor resistencia relativa a la erosión con respecto a las litologías circundantes (particularmente de manifiesto en las manifestaciones del Cerro Cuadrado). También, su presencia es puesta en evidencia particularmente en El Bagual, por la expresión espectral diferencial de los relevamientos satelitales producidas por anomalías de diferentes concentraciones de mineralizaciones y alteraciones (Fig. 3).

Geología del sector Cerro Cuadrado

La comarca que integra el Cerro Cuadrado (exhibe una prominente expresión superficial cuadrangular que da origen a su toponimia) está constituida por diferentes tipos litológicos eruptivos correspondientes a la Formación El Quemado (Fig. 4). El cuerpo principal es un criptodomo riolítico emplazado dentro de distintos niveles de una columna de rocas piroclásticas y lavas que han sido localmente denominadas por su ordenamiento estratigráfico como: Secuencia Inferior, Secuencia Intermedia y Secuencia Superior. En su conjunto, estas secuencias presentan un espesor promedio estimado de unos 100 m (Rossello 2008).

La Secuencia Inferior aflora hacia el norte y noroeste de Cerro Cuadrado (Fig. 4). Está integrada por tobas líticas y brechosas de coloración grisácea a castaño oscuro de composición andesítica y cuerpos hipabisales subordinados estratiformes, de tipo filones capa, de composición riocálcica.

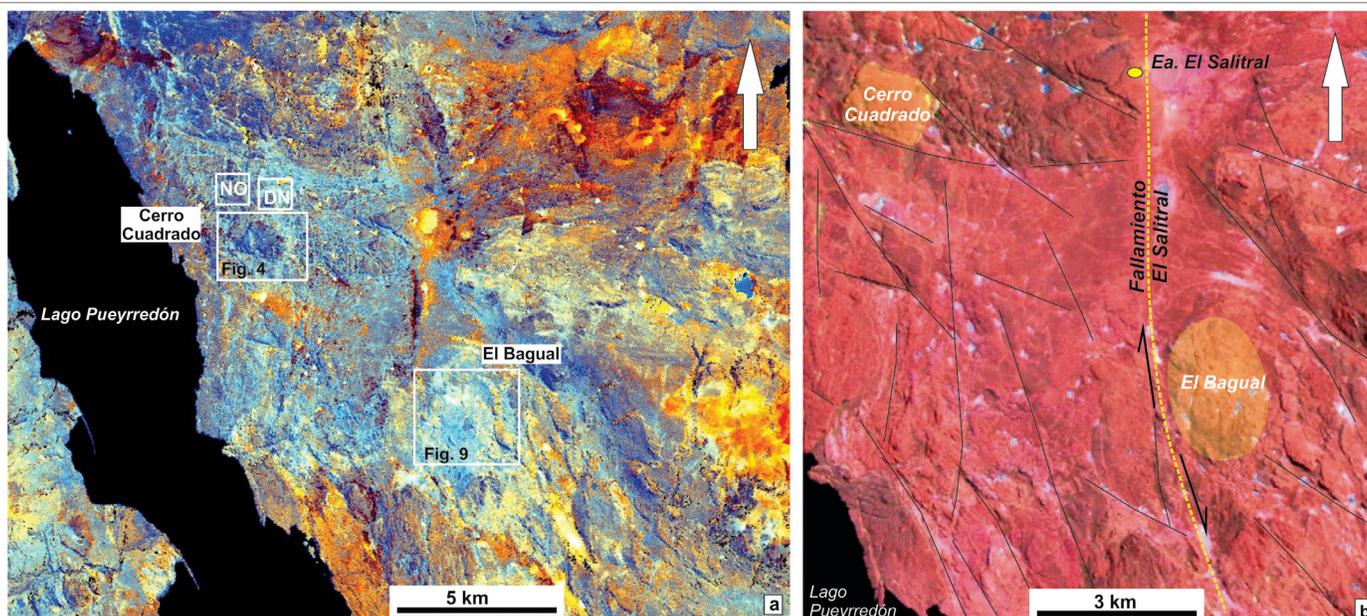


Figura 3. Imágenes Landsat con diferentes combinaciones de cocientes de bandas de componentes principales (Crósta y Souza Filho 2009) donde se localizan las manifestaciones del Cerro Cuadrado y El Bagual. a: Falsos colores a partir de tratamientos TM. NO: Domo Noroeste y DN: Domo Norte. b: Principales rasgos dómicos asociados a lineamientos regionales.

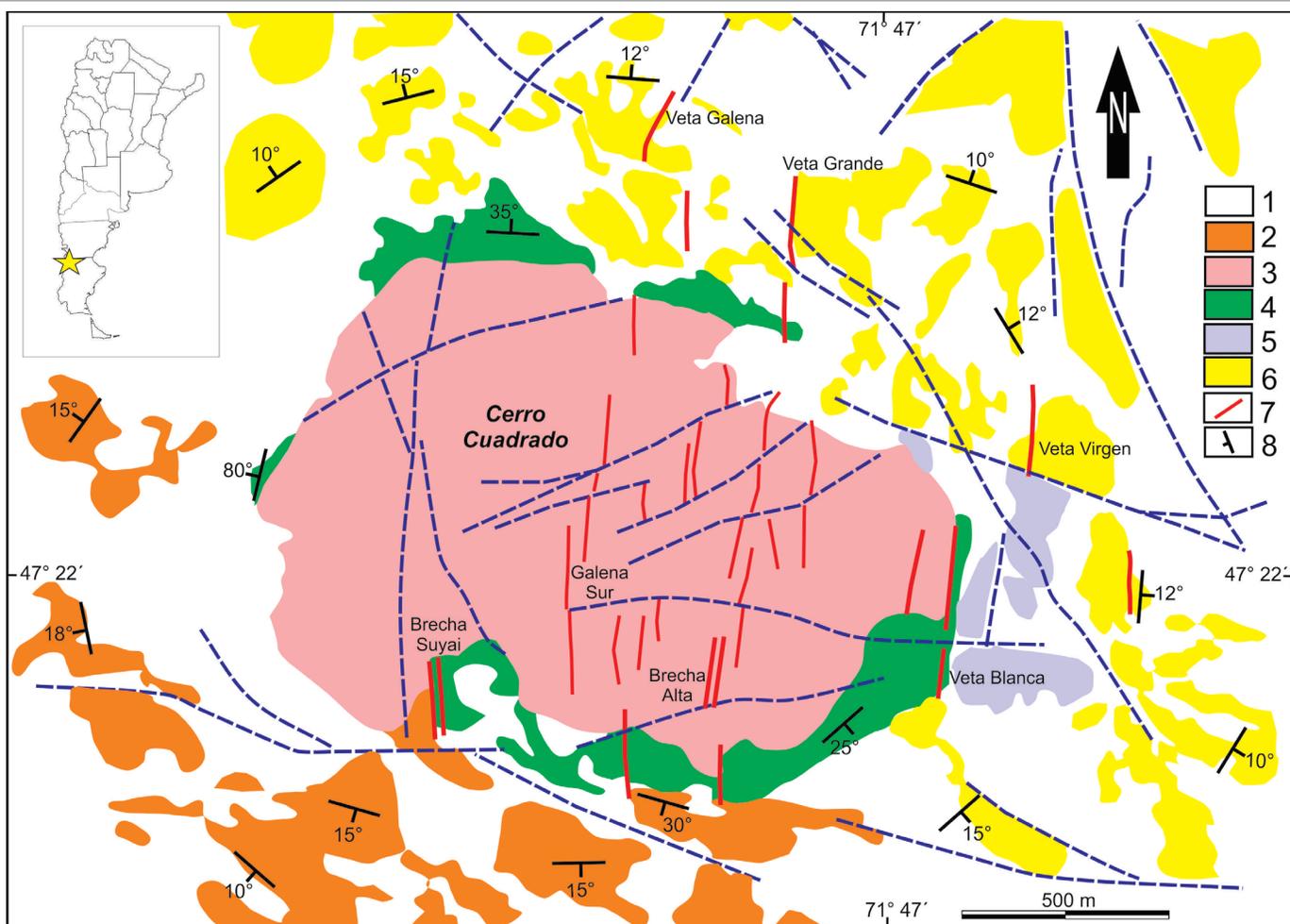


Figura 4. Mapa geológico del Cerro Cuadrado (véase localización en Fig. 3) con la localización de los principales sectores mineralizados. 1: Cubierta moderna, 2: Secuencia Superior, 3: Domo riolítico, 4: Secuencia Intermedia, 5: Brecha andesítica, 6: Secuencia Inferior, 7: vetas, 8: rumbo e inclinación de la disposición periclineal de las secuencias encajantes. Los fallamientos y lineamientos post-mineralización se presentan en líneas discontinuas azules.

Su espesor se desconoce ya que no se ha alcanzado su piso en los sondajes realizados. Niveles ignimbríticos intercalados contienen cristaloclastos (60 - 80%) de feldspatos con escaso cuarzo y se caracterizan en superficies expuestas a la erosión por la escasez de fragmentos pumíceos elongados y deformados (*fiammes*) determinantes de texturas eutaxíticas (McPhie et al. 1993, Breitreuz 2013). Algunos niveles tienen matriz piroclástica abundante, fina y de coloración gris rosada clara. Esta Sección Inferior alberga varios cuerpos vetiformes como La Virgen, Veta Grande y Veta Galena (Fig. 4).

La Secuencia Intermedia se dispone en afloramientos que orlan al domo riolítico y en forma discordante sobre la anterior, o bien mediando un contacto tectónico. Está constituida principalmente por rocas piroclásticas de tonalidades castaño grisáceas con litoclastos (1.5 cm) de fragmentos de rocas piroclásticas ácidas y cristaloclastos con gran variación de tamaños de cuarzo y feldespato potásico de coloraciones verdosas y rosadas. Otros litoclastos corresponden a rocas más básicas con textura porfírica y abundante presencia de plagioclasas argilizadas de color gris verdoso en una matriz ligeramente eutaxítica con escasos cristales milimétricos de pirita euhedral diseminados. Se intercalan algunas coladas

riolíticas de potencias métricas de tonalidades más claras y textura fluidal compuestas principalmente por fenocristales de cuarzo y feldespato alcalino y cantidades menores de biotita y plagioclasa en una matriz vítrea. Asociados a esta secuencia se reconocen en el sector oriental del domo riolítico, afloramientos de brechas andesíticas con escaso desarrollo areal y un espesor que no supera los 20 m (Fig. 4). Estas rocas presentan coloraciones grises a rosadas claras y sus componentes clásticos están integrados por 30% de cristaloclastos y 70% litoclastos con textura porfírica en cuya composición aparecen, mayoritariamente, líticos andesíticos y ácidos subordinados con textura de desvitrificación.

La Secuencia Superior aflora al sur del domo (Fig. 4) y se caracteriza por mantos de brechas e ignimbritas riolíticas, donde resalta su alto soldamiento. El conjunto de estas litologías, de coloración gris clara de su matriz y mayor presencia de *fiammes* generalmente argilizados, se diferencia de las secuencias anteriores por afloramientos más resistentes a la erosión. Sus afloramientos se expresan con un relieve marcado y limitado por abruptos acantilados donde las rocas se presentan frescas a levemente argilizadas. Las ignimbritas riolíticas presentan textura fluidal con abundantes vitrocias-

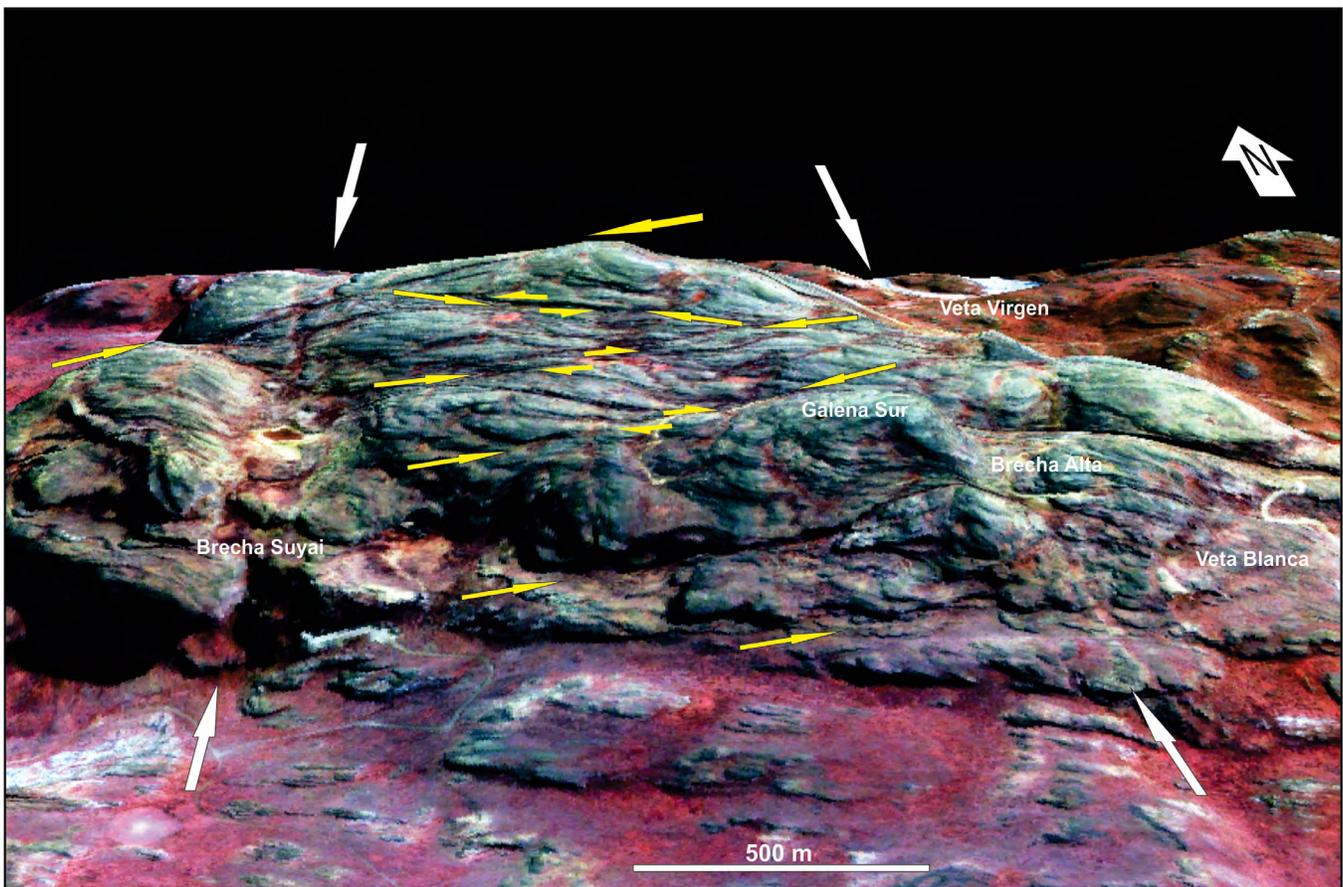


Figura 5. Vista oblicua de una imagen de alta resolución (0.60 m) *Quickbird* basculada hacia al norte y con exageración topográfica donde se muestra la morfología dómica del cerro Cuadrado y los fallamientos principales que lo afectan. Flechas blancas: fallamientos principales de orientación sub-meridionales, flechas amarillas: fallamientos secundarios sublatitudinales con indicación de componentes transcurrentes.

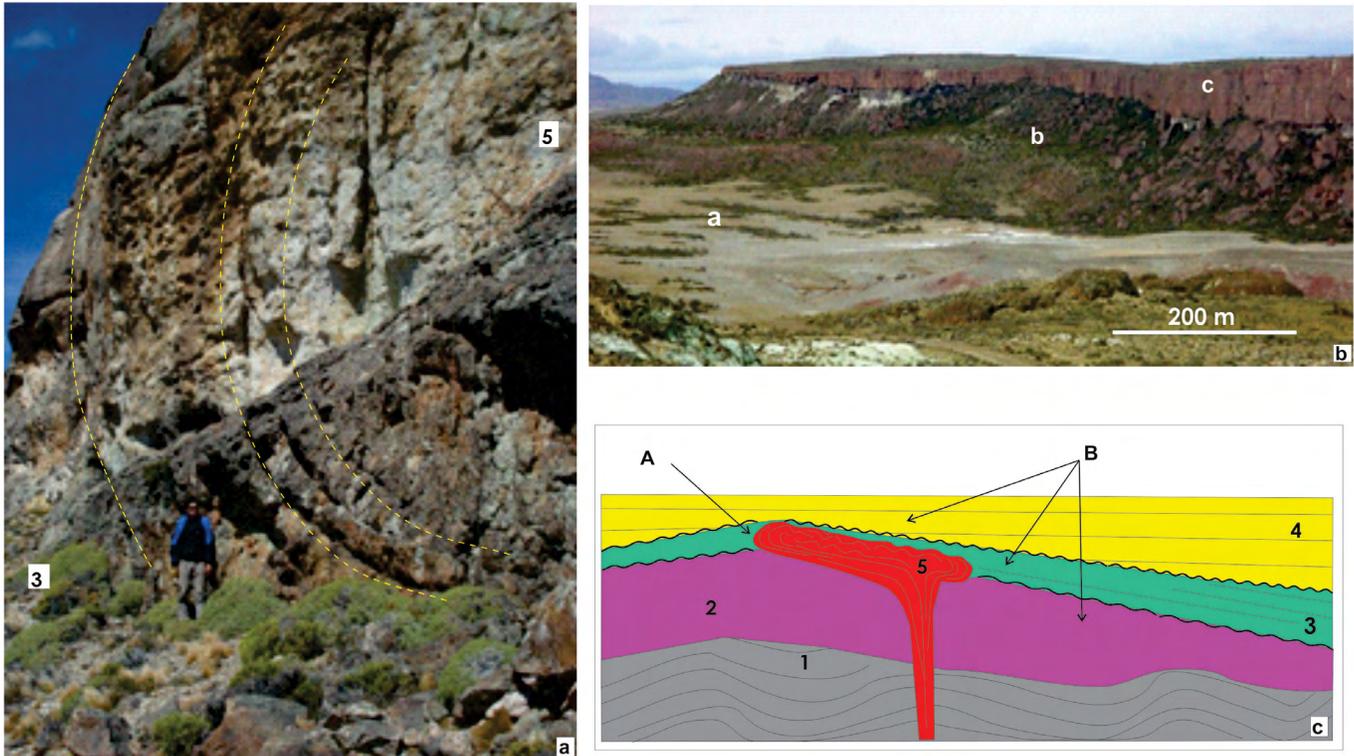


Figura 6. a) Vista del flanco occidental del domo del Cerro Cuadrado que muestra la disposición envolvente de la fluidalidad del criptodomo riolítico (5) próximo a su contacto (línea discontinua amarillas) con la Secuencia intermedia (3); b) Afloramientos de ignimbritas de la Secuencia inferior (a), intermedia (b) y superior (c) al este del Cerro Cuadrado que muestran, un traslape progresivo a partir del cambio de espesor; c) Perfil esquemático de las relaciones estratigráficas entre las unidades: 1: Formación Río Lácteo (no aflorante en el sector), 2: Secuencia inferior, 3: Secuencia intermedia, 4: Secuencia superior y 5: Criptodomo riolítico. A y B indican la posición aproximada de las fotos.

tos, cristales de cuarzo y de feldespato alcalino y escasos individuos de plagioclasa y opacos como accesorios en una matriz vítrea a microcristalina. Niveles piroclásticos intercalados presentan textura vitrocrystaloclástica con vitroclastos y cristaloclastos de feldespatos y abundantes de cuarzo y litoclastos constituidos por líticos felsíticos (70 %) de coloraciones más oscuras y textura microgranosa con muy poca deformación. Están inmersos en una matriz de microfragmentos de vidrio, líticos y cristales de tamaño ceniza. Los fragmentos pumíceos juveniles determinan fiammes por su aplastamiento que se observan tanto al microscopio como bajo lupa.

El sector central está ocupado por un criptodomo riolítico de unos 5 km² que se destaca de los encajantes circundantes por la expresión topográfica prominente que otorga el nombre de Cerro Cuadrado a todo el sector portador de mineralizaciones (Fig. 5). Está constituido, en términos generales, por fenocristales de cuarzo (10-20 %), feldespato alcalino (50-70 %), y menores cantidades de biotita y plagioclasa con textura fluidal en una matriz vítrea. Su composición riolítica es bastante homogénea con marcada foliación paralela de flujo en bandas de potencias centimétricas determinadas por cambios de tonalidades castaño rojizas. Los contornos con sus encajantes en algunos sectores cuspidales y laterales del domo están remarcados por la fluidalidad y contribuyen con la

interpretación de su mecanismo de emplazamiento (Fig. 5).

La superficie labrada y pulimentada por la erosión glacial de los afloramientos cuspidales del domo pone de manifiesto lineamientos submeridianales que son atribuidos a fallamientos asociados con las mineralizaciones de Galena Sur, Brecha Suyai y Brecha Alta (Fig. 4). También se identifican fallas con desarrollos subordinados que afectan a las anteriores dispuestas en juegos OSO-ENE, con componentes transcurrentes dextrales, y ONO-ESE, con componentes senestrales, determinados por la identificación de criterios cinemáticos generados por el desplazamiento de niveles guía proporcionados por la fluidalidad (Fig. 5).

En el extremo noroccidental del domo riolítico se reconoce un fallamiento muy neto dispuesto N-S con componente transcurrente dextral (Fig. 7a) que afecta la fluidalidad magmática expresada en repliegues decimétricos asociados con su emplazamiento (Fig.7b y 7c). Fallas subordinadas con rumbos ONO-ESE generan discretos desplazamientos senestrales de las vetas submeridianales (Fig. 7d).

En una perforación vertical localizada al noreste del domo, se recuperó un núcleo con un plano de falla con una inclinación estimada en unos 65° y con estrías de su espejo de falla dispuestas con un buzamiento cercano a unos 45°. Estos datos estructurales a pesar de haberse obtenido en un núcleo

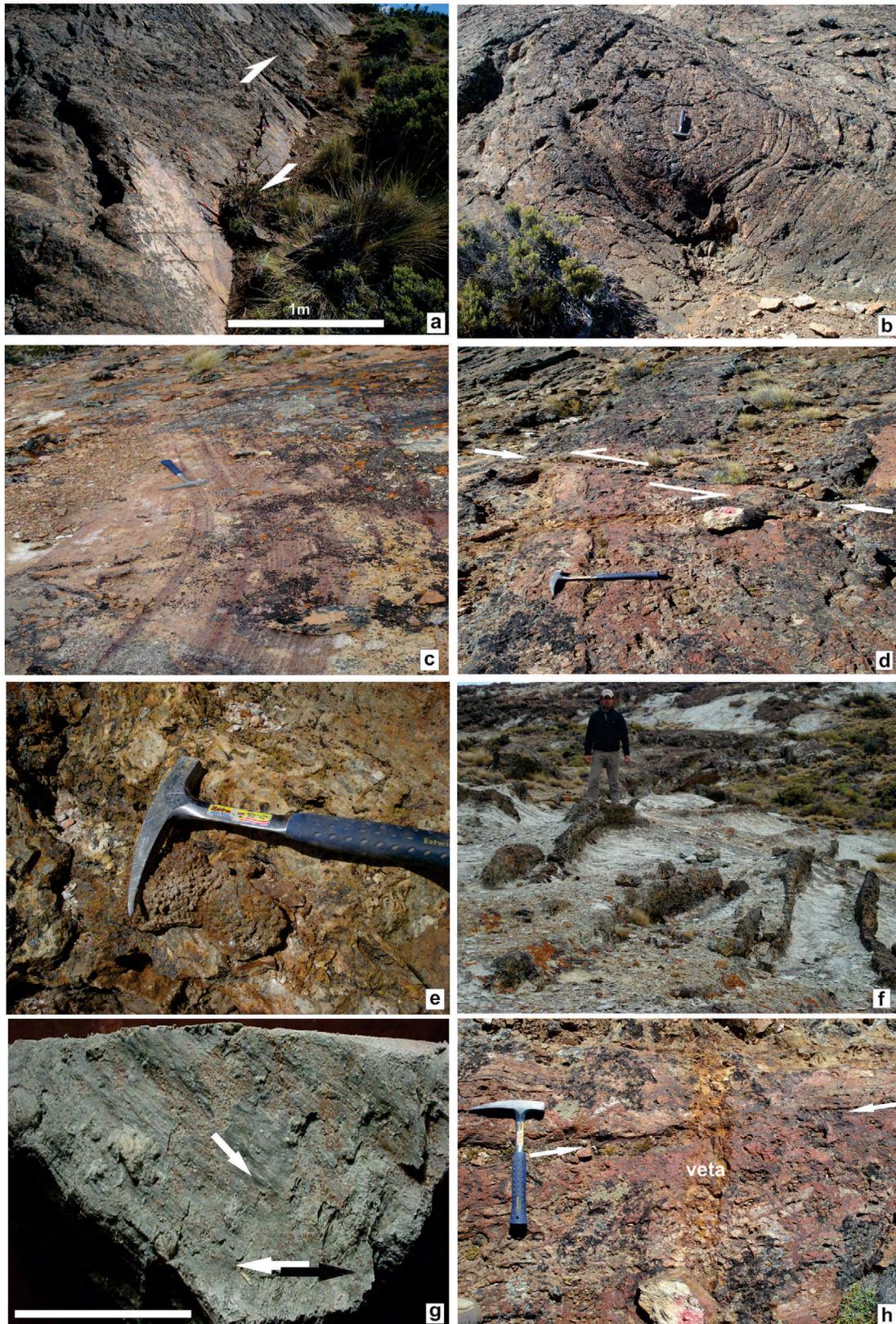


Figura 7. a) Fallamiento submeridional en el sector norte del domo (escala: 1 m); b) Pliegues métricos de la fluidalidad del domo riolítico; c) Fluidalidad riolítica sobre la cúpula del domo remarcada por tonos de meteorización diferencial; d) Veta submeridional desplazada por un fallamiento transcurrente senestral. e: Mineralización silícea de la Veta Blanca; f) Afloramientos de enjambres de vetas silíceas en encajantes piroclásticos de la Secuencia Inferior al NE del Cerro Cuadrado; g) Espejo de fricción con componente oblicua en una fractura de un testigo de perforación vertical en la Veta Virgen (escala 5 cm) que indica transtensión senestral; h) Veta brechosa silícea dispuesta NS afectada por fracturas sublatitudinales (indicado por flechas blancas).

de un pozo vertical horizontalmente no orientado, permiten interpretar un ambiente transpresional (Fig. 7G).

Al norte del Cerro Cuadrado se reconocen otros afloramientos igualmente prominentes de naturaleza riolítica con morfologías y características texturales semejantes, aunque de tamaños más reducidos, identificados como Domo Norte y Domo Noroeste (Fig. 3). Estos cuerpos, a pesar de haber despertado un interés exploratorio por su llamativa semejanza con el Cerro Cuadrado, no fueron alcanzados por los relevamientos de detalle, ya que los mismos fueron cancelados abruptamente por las razones mencionadas en la introducción del presente trabajo.

Geología del sector El Bagual

La comarca de El Bagual se caracteriza por un sector central cóncavo representado por secuencias eruptivas anti-formales de geometría elipsoidal en planta, con un eje mayor de 1000 m dispuesto en dirección NNO-SSE. Una transecta sublatitudinal permite reconocer que el flanco nororiental es más tendido (Fig. 8).

Se reconocieron cuatro secuencias litológicas con una potencia estimada en unos 300 m pertenecientes a la Formación El Quemado constituidas por diferentes tipos de ignimbritas feno-andesíticas de colores castaños pálidos a grisáceos y con variables texturas vitrocrystaloclástica. En su composición hay predominio de vitroclastos y cristaloclastos por sobre los

líticos básicos con textura pilotáxica y líticos ácidos de texturas microgranosa, felsítica y esferulítica. Estas unidades de piso a techo son las siguientes (Fig. 9):

Ignimbritas riodacíticas: Esta unidad litológica exhibe el mayor desarrollo areal con un espesor estimado mínimo de una centena de metros porque no se ha alcanzado su piso en los sondeos realizados (Fig. 9). Su composición es riodacítica, reconociéndose a ojo desnudo por la abundancia mayoritaria (entre 60 y 80%) con respecto a su matriz, de vitroclastos, cristaloclastos de feldespatos potásicos y plagioclasa con escasos fragmentos de cuarzo. Presenta individuos pumíceos alargados y deformados que resultan en una textura eutáxica. La matriz es piroclástica, fina, de coloración gris rosada. Bajo lupa binocular se reconoce una textura vitrocrystaloclástica integrada por vitroclastos y cristaloclastos de cuarzo (20%) subhedrales con bordes irregulares y de feldespato potásico (5%) subhedrales verdosos y rosados con gran variación de tamaños algo alterados. También, exhibe litoclastos (1.5 cm) de fragmentos de rocas piroclásticas ácidas con bandas de distinto color y básicos de color gris verdoso con texturas porfíricas con alteración a arcillas. La matriz es afanítica, abundante, fina y de coloración blanquecina con escasos cristales de pirita euhedral diseminados. Esta unidad tiene importancia prospectiva ya que alberga la mayoría de las principales manifestaciones hidrotermales con las mayores anomalías metálicas de interés detectadas en el sector

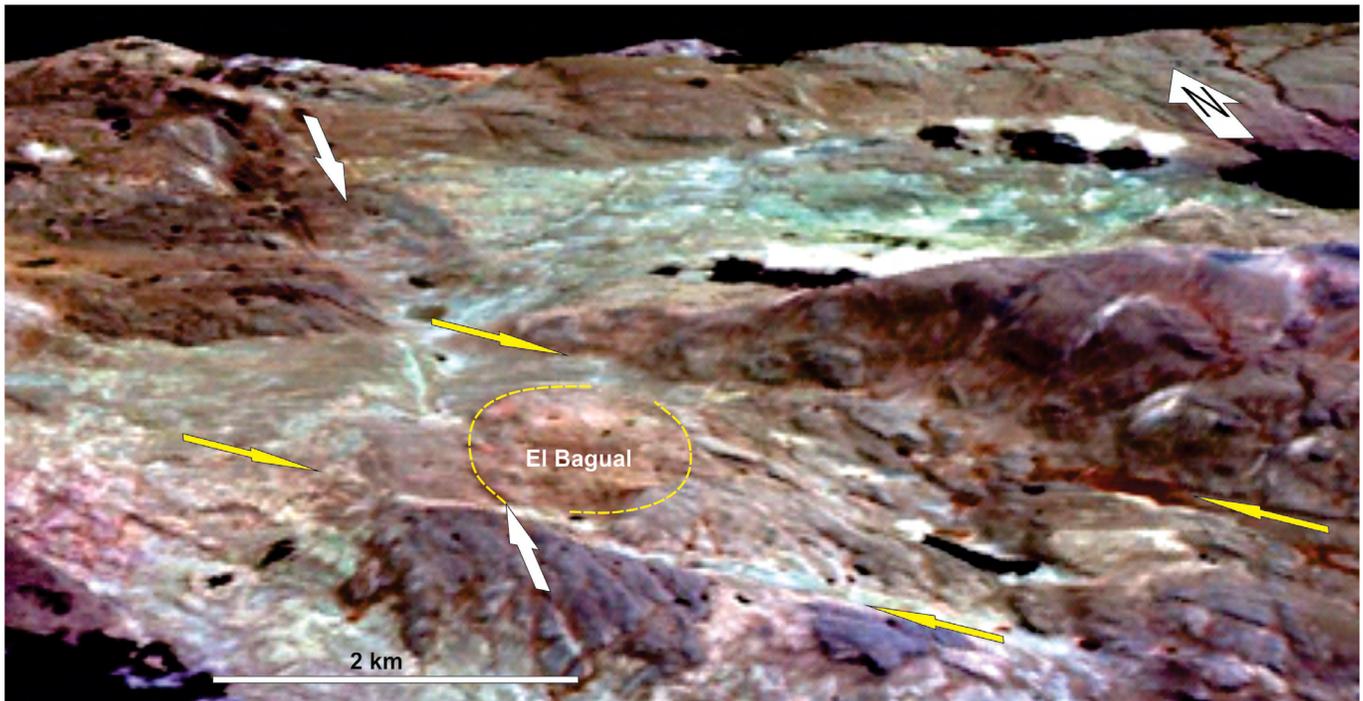


Figura 8. Vista panorámica oblicua 3D de El Bagual basculada hacia el Norte de un Modelo de Elevación Digital ASTER en combinación de bandas RGB 459 con exageración topográfica que muestra la morfología cóncava y los fallamientos principales que lo afectan. Las flechas blancas indican la posición del fallamiento El Salitral y las flechas amarillas fallamientos subordinados tardíos.

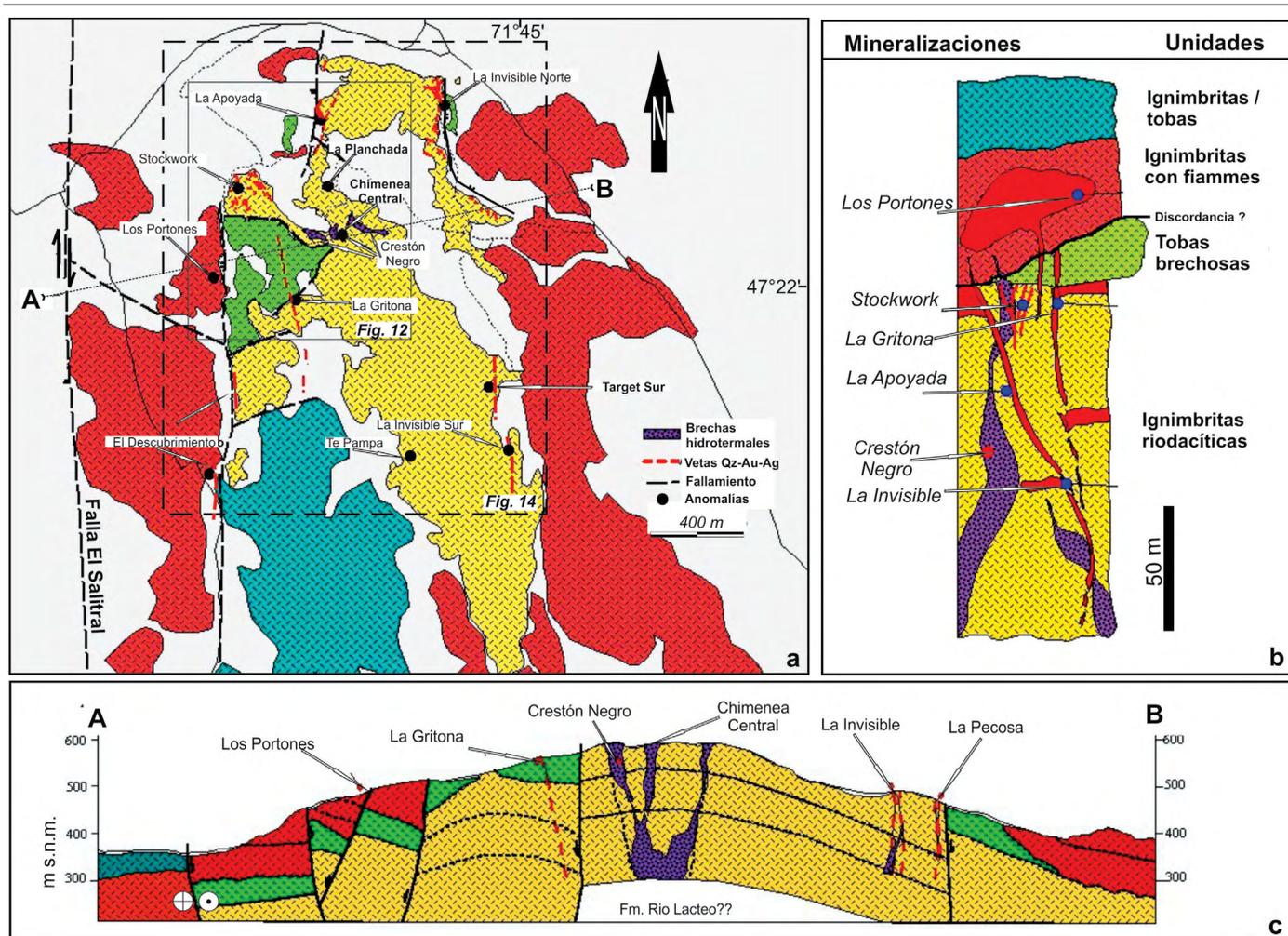


Figura 9. a) Mapa geológico simplificado con la ubicación de las principales anomalías de contenidos metalíferos con interés económico (véase localización en figura 3); b) Columna litoestratigráfica de las manifestaciones El Bagual con la ubicación de las principales mineralizaciones; c) transecta A-B que permite visualizar la conformación dómica y las características de emplazamiento de las diferentes unidades magmáticas. Con recuadros, se indica la ubicación de las figuras 12 y 14.

(e.g., La Apoyada, La Gritona, La Invisible, Crestón Negro, *Stockwork*).

Tobas brechosas: Esta unidad aflora con escaso desarrollo areal en el sector noroeste y acuñándose hacia el este, intercalada entre la Ignimbrita riódacítica y la Ignimbrita con fiammes y un espesor máximo que no supera los 20 m. Presenta coloraciones grises a rosadas claras y con abundancia de litoclastos de variado tamaño integrados por un importante porcentaje de líticos ácidos juveniles con texturas de desvitrificación y líticos básicos subordinados. Las características texturales, estructurales, composicionales y su relación espacial con mantos de ignimbritas con fiammes densamente soldadas, sugieren que podrían corresponder a brechas de colapso (*“caldera collapse breccias”* de Lipman 1976). Sobre uno de sus bordes orientales, alberga vetas como La Gritona y varios cuerpos de brechas hidrotermales (Fig. 9).

Ignimbrita con fiammes: Esta secuencia aflora en la periferia del proyecto apoyándose sobre la Toba brechosa y

la Ignimbrita riódacítica en posible discordancia (Fig. 9). Su espesor aproximado es de 30 m. Tiene una composición riódacítica y se reconoce en el afloramiento por la coloración gris clara de su matriz y con intercalaciones de niveles con *fiammes* generalmente argilizados. La textura más representativa es vitrocristaloclástica, con escasos cristaloclastos de feldspatos alcalinos (subordinadamente plagioclasa) y abundantes individuos de cuarzo. Los litoclastos están predominantemente constituidos por líticos felsíticos ácidos (70%). Estos últimos tienen coloraciones más oscuras y texturas microgranosa y esferulítica por desvitrificación y eutaxítica con trizas con poca deformación y algunos cúmulos anhedral de titanita y sericita. En esta unidad se localizan las manifestaciones con reemplazo silícico de Los Portones (Fig. 9).

Ignimbritas y tobas: Esta unidad aflora en el centro sur del proyecto sobreyaciendo a la ignimbrita anterior, con características texturales similares al Crestón Negro por lo que no se descarta que corresponda a la misma unidad (Fig. 9).

Al microscopio, tiene una textura fragmentaria que está constituida por 60% de cristaloclastos y 40% de matriz con textura fina microgranosa de desvitrificación junto a abundantes minerales opacos dispersos (Breitkreuz 2013). El cuarzo (10%) es anhedral con bordes angulosos a subangulosos y en ocasiones con engolfamientos. La plagioclasa (5%) es subhedral con intensa alteración a sericita y titanita como minerales secundarios. Como accesorios (10%) se distinguen minerales opacos euhedrales dispersos por la matriz junto a cristales

euhedrales de apatito y zircón. Por lo general, se presenta fresca a levemente argilizada y de acuerdo con los muestreos geoquímicos realizados no tuvo interés prospectivo.

Crestón negro: Con este nombre se reconoce una serie de afloramientos prominentes, pero de reducidas dimensiones, de brechas volcánicas compuestas por litoclastos, cristaloclastos y vitroclastos con tonalidades más oscuras y mayor resistencia a la erosión que se localizan en la cúspide de la antiforra que domina la morfología de El Bagual. Su

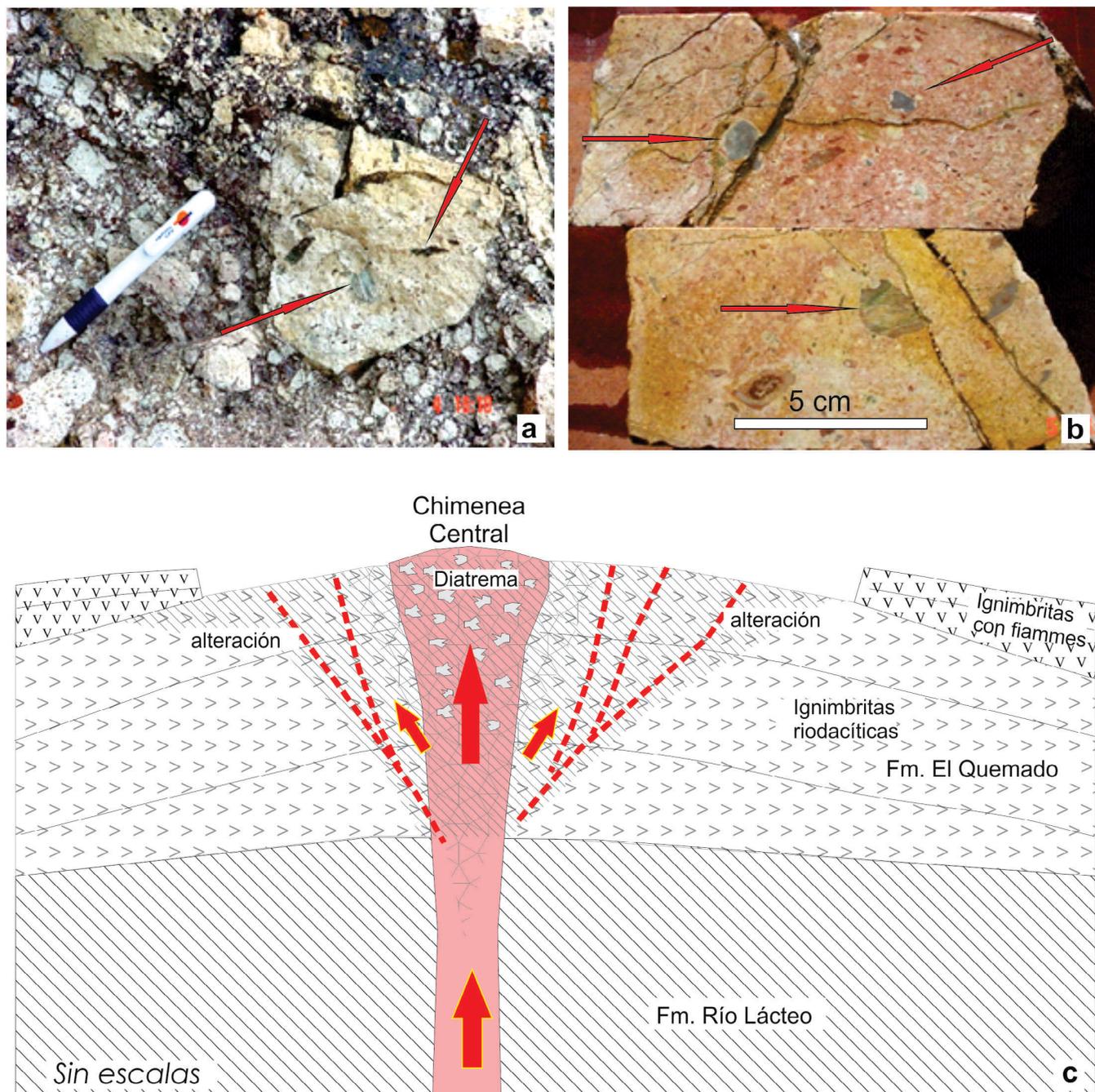


Figura 10. a) Detalle de los aglomerados de los afloramientos del intrusivo de la Chimenea Central; b) Vista de las brechas volcánicas con litoclastos metamórficos arrastrados de la Formación Río Lácteo infrayacente; c) Modelo genético esquemático en perfil de El Bagual, donde se muestra la disposición de la Chimenea Central y el halo concéntrico de alteración argílica y numerosas venillas asociadas.

afloramiento central presenta un diseño en planta irregular donde se reconoce un sector groseramente sub-circular de unas decenas de metros de diámetro. Su estudio detallado identificó una brecha volcánica polimíctica y multiepisódica debido a la presencia, además de los mencionados, de un porcentaje importante (20 a 30 %) de litoclastos angulosos de tonalidades oscuras de naturaleza exótica que se consideran provenientes de las metamorfitas filíticas paleozoicas de la Formación Río Lácteo (Fig. 10). Estos litoclastos presentan conspicuas anisotropías planares internas de tipo pizarreño y/o coloraciones de alteración verdosas que gradan desde plurimilimétricas hasta decimétricas. También, suelen exhibir algunas superficies parcialmente subredondeadas, posiblemente por digestión parcial de la matriz (Blatt y Tracy 1996). Además, se reconocen litoclastos brechosos y microfracturados de composición riolítica, riodacítica e ignimbrítica típicos de la Formación El Quemado.

La composición litológica de los litoclastos asociada a la disposición y geometría 3D del cuerpo magmático que integran permite considerarlo un posible conducto de alimentación eruptivo denominado Chimenea Central (Fig. 10).

LAS MINERALIZACIONES POLIMETÁLICAS

Manifestaciones del Cerro Cuadrado

Las manifestaciones del Cerro Cuadrado constituyen un conjunto de estructuras mineralizadas con vetas, vetillas y brechas hidrotermales que alcanzan más de 5 km de extensión. Las principales mineralizaciones están ubicadas en los alrededores y directamente hospedadas en la estructura dómica riolítica que resalta de los relieves circundantes. En este sector se han realizado 3.700 m de perforaciones a diamantina con los cuales se definieron las características metalogénicas de estructuras brechosas con rellenos de cuarzo hidrotermal de hasta 26 m de potencia, con un promedio de 5 m, a lo largo de corredores de fallamientos dispuestos submeridionalmente (Fig. 4).

La Veta Grande, dispuesta subverticalmente con rumbo N-S, exhibe el mayor desarrollo estimado en unos 200 m de corrida y comprobada en sondeos hasta unos 100 m de descuelgue, con potencias muy variables que oscilan entre 0.2 a 1.5 m. Presenta bandeamientos silíceos blanquecinos y castaños grisáceos claros donde alternan bandas centimétricas de sulfuros muy finamente diseminados. Están cortados por venillas tardías con cristales de cuarzo con terminaciones cristalinas que tapizan oquedades drusiformes y geoidales (Fig. 11a) y otras con abundantes cristales subhedrales de pi-

rita de grano fino (Fig. 11b, 11c). A unos 50 m de profundidad de una perforación de la Veta Grande se reconocieron vetillas silíceas con bandas contorneadas de esfalerita en cristales idiomorfos bien desarrollados de hasta 5 mm (Fig. 11e). La Veta Galena Sur consiste en delgadas bandas silíceas que contienen pequeños sulfuros diseminados. Las manifestaciones de Veta Virgen y Veta Blanca presentan desarrollos irregulares dispuestos con inclinaciones verticales a 80° E, rumbos submeridionales y con escasa expresión superficial a lo largo de unos cientos de metros. Están constituidas por sílice blanquecina con escasos bandeamientos y limitada presencia de sulfuros finamente distribuidos. En secuencias piroclásticas de la Secuencia intermedia que aflora en el sector NE del área, se reconocieron enjambres de vetas silíceas que se destacan topográficamente por su mayor resistencia a la erosión (Fig. 7f). En afloramientos nororientales del domo riolítico se localizan cuerpos vetiformes intensamente craquelados constituidos por material silíceo donde se destacan venillas tempranas silíceas con abundante piritita en granos finos diseminados (Fig. 7h).

Los testigos de algunos tramos de sondeos presentan venillas de sílice bandeadas y brechiformes de diversas generaciones que se intersectan y/o interfieren con diferentes disposiciones espaciales y texturas de relleno. Son comunes vetillas de escasos centímetros de potencia cortadas por otras con discretos desplazamientos senestrales (Fig. 11f). Fallas subordinadas y dispuestas con rumbos NNO-SSE (Fig. 4) exhiben mineralizaciones de óxidos de hierro (Fig. 11d). En secuencias piroclásticas de la Secuencia Inferior se reconocen fracturas con impregnaciones y vetillas silíceas (Fig. 7f). Guido y Del Blanco (2007) identificaron en la Veta Grande un pulso mineralizante portador de abundantes sulfuros de Ag-Zn-Pb, donde los principales contenidos de Ag se encuentran en tetraedrita (posiblemente la variedad argentífera freibergita) y en sulfosales del grupo de las platas grises con tamaños muy finos incluidas en esfalerita y/o galena.

Las Brechas Suyai y Alta presentan sectores constituidos por fragmentos subangulosos castaños rojizos propios del criptodomo riolítico con tamaños variables entre centimétricos a decimétricos. Están ligados por cementos silíceos castaños claros a blanquecinos dispuestos en bandas que rellenan parcialmente los huecos formados en la roca fragmentada. Suelen presentar rellenos silíceos con texturas botroidales de tonos castaños amarillentos (Fig. 7e). Según la clasificación de Sillitoe (1993) estas manifestaciones presentan características de brechas magmático-hidrotermales.

La ganga silícea de las diferentes manifestaciones está constituida por cuarzo lechoso blanquecino a grisáceo con algunos bandeamientos donde, en algunos sectores, se des-

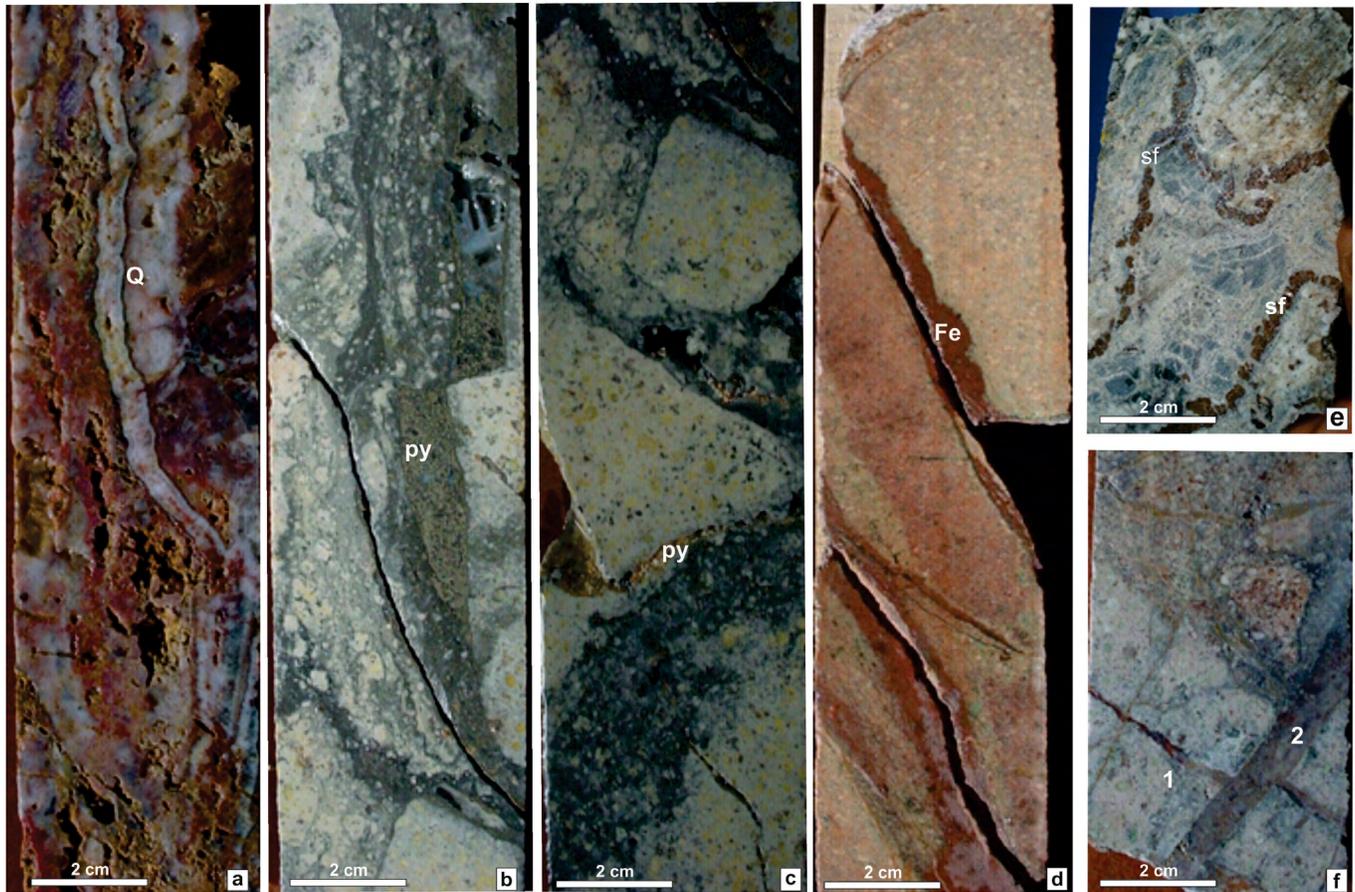


Figura 11. Ejemplos de mineralizaciones en mitades de núcleos de testigos (ancho 4 cm): a) Brechas silíceas con rellenos silíceos bandeados con espacios incompletos; b) Venillas ricas en pirita y sulfuros cementando fragmentos brechosos con alteración sericitica; c) Brechas con mineralizaciones silíceas de tipo *stockwork* encajados en tobas riolíticas; d) Brechas mineralizadas con venillas con difusión de óxidos; e) Venillas de esfalerita (sf); f) Venillas silíceas con mineralización finamente disseminada (1) cortadas por otras (2) más tardías que provocan desplazamientos discretos.

tacan amatista, calcedonia, variedades de ópalo y arcillas del grupo de la illita. Adularia y fluorita completan la ganga, sobre todo en las venas y brechas mineralizadas en los sectores localizados en las partes altas del Cerro Cuadrado (Veta Galena Sur, Brecha Blanca y Brecha Suyai). Son frecuentes los multipulsos de precipitación de sílice que suelen incorporar contenidos subordinados de carbonatos (calcita más común).

Los valores geoquímicos promedio de 1700 muestras obtenidas de los sectores detectados con potencial económico son 4% Zn, 250 ppm Ag y 1% Pb; la Veta Grande exhibe los mejores valores en una distribución espacial continua. El contenido promedio de Au oscila en 2 ppm en todas las estructuras mineralizadas, particularmente con brechamiento, donde la relación Ag/Au es del orden de 100:1.

Las alteraciones más frecuentes de las rocas volcánicas encajantes de naturaleza ácida es la silicificación y la argílica. En los niveles más básicos y lávicos, se identificaron vestigios de alteración propilitica a partir de la presencia de clorita y albitización de plagioclasas. En profundidad, las rocas encajantes de las diferentes mineralizaciones muestran un aumento de la sericitización (QSP: cuarzo-sericita-pirita)

que, en general, disminuye en pocos metros su intensidad desde los contactos con la mineralización hacia la roca sin alterar.

Mineralizaciones de El Bagual

En El Bagual se realizaron unos 1000 m de perforaciones a diamantina y muchos destapes y trincheras donde se reconocieron diferentes sectores mineralizados con elevados contenidos auroargentíferos. Las mineralizaciones se disponen en fracturas potencialmente abiertas de diferentes tamaños y en sus encajantes de naturaleza ignimbrítica (Fig. 12). Se identificaron, a veces de modo asociado: i) corredores submeridianales de vetas y venillas (La Gritona, La Apoyada, La Invisible), ii) sectores brechiformes asociados a vetas y vetillas en La Apoyada, iii) zonas de relleno y reemplazo en matriz de ignimbritas y tobas, siempre acompañadas de venillas milimétricas (La Planchada, Los Portones), y iv) brechas hidrotermales polimícticas clasto-sostén (Crestón Negro).

Las manifestaciones vetiformes están constituidas por un conjunto de cuerpos silíceos con potencias centimétricas hasta decimétricas, con texturas masivas a parcialmente ban-

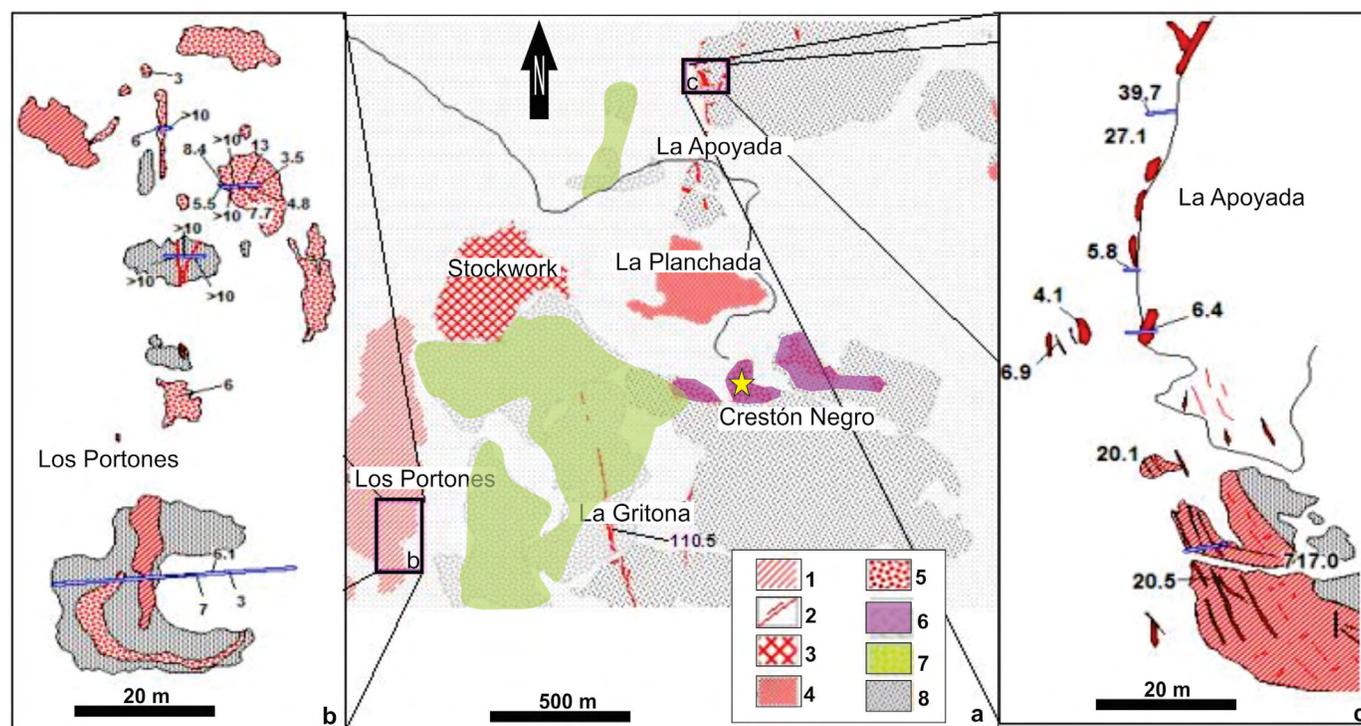


Figura 12. Esquema de la distribución y características geométricas de las principales manifestaciones auroargentíferas de El Bagual con indicación de valores de contenidos de Au, expresados en ppm (véase localización en Fig. 9). 1: Reemplazos de sílice. 2: Vetas de cuarzo. 3: Stockwork. 4: Silicificación intensa. 5: Brechas hidrotermales cuarzo-pirita. 6: Crestón negro. 7: Brechas volcánicas con clastos de la Fm. Río Lácteo de la Chimenea central (estrella amarilla). 8: Ignimbritas riódacíticas.

deadas donde, en ocasiones, presentan espacios tapizados por cuarzo con terminaciones cristalinas que contienen cristales de pirita submilimétricos. La disposición es generalmente subvertical y bastante irregular a lo largo de corredores tanto en proximidades de la Chimenea Central como en su encajante austral. De acuerdo con el arreglo de resaltos derecho en *échelon* de los cuerpos silíceos mineralizados de la Veta La Gritona, se puede interpretar una cinemática senestral del corredor N 350° que los contiene (Rossello 2009). Las manifestaciones de Los Portones y El Descubrimiento constituyen vetas y vetillas discontinuas de escasa potencia y expresión superficial dispuestas en sentido NS.

Sobre sectores con quiebres de pendientes topográficas favorecidos por contactos tectónicos (La Apoyada, La Invisible), se identificaron los mayores contenidos de sulfuros (~4%) con fuertes anomalías geoquímicas auroargentíferas (hasta 48 g/t Au y 1250 g/t Ag) asociadas a superficies de fallamiento muy inclinadas. Estas áreas mineralizadas en sectores con fuertes pendientes de los afloramientos pueden correlacionarse con contactos de las litologías hospedantes con marcadas diferencias de friabilidad y erosionabilidad. Estos rasgos superficiales coinciden en subsuelo con una mayor concentración de fracturas mineralizadas hasta profundidades de una centena de metros, e incluso, facilitan la distribución de anomalías en sus salbandas (Fig. 13).

El sector del *Stockwork* se dispone inmediatamente al norte de la zona central donde ocurren brechas de unos 20 m de ancho por 50 m de largo cementadas con sílice. Hay venillas silíceas que cortan las brechas castaño rojizas delgadas, pero con escasa presencia de sulfuros. Las características texturales son comparables a las brechas magmático-hidrotermales (según clasificación de Sillitoe 1993).

Las manifestaciones de La Planchada y Los Portones exhiben venillas subcentimétricas subparalelas y anastomosadas rellenas con sílice blanquecina y pirita finamente diseminada hospedadas en ignimbritas y tobas. Los sectores más australes de La Invisible Sur y Te Pampa presentan venillas semejantes a las anteriores emplazadas en ignimbritas riódacíticas.

El Crestón Negro presenta brechas hidrotermales clasto-sostén con clastos angulosos de tamaños muy variables entre centimétricos y decimétricos con sectores cementados por sílice criptocristalina masiva castaño rojizo con sulfuros muy finos, rara vez detectables mediante lupa.

Los sectores de El Bagual que resultaron con los mayores contenidos auríferos son La Invisible Norte y Sur, La Apoyada, La Planchada, Los Portones, el Crestón Negro, el *Stockwork* y el Sur de La Gritona (Fig. 14). El muestreo geoquímico de tramos mineralizados aflorantes y de las muestras obtenidas en las perforaciones de prácticamente todas las manifestaciones

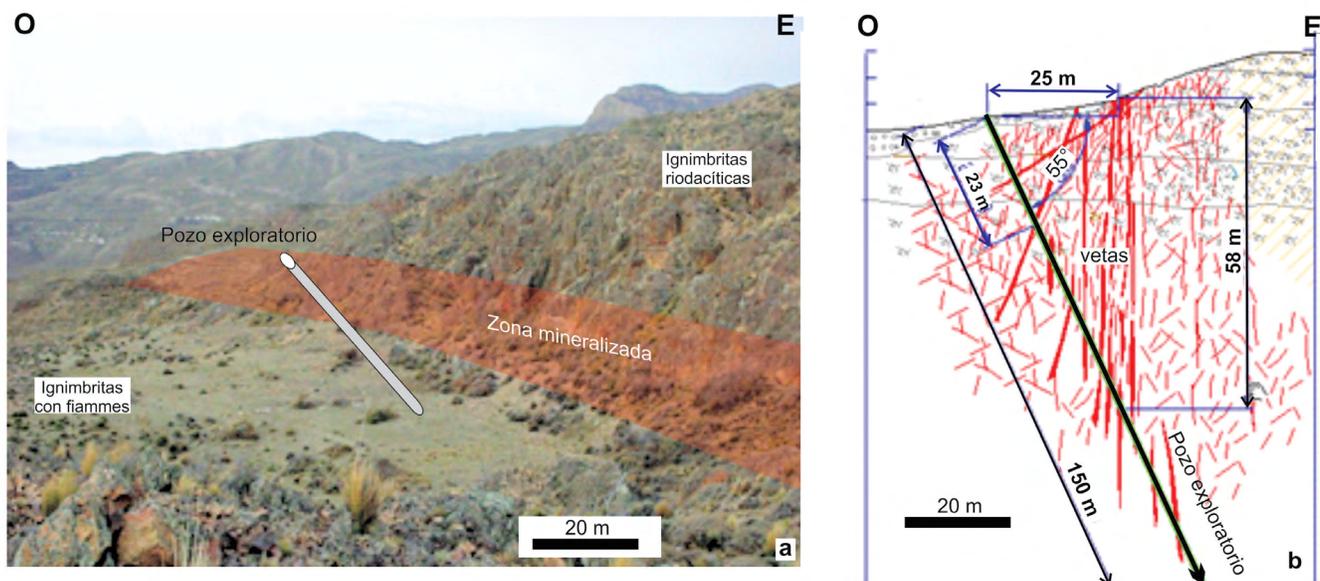


Figura 13. a) Vista hacia el norte de un afloramiento con mineralizaciones vetiformes dispuestas N-S y diseminadas hacia sus contactos en un sector con fuertes pendientes de La Apoyada (véase localización en figura 12); b) Sección vertical esquemática de la distribución espacial de las mineralizaciones a partir de la correlación de afloramientos y un sondeo que cortó numerosas estructuras vetiformes con altos contenidos de Au y Ag.

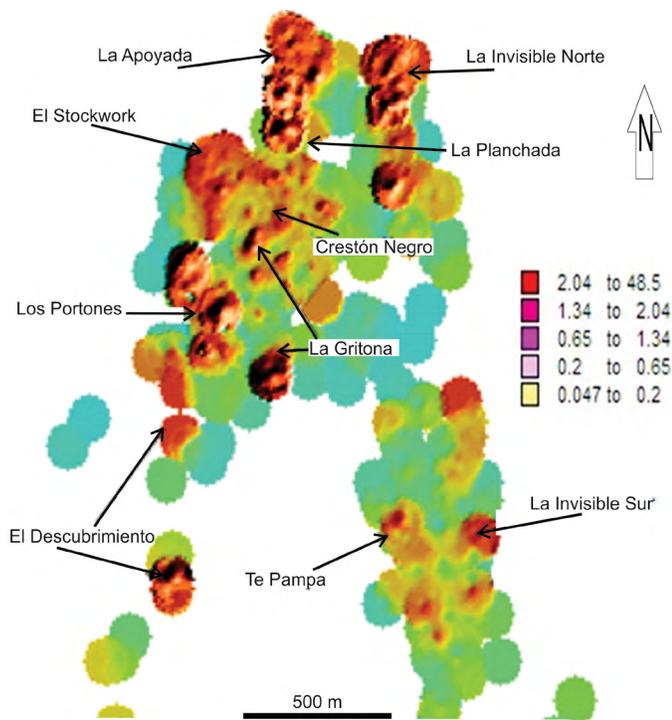


Figura 14. Mapa de la distribución de los contenidos auríferos en ppm (a partir de 1575 análisis de esquileo) en los distintos sectores que integran las manifestaciones El Bagual (véase localización en figura 9).

de La Gritona, La Apoyada, La Invisible Norte, La Planchada y Los Portones, determinó concentraciones de Au superiores a los 2 ppm. En estos sectores se obtuvieron valores de hasta 48 ppm (acompañado por Ag de manera subordinada) que son, incluso, apreciables a simple vista como oro nativo. Sin embargo, los valores altos de Au son discontinuos y muy irregulares a lo largo del rumbo de las estructuras.

Las zonas con los mejores valores de Ag son La Apoyada, La Planchada y La Invisible Norte (más de 700 ppm), La Gritona (puntual 110 ppm), Los Portones (hasta 58 ppm) y con valores anómalos, pero por debajo de 50 ppm en La Invisible Sur, el *Stockwork* y Crestón Negro (Fig. 14). Los contenidos medios de Ag son > 17 g/t (con valores saltuáricos de hasta 1250 ppm).

En el área austral de El Bagual se aprecian concentraciones anómalas de As, Hg y Sb en correspondencia con las bajas anomalías de metales preciosos. En este sector se muestra una distribución significativa del Sb que alcanzan valores de hasta 365 ppm en Te Pampa y La Invisible Sur y de As en La Invisible Sur donde supera el 10 % (Fig. 15).

Las mayores anomalías de Hg no parecen localizarse sólo en este sector ya que también en La Apoyada se obtuvieron valores que alcanzan puntualmente los 16300 ppm. Los valores de Hg son muy elevados sobre un lineamiento submeridiano al sur de la zona de El Descubrimiento y en zonas con mayor enriquecimiento en el sector norte de La Apoyada, La Planchada y *Stockwork* (Fig. 15). Altos valores de As ocurren en el sector austral de El Bagual, particularmente en la zona entre Te Pampa y La Invisible Sur, donde alcanzan hasta 11000 ppm y más saltuariamente en La Invisible Norte, La Gritona y Los Portones (Fig. 15). El umbral de cargabilidad IP obtenido en ambas manifestaciones minerales está relacionado con la presencia de sulfuros (>1%).

Las mayores anomalías en superficie de Pb (hasta 2460 ppm) y de Zn (hasta 751 ppm) se encuentran en la zona del Crestón Negro y La Gritona Norte. En La Apoyada, un pozo cortó a unos 50 m de profundidad un tramo de brechas silí-

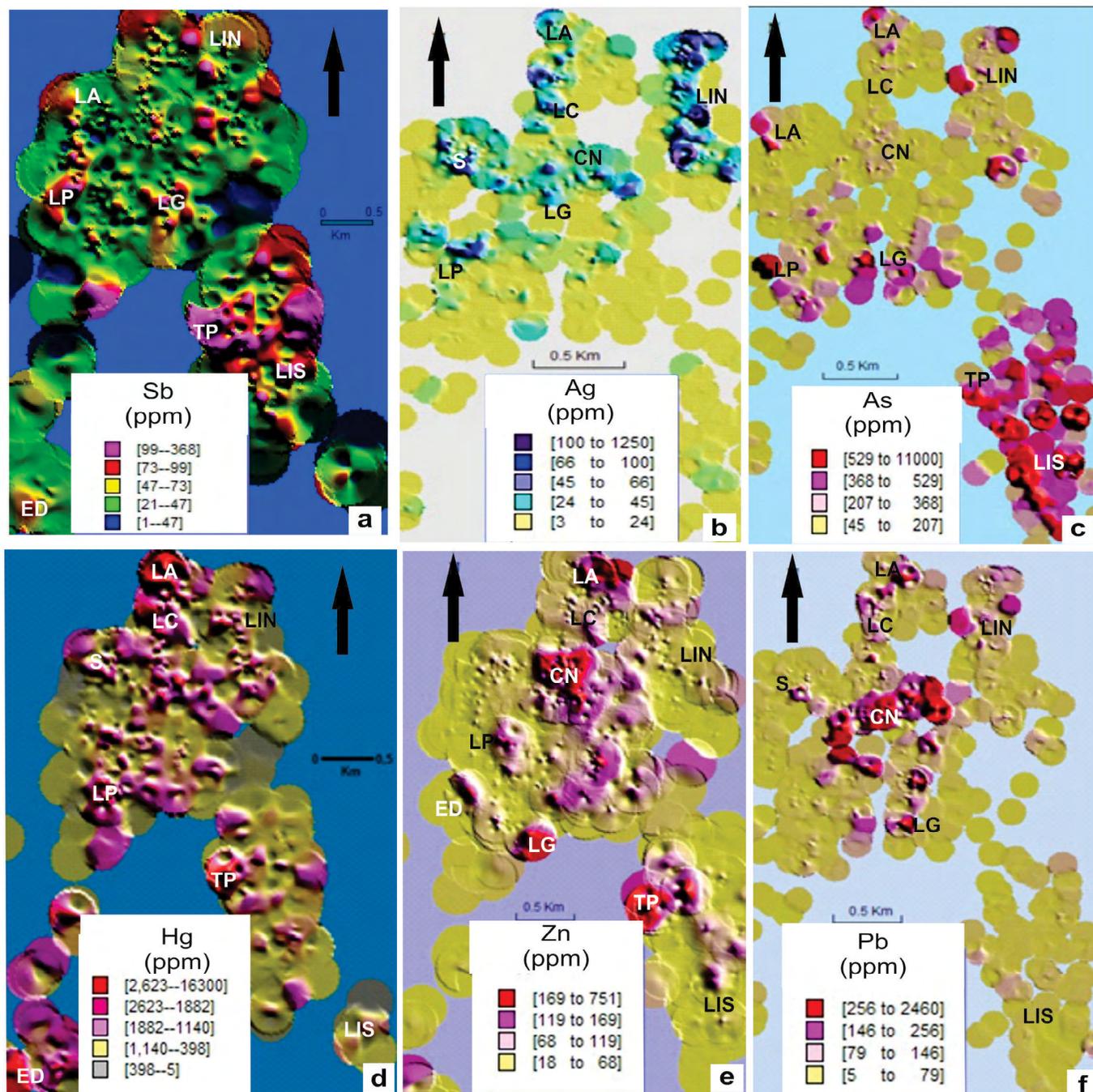


Figura 15. Mapas de la distribución de los contenidos de Sb, Ag, As, Hg, Zn y Pb (en ppm). LIN (La Invisible Norte, LG (La Gritona), LP (Los Portones), LC: La Planchada, S (*Stockwork*), TP (Te Pampa), LA (La Apoyada), LC (Crestón Negro), ED (El Descubrimiento), LIS (La Invisible Sur). (Véanse las localizaciones de los sectores anómalos en la figura 9).

ceas de un par de metros con alto contenido de Zn (0.6 %). Los contenidos de Pb y Zn no guardan una relación clara entre ellos, ni una buena correspondencia en el mapa de distribución, salvo en la zona central (Crestón Negro, La Planchada) y es menos evidente en El Descubrimiento y Los Portones (Fig. 15). Entre los sondeos realizados en el Crestón Negro, un pozo interceptó un sector con valores de 0.8 % Pb y 0.6% Cu, siendo este el único valor alto de Cu detectado en El Bagual.

La ganga dominante de las mineralizaciones, tanto vetifor-

mes como en los sectores brechosos, es sílice blanquecina a grisácea dispuesta en bandeamientos y rellenos masivos. En el sector Sur del Crestón Negro y del *Stockwork* se presenta como sílice microcristalina dentro de vetillas y vetas, y en agregados pseudomórficos de calcita en drusas. Cristales de amatista tapizan oquedades en vetas de sectores de La Apoyada, La Planchada y La Gritona y, localmente, de modo drusiforme en sondeos en La Gritona. Además, se reconoció escasa presencia de jaspe asociado a ópalo y calcedonia con

textura bandeada como relleno en los sondajes de La Apoyada y en *Stockwork*. En cortes delgados de muestras procedentes de sondajes de La Apoyada se identificaron individuos de buddingtonita (adularia con NH₄) asociados a cuarzo (Fig. 12).

La silicificación es la alteración dominante y de mayor distribución areal. Ocurre de modo pervasivo y con más frecuencia en afloramientos de las ignimbritas riódacíticas con fiammes. El ópalo, en agregados irregulares dispuestos en parches, reemplaza la matriz de los intrusivos ácidos y rellena vetillas en Los Portones, La Planchada, La Invisible y La Apoyada. La alteración argílica, caracterizada por la presencia de caolinita y montmorillonita, aparece con menor importancia. La alteración filica (cuarzo-sericita) se presenta con menos desarrollo en los afloramientos de la ignimbrita riolítica. Localmente, en los contactos con las mineralizaciones de La Gritona y La Apoyada la ignimbrita presenta alteración sericítica desarrollada en fajas decimétricas. Resultados de muestreos PIMA identificaron illita, interestratificados illita-esmectita y, ocasionalmente, illita-chamosita además de budingtonita, ópalo y siderita. En Los Portones, la roca de caja tiene alteración argílica con illita-esmectita y feldspatos argilitizados a caolinita en parches superficiales. En parches discontinuos, muy poco desarrollados y asociados a encajantes de naturaleza más básica, se identificó clorita en nidos dentro de la alteración argílica, localmente ripidolita (clorita Fe-Mg).

GEOFÍSICA

Los relevamientos geofísicos de resistividad aparente y conductibilidad arrojaron patrones de anomalías en profundidad que complementan la distribución de las estructuras mayores reconocidas por los mapeos de superficie. En el caso del Cerro Cuadrado, se aprecia un arreglo de las anomalías de conductibilidad, resistividad y campo potencial dispuestas preferencialmente en sentido submeridiano (Fig. 16) y coincidente con las principales estructuras reconocidas en superficie asociadas con las mayores mineralizaciones (Fig. 4 y 5).

En el relevamiento de magnetismo con reducción al polo, también se aprecia una anomalía circular (Fig. 16) que coincide con los límites de la estructuración criptodómica (Fig. 4). Estos relevamientos confirmarían la continuidad de las mineralizaciones con interés exploratorio en profundidad. Perforaciones orientadas a través de las estructuras que controlan a las Veta Virgen y Veta Blanca (Fig. 4), pudieron comprobar la presencia de mineralización a unos 60 m de profundidad.

Los relevamientos geofísicos eléctricos del El Bagual exhiben patrones de anomalías resistivas dispuestas en forma

de anillos elipsoidales (Fig. 17) que coinciden con la geometría cómica de la estructura El Bagual (Fig. 8 y 9). El máximo resistivo, de forma subcircular, se dispone ligeramente desplazado hacia el oeste del centro de la Chimenea Central, sugiriendo su continuación en profundidad, como se expresa en las secciones transversales relevadas. Lamentablemente, por la escala los relevamientos realizados y los contrastes débiles de cargabilidad entre los discretos volúmenes mineralizados con respecto a los encajantes, no se identificaron con claridad los sectores vetiformes con mayores mineralizaciones metalíferas.

Las anomalías obtenidas de más de 30mV/V indicarían la ocurrencia de material pirítico o de sulfuros de cobre (Keller y Frischknecht 1966, Peters 1978, Van Blaricom 1986, Quantec 2008). Los valores que superaron el umbral de cargabilidad IP en los relevamientos geofísicos de ambas manifestaciones estarían relacionados con la presencia, en general, superior a 1 % de sulfuros (Quantec 2008).

CONSIDERACIONES FINALES

El trabajo exploratorio permitió identificar manifestaciones polimetálicas de Ag, Pb, Zn y Au en amplios sectores en torno a los rasgos cómicos riolíticos jurásicos relacionadas con secuencias eruptivas de la Formación el Quemado. Las características de soldamiento de los diferentes niveles de ignimbritas indican que fueron producidos de los flujos explosivos de alta temperatura y con baja proporción de volátiles (Eichelberger y Koch 1979, Sparks et al. 1993, Freundt et al. 2000, Quane y Russell 2005).

Los tratamientos cromáticos realizados sobre imágenes satelitales diferenciaron sectores en el Cerro Cuadrado y El Bagual relacionados con lineamientos que muestran tinciones ocreas más intensas, indicadores de la potencial presencia de mineralizaciones de interés. Estos rasgos distintivos fueron una de las principales guías prospectivas que llamó la atención y motivó la planificación de las actividades exploratorias para la identificación y cuantificación de su potencial económico.

Los relevamientos geofísicos permitieron identificar rasgos morfológicos relacionados con la continuidad en profundidad de los fallamientos asociados con las mineralizaciones. Sin embargo, en los relevamientos geofísicos de cargabilidad, la presencia de fracturas saturadas con agua pudo ocasionar respuestas anómalas. Las anomalías IP resistivas son amplias y difusas debido a la silicificación intensa que presentan las estructuras mineralizadas (Rideout y Langer 2004, Quantec 2008).

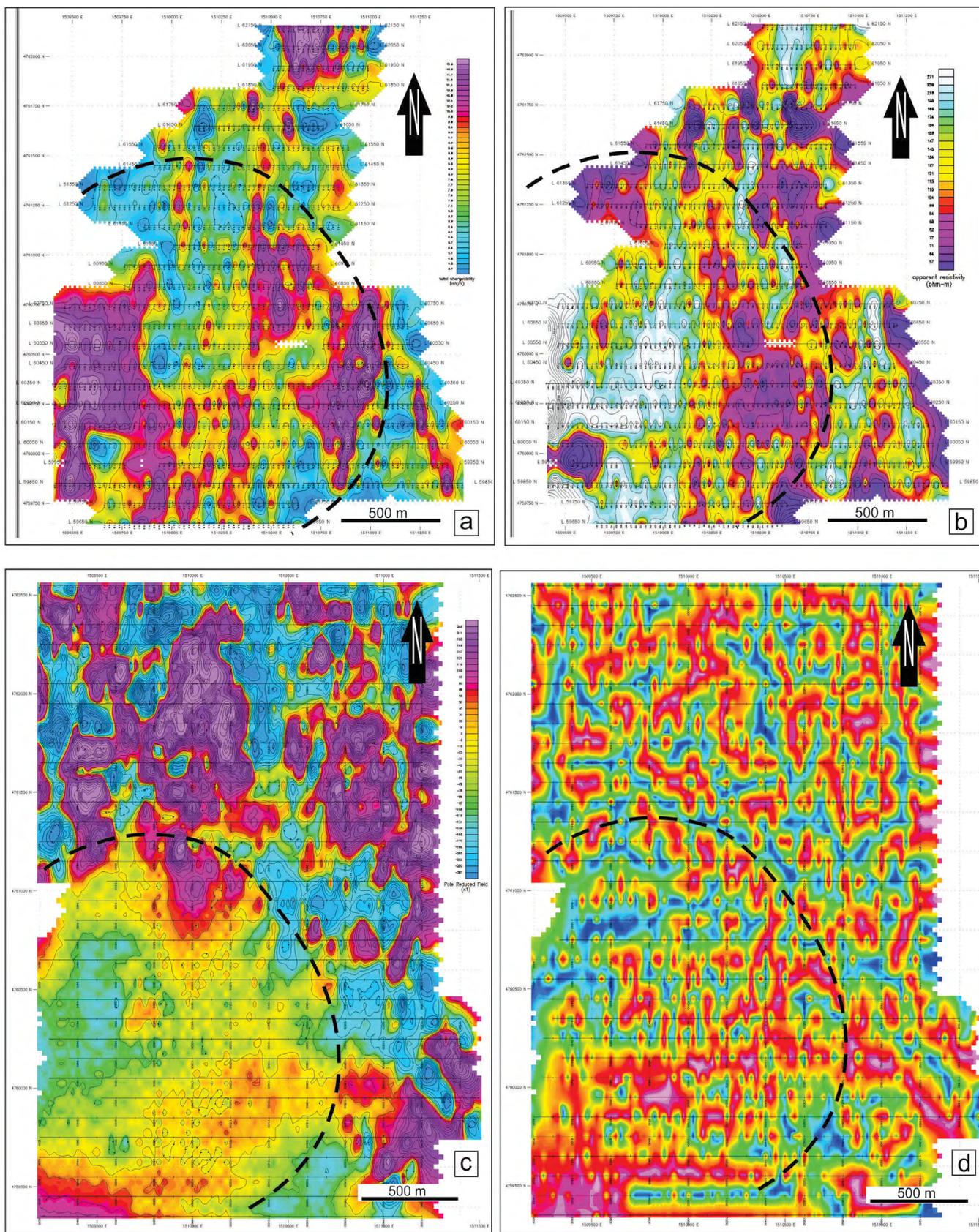


Figura 16. Ejemplos de los relevamientos geofísicos realizados en el área del Cerro Cuadrado donde se aprecian anomalías submeridianas asociadas a los fallamientos mineralizados (tomado de Rideout y Langer 2004). Las líneas de trazos discontinuos indican aproximadamente los límites de la estructura dómica.

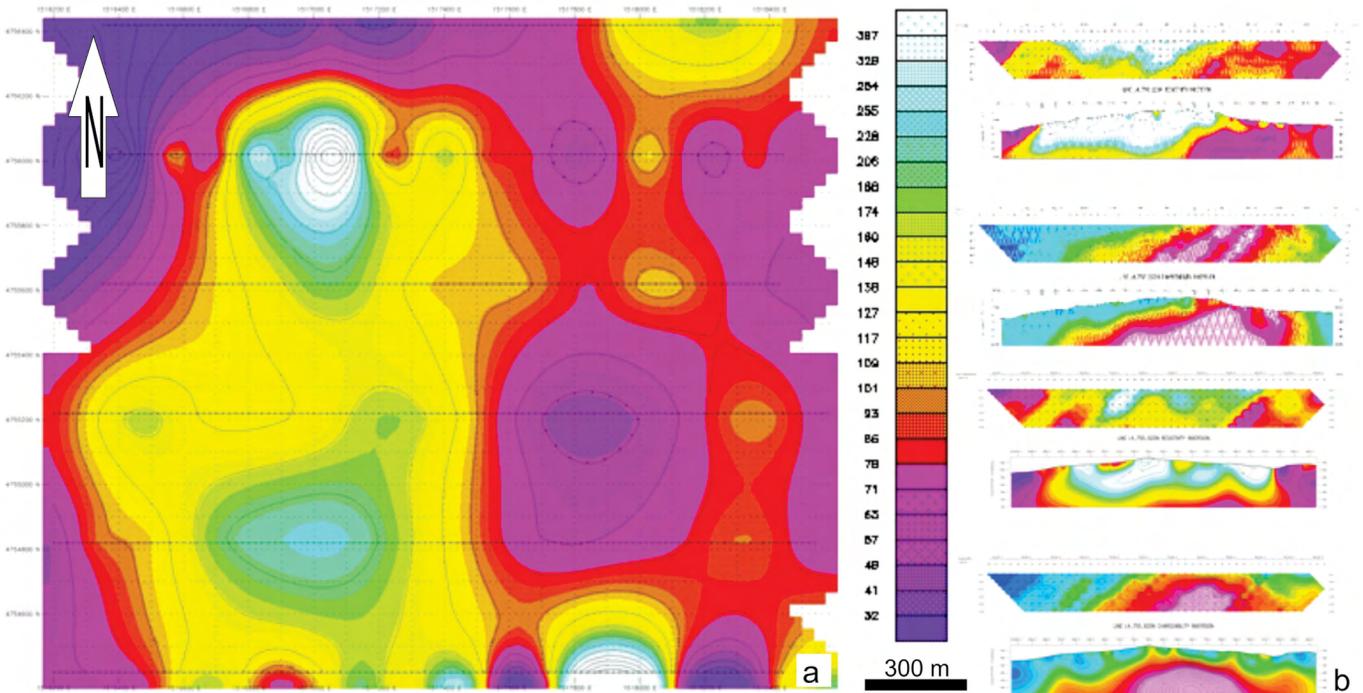


Figura 17. Ejemplo de modelado resistivo de El Bagual al Plano 300GP (valores en ohm/m) y secciones transversales sublatitudinales de resistividad y de inversión de cargabilidad. Secciones de resistividad Polo-dipolo y de cargabilidad (Línea 450E) representativas donde se aprecia la morfología en profundidad. Fueron adquiridas en intervalos de 50 m, frecuencia 0.125Hz y con lecturas de hasta 300 m.

Las mineralizaciones del Cerro Cuadrado presentan contenidos del orden de 2 a 5 % de Zn y 2-3 % de Pb a lo largo de fallamientos submeridianales (e.g., Vetas Grande, Galena Sur, Blanca y Virgen y Brechas Alta y Suyai). La conspicua presencia de esfalerita y la naturaleza eruptiva de las rocas de caja en las manifestaciones del Cerro Cuadrado sugieren similitudes con los que presentan los depósitos epitermales de sulfuración intermedia (Hedenquist et al. (2000) y en “*sulfide- and base metal- rich types in normal andesitic-dacitic arcs*”). Sin embargo, el ambiente donde se formaron no es precisamente el típico de arco según la clasificación de Sillitoe (1993). A partir de los tenores bajos de los metales base, se interpreta que la mineralización pudo haber ocurrido en una posición cortical relativamente alta (Guilbert y Park Jr. 1986, Sillitoe 1993, Corbett 2004, Corbett y Leach 2008).

Las mineralizaciones de El Bagual (e.g. La Gritona, La Invisible, La Apoyada, *Stockwork*, El Crestón Negro y Los Portones) consisten en vetas, vetillas y brechas con contenidos metálicos promedios de 4% Zn, 250 ppm Ag, 1% Pb y 2 ppm Au. Los sectores detectados con mayores contenidos aurífero y argentífero se disponen en corredores submeridianales que llegan a exhibir algunos metros de potencia, aunque con corridas de hasta centenares de metros. Los mapas de relevamientos geoquímicos de El Bagual muestran en general una distribución no uniforme de los mayores contenidos metálicos a lo largo de los corredores mineralizados.

En las mineralizaciones de El Bagual se identificó un afloramiento subcircular en planta localizado en la porción cuspidal de la estructura dómica denominada Chimenea Central, constituido por aglomerados brechosos de naturaleza ignimbrítica con xenolitos atribuidos a la Fm. Río Lácteo. Teniéndose en cuenta las características texturales y morfológicas la Chimenea Central podría corresponder a una diatrema (Sillitoe 1993). Siguiendo ejemplos clásicos (McPhie et al. 1993, Corbett y Leach 1998, Davies et al. 2008), los elementos que constituyen esta brecha sugieren un emplazamiento explosivo con incorporación y arrastre de materiales profundos provenientes del substrato metamórfico paleozoico típico de la Formación Río Lácteo (Fig. 10).

Las mineralizaciones de ambos sectores están espacialmente asociadas a estructuras dómicas singenéticas con la erupción de efusivas, ignimbríticas y silicoclastitas jurásicas. El sector austral del área de El Bagual contiene anomalías significativas de los metales con interés económico (y particularmente de Hg sobre lineamientos submeridianales) que dejan abierta la continuación de la exploración en esa zona. Los criptodomas localizados al norte del Cerro Cuadrado no fueron analizados durante las actividades exploratorias programadas, pero pueden tener potencial en función de sus semejantes características morfoestructurales.

La ejecución de programas de perforaciones a diamantina (durante 2007 y parte de 2008) con recuperación de testigos

estratégicamente distribuidos sobre los sectores con los valores metálicos más importantes, confirmó y proporcionó información espacial sobre la continuidad, en profundidad, de los diferentes tipos de mineralizaciones reconocidas en los afloramientos.

La información presentada en este trabajo sobre las manifestaciones metálicas de El Bagual y Cerro Cuadrado, que permanecían luego de más de quince años de su obtención fuera del alcance de la comunidad geológica, permitieron localizar nuevos objetivos exploratorios que se agregan al conocido inventario de depósitos y manifestaciones polimetálicas asociado al volcanismo jurásico de la provincia de Santa Cruz.

AGRADECIMIENTOS

Se deja constancia de nuestro agradecimiento a DEPRO-MINSA por las facilidades logísticas oportunamente facilitadas para realizar este trabajo. Los colegas y técnicos de dicha empresa contribuyeron oportunamente con fructíferos aportes e intercambios de opiniones y colaboraron con la generación de muchos de los relevamientos, muestreos, análisis y figuras que aquí se incluyen. El tratamiento editorial y los arbitrajes, particularmente el del Dr. Jorge Coniglio, contribuyeron con valiosas aclaraciones y sugerencias que mejoraron la comprensión del trabajo.

REFERENCIAS

Barberón, V., Sue, C., Ghiglione, M., Ronda, G. y Aragón, E. 2018. Late Cenozoic brittle deformation in the Southern Patagonian Andes: Record of plate coupling/decoupling during variable subduction? *Terra Nova* 30 (4): 296-309.

Bedell, R., Crósta, A. y Crunsky, E. 2009. Remote sensing and spectral geology. *Reviews in Economic Geology* 16: 100-120.

Bell, C.M. y Suárez, M. 2000. The Río Lácteo Formation of Southern Chile. Late Paleozoic orogeny in the Andes of southernmost South America. *Journal of South American Earth Sciences* 13: 133-145.

Bendle, J.M., Thorndycraft, V.R. y Palmer, A.P. 2017. The glacial geomorphology of the Lago Buenos Aires and Lago Pueyrredón ice lobes of central Patagonia. *Journal of Maps* 13 (2): 654-673.

Blatt, H. y Tracy, R.J. 1996. *Petrology. Igneous, Sedimentary, and Metamorphic*. W.H. Freeman & Co, 529 p., Nueva York.

Breitkreuz, C., 2013. Spherulites and lithophysae - 200 years of investigation on high-temperature crystallization domains in silica-rich volcanic rocks. *Bulletin Volcanology* 75: 705. <https://doi.org/10.1007/s00445-013-0705-6>

Busteros, A. y Lapido, O. 1983. Rocas básicas en la vertiente noroccidental de la meseta del Lago Buenos Aires, provincia de Santa Cruz.

Revista de la Asociación Geológica Argentina 38: 427-436.

Cobbold, P.R., Rossello, E.A., Roperch, P., Arriagada, C., Gómez, L.A. y Lima, C. 2007. Distribution, timing, and causes of Andean deformation across South America. En: Ries, A.C., Butler, R.W.H. y Graham, R.H. (eds.), *Deformation of the continental crust: The legacy of Mike Coward*. Geological Society of London Special Publications 272: 321-343.

Corbett, G.J. 2004. Epithermal and porphyry gold. Geological models in Pacrim Congress. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy 15-23, Adelaide.

Corbett, G.J. y Leach, T.M. 1998. Southwest Pacific rim copper-gold systems: Structure, alteration, and mineralization. *Economic Geology, Special Publication 6*, 236 p., Littleton.

Crósta, A. y Souza Filho, C.R. 2009. Mineral exploration with Landsat Thematic Mapper (TM)/Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+): A review of the foundations, characteristics, data processing, and case studies. *Reviews in Economic Geology* 16: 59-82.

Cunningham, W.D. y Mann, P. (eds.) 2007. Tectonics of strike-slip restraining and releasing bends. Geological Society, Special Publications 290: 1-12, Londres.

Davies, A.G.S., Cooke, D.C., Gemell, J.B. y Simpson, K.A. 2008. Diatreme breccias at the Kelian gold mine, Kalimantan, Indonesia: Precursors to epithermal gold mineralization: *Economic Geology* 103: 689-716.

Echavarría, L.E., Schalamuk, I.B. y Etcheverry, R.O. 2005. Geologic and tectonic setting of the Deseado Massif epithermal deposits, Argentina, based on El Dorado-Montserrat. *Journal South American Earth Sciences* 19: 415-432.

Eichelberger, C.J. y Koch, F.G. 1979. Lithic fragments in the Bandelier Tuff, Jemez Mountains, New Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 5 (1-2): 115-134.

Féraud, G., Alric, B., Fornari, M., Bertrand, H. y Haller, M. 1999. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Jurassic volcanic province of Patagonia: migrating magmatism related to Gondwana break-up and subduction. *Earth and Planetary Science Letter* 172: 83-96.

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 (4): 665-681.

Folguera, A., Gianni, G., Encinas, A., Alvarez, O., Orts, D., Echaurren, A., Litvak, V.D., Navarrete, C., Sellés, D., Tobal, J., Ramos, M., Fennell, L., Giménez, M., Martínez, P., Ruiz, F. y Iannelli, S. 2018. Neogene Growth of the Patagonian Andes. *The Evolution of the Chilean-Argentinean Andes*. Springer Earth System Sciences, Springer

Freundt, A., Wilson, C.F.N. y Carey, S.N. 2000. Ignimbrites and block-and-ash flow deposits. En: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H. y Stix, J. (eds.). *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, 581-599, Londres.

- García, H.H. 1981. Formas de depósitos minerales. Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología. Serie Didáctica 4: 45 pp.
- Giacosa, R. y Franchi, M. 2001. Hojas geológicas 4772-III y 4772-IV, Lago Belgrano y Lago Posadas. Provincia de Santa Cruz. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 256: 68p., Buenos Aires.
- Giacosa, R., Zubia, M., Sánchez, M. y Allard, J. 2010. Meso-Cenozoic tectonics of the southern Patagonian foreland: structural evolution and implications for Au–Ag veins in the eastern Deseado region (Santa Cruz, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 30: 134-150.
- Guido, D.M., Jovic, S.M. y Schalamuk, I.B. 2005. A new metallogenical association (Sn-Cd-In-Zn-Ag-Au) in the Deseado auroargentíferous province, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*. Springer, 5p., Berlin.
- Guido, D.M. y Del Blanco, M. 2007. Informe del estudio de cortes petrográficos y secciones pulidas en testigos de perforación de la empresa DEPROMINSA S.A. Instituto de Recursos Minerales UNLP. DEPROMINSA (inédito), 15p., Buenos Aires.
- Guido, D.M. y Campbell, A.K. 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.
- Guilbert, J.M. y Park Jr., C.F. 1986. The geology of ore deposits. Freeman, 302p., Nueva York.
- Hedenquist, J., Arribas, A. y González-Urien, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology* 13: 245-278.
- Herrmann, W., Blake, M., Doyle, M., Huston, D., Kamprad, J., Merry, N. y Pontual, S. 2001. Wavelength infrared (SWIR) spectral analysis of hydrothermal alteration zones associated with base metal sulphide deposits at Rosebery and Western Tharsis, Tasmania, and Highway-Reward, Queensland. *Economic Geology* 96: 939-955.
- Jovic, S.M., Guido, D.M., Schalamuk, I.B., Melgarejo, J.C. y Proenza, J. 2005. Mineralogía de veta Ivonne, Depósito Cerro León: ¿Paragénesis de alta temperatura en la provincia auroargentífera del Deseado? 16° Congreso Geológico Argentino Actas 257-262, La Plata.
- Kay, S.M., Ramos, V.A., Mpodozis, C. y Sruoga, P. 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwana margin: analogy to the Middle Proterozoic in North America? *Geology* 17: 325-328.
- Keller, G.V. y Frischknecht, F.C. 1966. Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press, 317 p., Nueva York.
- Kruse, F.A. 1996. Identification and mapping of minerals in drill core using hyperspectral image analysis of infrared reflectance spectra. *International Journal of Remote Sensing* 17: 1623-1632.
- Lagabrielle, Y., Suárez, M., Rossello, E.A., Hérail, G., Martinod, J., Régner, M. y de la Cruz, R. 2004. Neogene to Quaternary tectonic evolution of the Patagonian Andes at the latitude of the Chile Triple Junction. *Tectonophysics* 385: 211-241.
- Lagabrielle, Y., Suárez, M., Malavieille, J., Morata, D., Espinoza, F., Maury, R.C., Scalabrino, B., Barbero, L., de la Cruz, R., Rossello, E.A. y Bellon, H. 2007. Pliocene extensional tectonics in the Eastern Central Patagonian Cordillera: geochronological constraints and new field evidence. *Terra Nova* 19 (6): 413-424.
- Lipman, P. 1976. Caldera-collapse breccias in the western San Juan Mountains, Colorado. *Geological Society of America, Bulletin* 87 (10): 1397-1410.
- Lynne, B.Y., Campbell, K.A., James, B.J., Browne, P.R.L. y Moore, L. 2007. Tracking crystallinity in siliceous hot spring deposits. *American Journal of Science* 307: 612-641.
- Llambías, E.J. 2001. Geología de los cuerpos ígneos. INSUGEO, Serie Correlación Geológica 15: 232 p.
- McPhie, J., Doyle, M. y Allen, R.L. 1993. Volcanic textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, University of Tasmania, 196 p., Hobart.
- 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, Salta.
- Moreira, P., Permuy-Vidal, C. y Fernández, R.R. 2017. Brecha de erupción hidrotermal en el depósito epidermal de Au-Ag La Josefina, Macizo del Deseado. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 74 (3): 384 -394.
- No a la mina 2008. <https://noalamina.org/argentina/santa-cruz/item/1189-deprominsa-propone-la-comunidad-dispone>. Consulta 1 abril 2020.
- OPI Santa Cruz 2008. Lago Posadas se revela contra la mina. <https://opisantacruz.com.ar/2008/08/28/lago-posadas-se-revela-contra-la-mina>. Consulta 1 abril 2020.
- Pankhurst, R.J., Leat, P.T., Sruoga, P., Rapela, C.W., Márquez, M., Storey, B.C. y Riley, T.R. 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: a silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 81: 113-136.
- Pankhurst, R.J., Riley, T.R., Fanning, C.M. y Kelley, S.P. 2000. Episodic silicic volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: chronology of magmatism associated with the break-up of Gondwana. *Journal of Petrology* 41: 605-625.
- Panza, J.L. y Haller, M.J. 2002. El volcanismo jurásico. En: Haller, M.J. (ed.), *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*. 15° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 89-101, Buenos Aires.
- Peters, W.C. 1978. Exploration and mining geology. Department of Mining and Geological Engineering. The University of Arizona, John Wiley & Sons, 363 p., Tucson.
- Quane, S.L. y Russell, J.K. 2005. Ranking welding intensity in pyroclastic deposits. *Bulletin of Volcanology* 67: 129-143.
- Qantec 2018. Geophysical report of the Cerro Cuadrado and El Bagual deposits, Santa Cruz Province, Argentina. DEPROMINSA, 65 p. (inédito), Buenos Aires.
- Rabassa, J., Coronato, A. y Martínez, O. 2011. Late Cenozoic glaciations

- in Patagonia and Tierra del Fuego: an updated review. *Biological Journal of the Linnean Society* 103 (2): 316-335.
- Ramos, M.E., Suárez, R., Boixart, G., Ghiglione, M. y Ramos, V.A. 2019. The structure of the northern Austral Basin: Tectonic inversion of mesozoic normal faults. *Journal of South American Earth Sciences* 94: 102197.
- Riccardi, A. y Rolleri, E. 1980. Cordillera Patagónica Austral. En: Turner, J.C.M. (ed.), Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias 2: 1173-1306, Córdoba.
- Rideout, M. y Langer, K. 2004. QGA-149-Gradient, pole-dipole induced polarization and ground magnetic surveys at the El Bagual project, Santa Cruz province, Argentina. DEPRONINSA, (inédito) 25p., Buenos Aires.
- Riley, T.R., Leat, P.T., Pankhurst, R.J. y Harris, C. 2001. Origins of large volume rhyolitic volcanism in Antarctic Peninsula and Patagonia by crustal melting. *Journal of Petrology* 42 (6): 1043-1065.
- Rossello, E.A. 2001. Sistemas tectónicos transcurrentes: una síntesis de sus condiciones mecánicas y aplicaciones geoeconómicas. En: Cortés, J.M., Rossello, E.A. y Dalla Salda, L. (eds.), Avances en Microtectónica. Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial 5: 19-43, Buenos Aires.
- Rossello, E.A. 2008. Evaluación geológica y estructural Proyecto Cerro Cuadrado (Santa Cruz, Argentina), a partir de observaciones de campo. DEPRONINSA (inédito), 20p., Buenos Aires.
- Rossello, E.A. 2009. Localización de espacios dilatantes en fallamientos: controles de la mineralización y pronósticos económicos. 9º Congreso Argentino de Geología Económica, Actas: 229-234, San Fernando del Valle de Catamarca.
- Salani, F.M. y Chernicoff, C.J. 2017. Calderas jurásicas asociadas a las volcanitas de la Formación Chon Aike en las inmediaciones del Puesto Salado, sector oriental de la provincia de Santa Cruz, Argentina. EOACTA, Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas 42 (1): 63-72.
- Schalamuk, I.B., de Barrio, R.E., Zubia, M., Genini, A. y Valvano, J. 2002. Mineralizaciones auro-argentíferas del Macizo del Deseado y su encuadre metalogénico. En: Haller, M.J. (ed.), Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. 15º Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 679-713, El Calafate.
- Seedorff, E., Dilles, J.H., Proffett Jr., J.M., Einaudi, M.T., Zurcher, L., Stavast, W.J.A., Johnson, D.A. y Barton, M.D. 2005. Porphyry Deposits: Characteristics and origin of hypogene features. En: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., Richards, J.P. (eds.), One Hundredth Anniversary Volume. Society of Economic Geologists 251-298, Littleton.
- Sillitoe, R.H. 1993. Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features. En: Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. y Duke, J.M. (eds.), Mineral deposit modeling. Geological Society of Canada, Special Paper 40: 403-417.
- Sparks, R.S.J., Stasuik, M.V., Gardeweg, M. y Swanson, D.A. 1993. Welded breccias in andesite lavas. *Journal of Geological Society* 153: 897-902.
- Sruoga, P., Japas, M.S., Salani, F.M. y Kleinman, L. 2014. La Peligrosa caldera (47° 15'S, 71° 40'W): a key event during the Jurassic ignimbrite flare-up in Southern Patagonia, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 269: 44-56.
- Súnico, C.A. 2002. La Minería. En: Haller, M.J. (ed.), Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. 15º Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 665-677, El Calafate.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. y Sheriff, R.E. 1990. Induced polarization. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press (2ª ed.): 578-609 p., Londres.
- Van Blaricom, R. 1986. Electrical, Practical geophysics for the exploration geologists. Northwest Mining Association 39-135, Spokane Valley (WA).
- Whitney, D.L. y Evans, B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95: 185-187.