

Controles estructurales 4D del depósito polimetálico Chinchillas (Jujuy, Argentina)

Eduardo A. ROSSELLO¹, Hugo CARANZA² y Paolo BANCHIG²

¹CONICET-Universidad de Buenos Aires, FCEN, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

²Golden Arrow Resources, Mendoza.

Email: ea_rossello@yahoo.com.ar

Editor: Fernando Hongn

RESUMEN

Se describen los controles estructurales multiescalares 4D de la mineralización polimetálica (Ag-Pb-Zn) de Chinchillas a partir del contexto tectónico regional, información geofísica, relevamientos de mediciones microtectónicas del fracturamiento y venillas en las unidades metasedimentarias silicoclásticas del basamento ordovícico de la Formación Acoyte y de los intrusivos y piroclásticas neógenos dacíticos asociados. Se reconoce una secuencia en la distribución tempororo-espacial de la mineralización, vinculada con distintas fases de deformación del emplazamiento de los cuerpos ígneos. El depósito está caracterizado por la intrusión de tipo diatrema cuya planta es aproximadamente elíptica de unos 1,1 km² que se adelgaza hacia los 250 m de profundidad. Las mineralizaciones se emplazan en microfracturas (ONO-ESE) y brechas tardías dilatantes tanto internos (*stockworks*) como en su encajante metasedimentario y diseminada en mantos dentro de sedimentitas y rocas piroclásticas a partir de conductos alimentadores subverticales.

Palabras clave: Control estructural, mineralización polimetálica, Chinchillas, Jujuy, Argentina.

ABSTRACT

4D structural controls on the polymetallic Chinchillas deposit (Jujuy, Argentina).

The 4D multi-scale structural controls of the mineralization (Ag-Pb-Zn) of Chinchillas deposit are described based on regional tectonic context, geophysical information and measurements of fractures and veinlets. It is emplaced in the silicoclastic metasedimentary units of the Ordovician basement of the Acoyte Formation and the associated Neogene dacitic eruptives and pyroclastics. The spatial temporal distribution of the mineralization is recognized as a sequence of different deformation phases related with the eruptive bodies. The deposit is a diatrema-type whose plant-view is approximately elliptical about 1.1 km² that is thinned towards 250 m depth. The mineralization forms disseminated mantles, subvertical feeder conduits located in dilatant microfractures (WNW-ESE) and late breccias on both internal eruptive bodies (stockworks) and in their metasedimentary host rocks.

Keywords: Structural controls, polymetallic mineralization, Chinchillas, Jujuy, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales aspectos definitorios de las características geoeconómicas de los depósitos minerales es el control estructural que exhiben, ya que estos influyen substancialmente en la distribución espacial y la morfología de los importantes volúmenes mineralizados de modo

que contribuyen con el diseño más eficiente de sus labores de extracción. Las reservas y recursos medidos del depósito Chinchillas con contenidos económicos de plata, plomo y zinc garantizan su desarrollo como un yacimiento con sustentabilidad económica y ambiental (Marshall y Mustard 2012, Davies y Howie 2013). Por ello, se efectuaron análisis de los

controles estructurales multiescalares 4D de la mineralización a partir del contexto tectónico regional, información geofísica, relevamiento espacial de mediciones microtectónicas del fracturamiento y venillas tanto en las unidades metasedimentarias del basamento ordovícico como de los intrusivos asociados con los procesos mineralizantes.

El Complejo dómico Chinchillas es una pequeña estructura volcánica que se emplaza en la sierra de Rinconada, a escasos metros del paraje homónimo ubicado sobre la ladera oriental del cerro Fundiciones (22° 30' 17" S y 66° 15' 24" O), en la Puna de la provincia de Jujuy. Se accede desde San Salvador de Jujuy a través de la Ruta Nacional N° 9, hasta llegar al pueblo Abra Pampa. Desde allí, mediante la Ruta Provincial N° 7 que dirige hacia Rinconada, se atraviesa la sierra de Cochinocha y se bordea a la laguna de Pozuelos por el Sur hasta llegar a la intersección con la Ruta Provincial N° 70. Por dicha ruta, con rumbo hacia el suroeste, se llega hasta la comunidad de Santo Domingo y posteriormente al área del proyecto, ubicada en el Abra de Fundiciones a 8 km del paraje antes mencionado (Fig. 1).



Figura 1. Localización y principales accesos del depósito Chinchillas en la Puna de la provincia de Jujuy.

MARCO GEOLÓGICO

El magmatismo del área de Chinchillas está integrado principalmente por rocas volcánicas resultantes de eventos explosivos y, en forma arealmente menos importante, por facies extrusivas más tranquilas hacia el final de su historia volcanológica (Coira *et al.* 1993, Coira 1999). En el Oligoceno-Mioceno inferior comienza en la Puna el volcanismo cenozoico y continúa hasta la actualidad, con mayor intensidad durante el Mioceno superior-Plioceno, cubriendo gran parte de su superficie total (Fig. 2). Así, resulta ser responsable de muchas de las características geológicas pasadas y geomorfológicas actuales de la

región al generar la morfología de su relieve en breves lapsos de tiempo y el aporte de grandes cantidades de detritos a las cuencas internas de la Puna e incluso del antepaís andino (Coira *et al.* 1982, Petrinovic *et al.* 2017, Milana y Kröhling 2017). Las unidades eruptivas presentes se emplazan en las metasedimentitas silicoclásticas de origen marino de la Formación Acoyte asignada al Ordovícico (Turner y Méndez 1979), en la comarca de estudio se presenta plegada en varios órdenes de magnitud aunque mantiene una disposición general submeridional de los ejes de plegamientos y con un desarrollo clivaje asociado a metamorfismos de bajo grado. La relación del volcanismo cenozoico de la Puna con la metalogénesis ha sido considerada por varios autores que involucran diferentes relaciones temporales entre el evento volcánico y el emplazamiento de minerales de interés económico (e.g. Alonso y Viramonte 1987, Coira 1999, Kay *et al.* 1999, Richards *et al.* 2013, Caffè y Coira 2008, Petrinovic *et al.* 2017). Al respecto, se sintetizan varios tipos de facies volcánicas piroclásticas y lávicas que registran la alteración sobreimpuesta a un sistema geotermal asociado con los even-

tos mineralizantes característicos de la Puna: a) Ignimbritas basales, b) Ignimbritas y tobas cuspidales, c) Depósitos de flujos de bloques y cenizas, y d) Lavas dómicas dacíticas. Por otro lado, se describen dos tipos de alteraciones hidrotermales asociadas a brechamiento hidráulico: a) Silicificación asociada a feldespatización sin brechamiento vinculada con las lavas y piroclastos o con menor feldespatización vinculada al brechamiento y b) Sericitización, argilitización y carbonatos superpuestos a la silicificación-feldespatización. Chernicoff *et al.* (1996), se refieren a las respuestas geofísicas que expresan estructuras de este tipo, y elaboran interpretaciones acerca de las anomalías aeromagnéticas asociadas a Chinchillas detectadas en su relevamiento. El cuerpo intrusivo Chinchillas tiene una edad de 13 ± 1 Ma (Linares y González 1990) y está integrado por unidades piroclásticas de composición dacítica. Estas rocas eruptivas describen un afloramiento remanente groseramente semilunar desarrollado sobre su flanco sudoriental. El área involucrada es de 1,57 km², aproximadamente coincidente con una depresión alrededor de la cual se elevan las rocas metasedi-

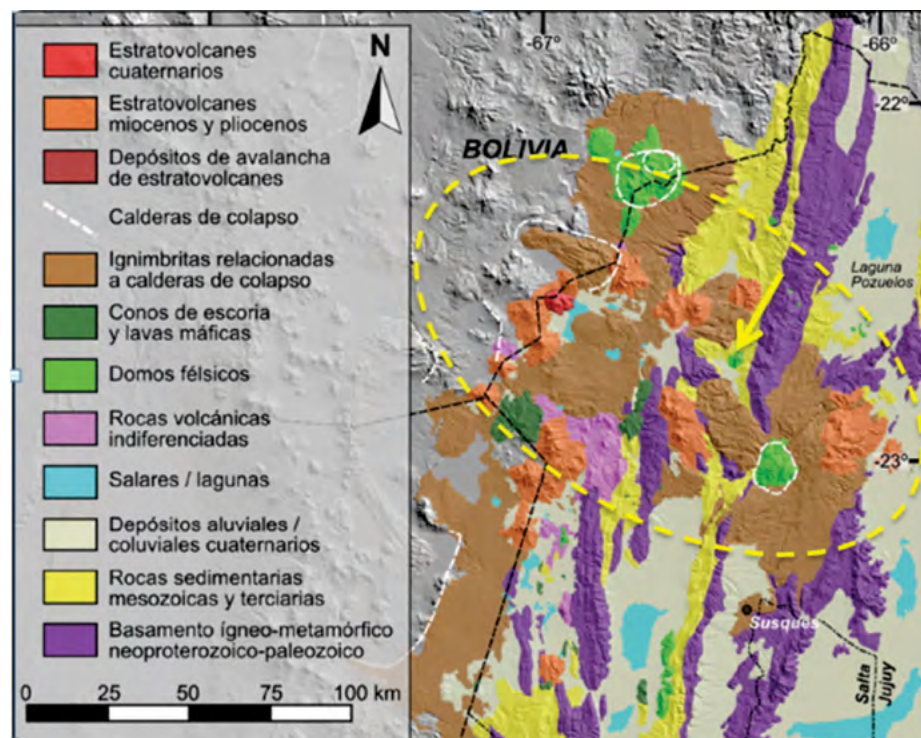


Figura 2. Mapa geológico simplificado de los sectores norte y central de la Puna argentina con énfasis en la ubicación de estratovolcanes, calderas y volcánismo monogenético. La flecha amarilla indica la ubicación de Chinchillas (tomado de Petrinovic *et al.* 2017, a partir de Grosse *et al.* 2017 y Schnurr *et al.* 2006).

mentarias ordovícicas de la sierra de Rinconada (Fig. 3).

MINERALIZACIÓN

Los depósitos polimetálicos de Chinchillas fueron objeto de exploraciones y explotaciones menores por Pb, Ag y Zn, llevadas a cabo desde tiempos pre-Jesuiticos. De la Iglesia (1958), de los Hoyos (1962, 1993), Valvano y Galeota (1978), Chomnales (1975, 1978), Coira (1978) y Ávila *et al.* (1986), entre otros, detallaron sus principales aspectos geológicos y mineralógicos. De manera más general, se cita a Chinchillas en trabajos metalogenéticos regionales, como los de Sgross (1943), Ahlfeld (1948), Coira (1983), Sureda *et al.* (1986), Alonso y Viramonte (1987) y Zappettini (1990). Por su parte, Coira *et al.* (1993), Caffè (1999) y Caffè y Coira (1999) establecieron modelos integrales, apoyados en aspectos geológicos, volcanológicos e hidrotermal-metalogenéticos que pueden asociarse con la faja boliviana de pórfidos de Sn y Ag (Grant *et al.* 1979, 1980).

Coira *et al.* (1993), Coira y Brodtkorb (1995) y Caffè (1999) describen las características de la mineralogía de mena que incluye pirita, calcopirita, blenda (miel u oscura), oro, galena, pirargirita, proustita, freibergita, argentita, polibasita, jamesonita, antimonita y arsenopirita, asociados a un pulso de silicificación y menor feldespaticización. Consideran la presencia de brechamiento y relleno mineral posterior, como cualidades típicas en los sistemas epitermales tipo adularia - sericita (Heald *et al.* 1987), resultado de la circulación de fluidos neutros o de pH altos similares a los ambientes geotermales actuales (Giggenbach 1992, White y Hedenquist 1995, Sillitoe y Hedenquist 2003, Pirajno 2009). La mineralización polimetálica en Chinchillas está estrechamente ligada al evento de silicificación, particularmente, cuando los fluidos comenzaron a exhibir menor actividad de álcalis y mayor concentración de Si₂O, a la vez que entraban en ebullición. Esto se deduce en ese estadio a partir de la común asociación entre el cuarzo, la mineralización y la fracturación hidráulica con escasa depositación de adularia (Coira *et al.* 1993, Caffè 1999). La fel-

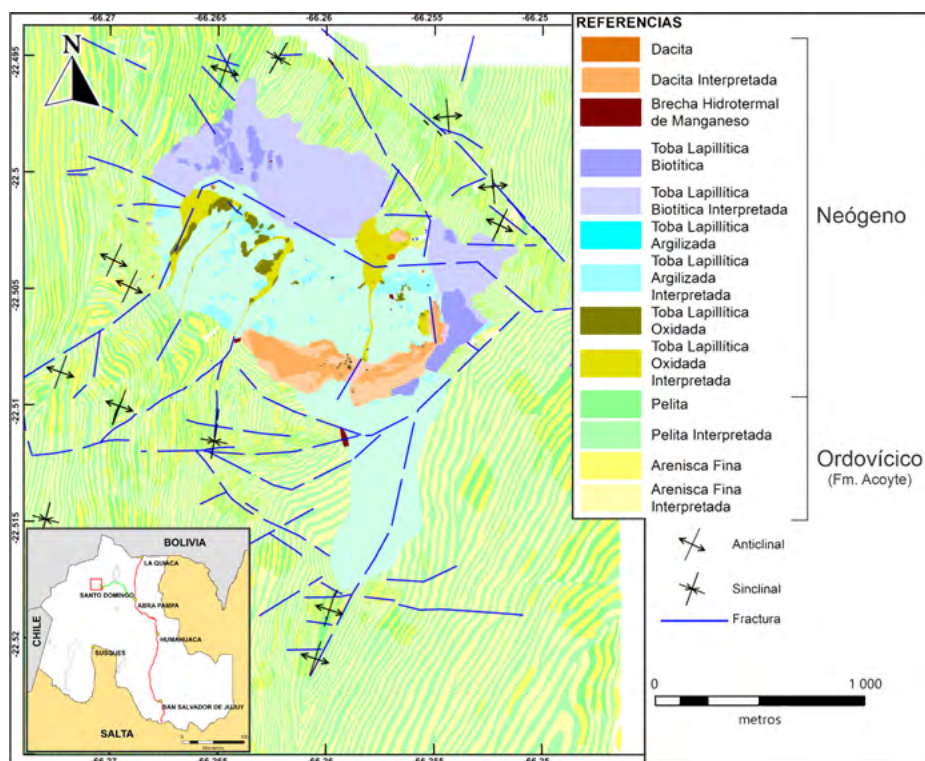


Figura 3. Mapa geológico del depósito Chinchillas donde se indican los afloramientos de las unidades eruptivas neógenas y las metasedimentitas ordovícicas.

despatización principal, acompañada por cierta proporción de cuarzo, fue previa a la precipitación de la mena. En efecto, los clastos dacíticos brechados muestran reemplazo de plagioclasas por adularia, pero las venillas de cuarzo y mena que cortan o rellenan dichos clastos son pobres en ese mineral. Lo que más ha condicionado el emplazamiento de la mineralización fueron los espacios abiertos en el contacto diatrema-basamento que permitió el ascenso de soluciones particularmente por los niveles piroclásticos-ignimbríticos y fracturas asociadas relativamente más permeables. En el caso del basamento, las soluciones fluyeron por los espacios abiertos y/o dilatantes producidos por el brechamiento. Según Coira *et al.* (1993) y Caffè (1999), la estructuración previa (fracturas anulares, fallamiento tectónico E-O y N-S) facilitó el ingreso de aguas meteóricas que circularon en profundidad, incluso mezclados con fluidos magmáticos. Si bien los sistemas de baja sulfuración (Giggenbach 1992) indican predominio de circulación de aguas superficiales, nuevas tendencias indican una mayor participación de fluidos magmáticos que la aceptada normalmente para estos sis-

temas (Matsuhisa y Aoki 1994, Gibson *et al.* 1995, Hildreth y Hannah 1996, Sillitoe y Hedenquist 2003, Simmons *et al.* 2005). La presencia de brechamiento hidrotermal es particularmente notable en las zonas de fracturación de borde (colapso) del intrusivo y sobre fallas tectónicas. Estas estructuras, por haber sido aún activas, permitieron una respuesta extensional del esfuerzo de la roca y la liberación de presión litostática sobre los fluidos hidrotermales portadores de la mineralización de sulfuros. Este es el mecanismo principal que favorece la entrada en ebullición de sistemas hidrológicos como el estudiado por Nelson y Giles (1985) y Sillitoe (1985). Es llamativo que las partes altas de los mismos, como las zonas de alteración que circundan las lavas, no muestren rasgos macroscópicos distintivos de ebullición aunque obviamente, no se puede aseverar que aquella no ocurrió sin un estudio de inclusiones fluidas (Caffè 1999). Estos autores, describen una sericitización y una menor argilitización que acompañaron los estadios iniciales de la alteración silíceo-feldespática. Sin embargo, gran parte de la sericitización en la brecha hidrotermal como la caolinización de su encajante

pueden ser adjudicados a una segunda etapa.

De este modo, quedan definidas una zona central coincidente con la estructura previamente brechada que registra una alteración fílica, y una zona externa caolínica que bordea a la anterior. En este episodio, la oxidación de los fluidos hidrotermales en superficie (zona vadosa) provocó una relativa acidificación de los mismos en los sectores muy próximos a la brecha (Fig. 4). En consecuencia, estos sectores presentan alteración argílica avanzada local y sulfatación. La diferencia en el tipo de alteración no indica necesariamente diferencias en el pH de los fluidos que circularon dentro y fuera de la brecha en ese momento (Silex Argentina 2008).

Si se considera como patrón de acidez de los fluidos una relación KCl / HCl similar para brecha y encajante, la alteración fílica en la primera y argílica en la segunda, puede explicarse como el resultado de un descenso brusco de temperatura (Meyer y Hemley 1967) de los fluidos circulantes a pocos metros de la brecha. Por último, fenómenos termales póstumos depositaron carbonatos (calcita y siderita) en venillas o diseminados en conjunto con limonitas, en plena transición hacia un sistema dominado por la alteración supergénica que continúa hasta la actualidad.

METODOLOGÍA

El análisis de los controles estructurales multiescalares 4D de la mineralización polimetálica de Chinchillas se realizó a partir del contexto tectónico regional, información geofísica, relevamiento de mediciones microtectónicas del fracturamiento, interpretaciones cartográficas (de mapeos e imágenes satelitales) y relevamientos de venillas mineralizadas en las unidades metasedimentarias del basamento ordovícico y de los intrusivos neógenos.

Por otro lado, se establece una secuencia en la distribución temporo-espacial de la mineralización, vinculada con distintas fases de deformación y con el emplazamiento de los cuerpos eruptivos asociados. De esta manera, se procedió al levantamiento de datos estructurales sobre las rocas metasedimentarias del basamento y de las dacitas del depósito Chinchillas.

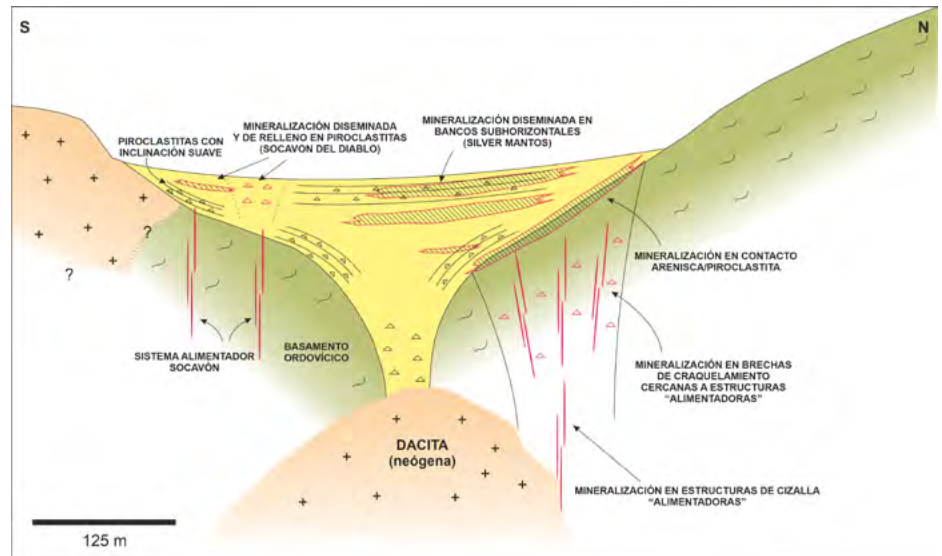


Figura 4. Sección esquemática representativa del modelo mineralizante del depósito Chinchillas.

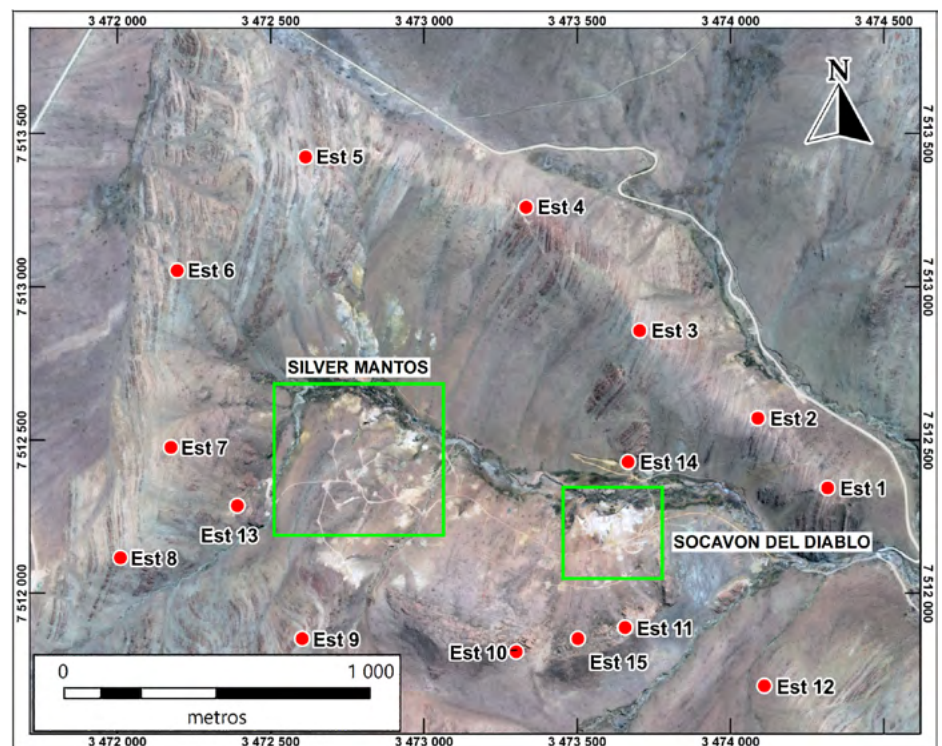


Figura 5. Localización de las estaciones de muestreo estructurales microtectónicas. Los recuadros verdes indican la posición particularmente mineralizados en superficie de los sectores Socavón del Diablo y Silver Mantos.

En total, se crearon 15 estaciones estructurales, dispuestas aproximadamente equidistantes entre sí y rodeándose la totalidad del área de la mineralización (Fig. 5). En cada estación se tomaron entre 5 y 20 datos estructurales 3D dentro de un radio de 30 m del punto medio de la estación. Los datos obtenidos fueron ploteados individualmente y de modo conjunto

en gráficos estereográficos para su mejor visualización y correlación utilizándose el programa Stereonet 10.0 (Cardozo y Allmendinger 2013).

Toda la información e interpretaciones obtenidas fueron volcadas en un modelo digital de elevaciones (Highly Accurate PhotoSat DEM de 1m de resolución) que involucra cotas entre los 4.000 y 4.350 m

s.n.m. y procesadas con el programa MapInfo.

Por otro lado se contó con información proveniente de laboreos superficiales y de los relevamientos geofísicos de resistividad aparente (error 0,5 Vp en voltios) y cargabilidad (error: 0,5 mV/V). El plan de sondeos a diamantina permitió acceder a núcleos de perforación donde se efectuaron análisis mesoscópicos de las características estructurales de las vetillas mineralizadas.

OBSERVACIONES ESTRUCTURALES

A escala local, el basamento está compuesto por metaareniscas y metapelitas ordovícicas de la Formación Acoyte, que presentan un plegamiento multiescalar dispuesto con sus ejes aproximadamente en la dirección NNE-SSO (Turner y Méndez 1979, Mon y Hongn 1987, SEGEMAR 1996, Astini 2008). En el sector SE del depósito ocurren una serie de afloramientos volcánicos de composición dacítica, la porción central está topográficamente deprimida y al igual que sus faldeos circundantes están cubiertos por acarreos y deslizamientos gravitatorios modernos (Fig. 3).

El clivaje de plano axial (s_1) de la Formación Acoyte se expresa cortando preferencialmente a la estratificación y/o laminación (s_0) en niveles más competentes constituidos por metaareniscas ya que los niveles metapelíticos tienden a ofrecer menos resistencia a la rotura reorientando sus minerales planares (Fig. 6a). Al Oeste del depósito, se aprecian *kink bands* (s_2) que afectan al clivaje de plano axial (s_1) dispuestos subverticalmente (Fig. 6b-c). Igualmente, se reconocen claramente estas relaciones en afloramientos del flanco norte. Las condiciones mecánicas para que estas microestructuras se desarrollen son la presencia de una marcada anisotropía planar pre-existente y esfuerzo principal máximo contenido en ella (Dewey 1965) sugieren su formación en condiciones de soterramientos significativos. Se aprecia la refracción de la fuerte inclinación del clivaje que se expresa con inclinaciones variables desarrolladas hacia el oriente sobre niveles metaareniscosos

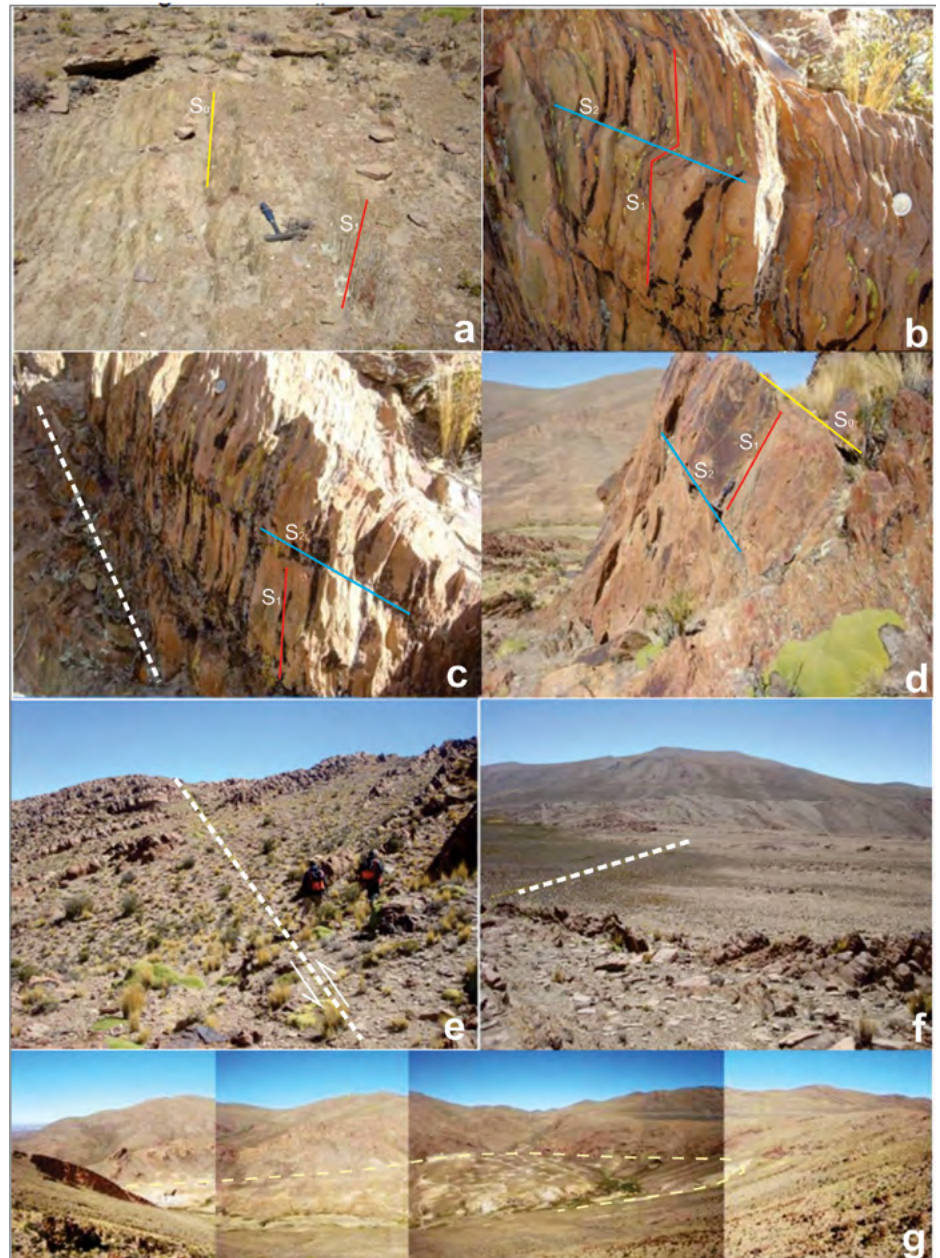


Figura 6. Fotografías de la Formación Acoyte. a) Vista del clivaje de plano axial (s_1) se expresa cortando a la estratificación (s_0); b) Vista de *kink bands* (s_2) que afectan al clivaje de plano axial (s_1) dispuesto subverticalmente; c) Vista de niveles metasedimentarios que presentan clivajes de plano axial (s_1) con rumbos comprendidos preferencialmente entre N10° y N20° que cortan la estratificación original (s_0) plegada y fallada (línea discontinua blanca); d) Refracción de la inclinación del clivaje que se expresa con inclinaciones opuestas desarrolladas sobre niveles metaareniscosos; e) Se aprecia un lineamiento al NO del depósito (línea discontinua blanca) dispuesto con rumbo N 140° correspondiente a un fallamiento senestral; f) Vista tomada al Oeste del depósito, cerca del camino que conduce a Piriquitas, donde se reconoce un lineamiento NE-SO (línea discontinua blanca) determinado por la interrupción de afloramientos de la Formación Acoyte con niveles cuaternarios; g) Vista panorámica hacia el sur del depósito Chinchillas donde se aprecia por debajo de la cota de 4.150 m s.n.m. (línea discontinua gris) afloramientos con anomalías de color por alteración supergénica.

o hacia el occidente sobre niveles metapelíticos (Fig. 6d). A escalas deca- a hectométricas se reconocen lineamientos en el sector septentrional (Fig. 6e) y occidental (Fig. 6f) en el basamento con direcciones ONO-ESE que limitan afloramientos que sugieren movimientos transcurrentes

senestrales a partir del desplazamiento de niveles guías, observables también en las cartografías (e.g. en la Fig. 5, entre las estaciones 3, 4 y 14). Por debajo de una cota subhorizontal consistente (aproximadamente 4.150 m s.n.m.) los afloramientos presentan anomalías de color por

Figura 7. Fotografías de las mineralizaciones. a) Se aprecian vetillas de cuarzo lechoso estériles al SO del depósito asociadas al plegamiento de las meta-sedimentitas de la Formación Acoyte generadas por segregación metamórfica y/o solución por presión; b) Fracturas escalonadas dentro de un corredor que exhibe una componente transcurrente senestral (flechas blancas sugieren posición del esfuerzo principal mayor en el plano); c) Vista de afloramiento dacítico con desarrollo de flujo laminar; d) Detalle del aglomerado volcánico constituido por bloques irregulares dominados por litologías hipabisales y cementados por material de tipo piroclástico; e-f) Vistas de vetas brechosas emplazadas en meta-sedimentitas ordovícicas mineralizadas con óxidos y localizadas en diaclasas dispuestas subverticalmente con rumbos N110-120°; g) Vista de brecha de intraclastos en niveles aflorantes al SE del depósito; h) Detalle de la brecha polimíctica del Socavón del Diablo (localización en figura 5) donde aparecen clastos angulosos de meta-sedimentitas y dacitas con mineralización de sulfuros en espacios con rellenos incompletos.

alteración supergénica que pueden estar asociado con la acción de un nivel freático (Fig. 6g).

Localmente, se reconocen sistemas de vetillas de cuarzo lechoso de hasta un par de centímetros de potencia (Fig. 7a) dispuestas discordantemente en metaareniscas de la Formación Acoyte que se interpretan por su inyección por procesos de segregación mecánico-metamórfica y/o solución por presión, al igual que las portadoras de Au de diferentes depósitos de la región: e.g. Rinconada, Los Azules, El Torno, etc. (Rodríguez *et al.* 2001, Rodríguez 2008). También, se identificaron deformaciones discontinuas tardías en las que a partir del diseño escalonado es posible reconocer desplazamientos sutiles transcurrentes senestrales en los planos de exposición (Fig. 7b). Al sudeste del depósito (Fig. 8), afloran cuerpos dacíticos con relieves más prominentes (Fig. 7c) que presentan una fluidalidad expresada por planos centimétricos de flujo diferencial asociados con aglomerados volcánicos (Fig. 7d).

Se reconocieron dentro de niveles meta-sedimentarios numerosas vetas brechosas con desarrollos métricos dispuestas en direcciones aproximadas N110-120° con mineralizaciones oxidadas (Fig. 7e-f). Otra versión de brechamiento está constituida por dos tipos con abundante mineralización de sulfuros rellenoando espacios incompletos: a) caracterizado por litoclastos polimícticos angulosos de las meta-sedimentitas de la Formación Acoyte donde el diaclasamiento afecta indistintamente a los clastos y la matriz sostén paralela-

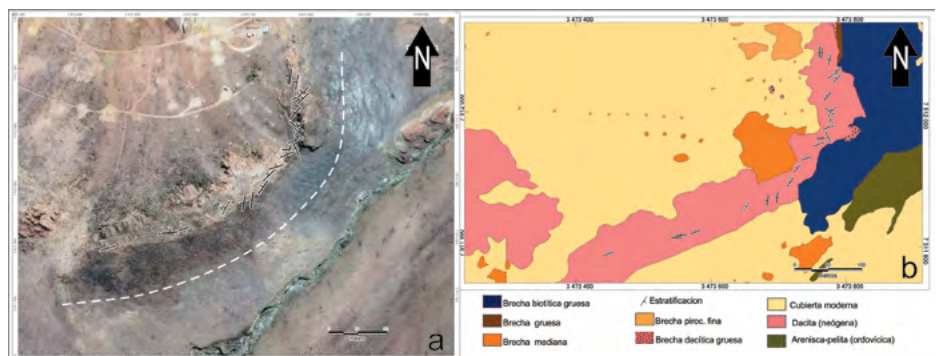


Figura 8. Localización de datos estructurales de la fluidalidad de los afloramientos dacíticos del sector SE del depósito Chinchillas y localización aproximada del fallamiento semilunar que lo limita: a) Imagen satelital con indicación de rumbos y dirección de inclinación; b) Plano geológico.

mente al clivaje del plano axial (Fig. 7g) y b) dentro de sectores de la brecha polimíctica del Socavón del Diablo (véase localización en la figura 5) donde aparecen clastos angulosos de metasedimentitas y dacitas con mineralización de sulfuros en espacios con rellenos incompletos (Fig. 7h).

Los afloramientos de dacitas presentan planos de fluidalidad que tienden a disponerse de modo semilunar con inclinaciones preferenciales hacia el centro de la depresión del depósito Chinchillas (Fig. 8). Otras estructuras asociadas al intrusivo son fracturas semicirculares, una de las cuales bordea los afloramientos de rocas piroclásticas hacia el SE del complejo eruptivo. Coira *et al.* (1993) asocian a estos afloramientos a un colapso reducido que habría tenido lugar a favor coetáneamente con extrusión. Otra fractura con diseño de anillo incompleto similar a la anterior y parcialmente enmascarada por las eyecciones se interpreta a lo largo de la misma (Fig. 8).

Las principales estructuras primarias y secundarias identificadas en estos relevamiento y descritas de modo progresivo fueron las siguientes (Fig. 9):

- a) Estratificación s_0 : estratificación y laminación primaria inherente a sedimentación de las areniscas y pelitas de la Formación Acoyte.
- b) Ejes de plegamiento: ejes de pliegues antiformales y sinformales dispuestos con direcciones generales submeridianas dentro del basamento metasedimentario en órdenes de magnitud que van desde decamétricos a hectométricos.
- c) Clivaje s_1 : superficie o foliación de tipo de plano axial relacionado con el metamorfismo regional como consecuencia de la reorientación de sus minerales planares.
- d) Kink bands (s_2): generados a partir de la deformación de las anteriores superficies.
- e) Diaclasamiento: fracturas sin desplazamiento aparentes contenidos en el plano y desarrollos mesoscópicos dispuestos tanto en las rocas metasedimentarias como eruptivas a partir de las discontinuidades anteriores.
- f) Vetas de cuarzo - diques subvolcánicos: desarrollados de manera muy local en un par de estaciones, preferencialmente en rocas dominadas por metaareniscas.

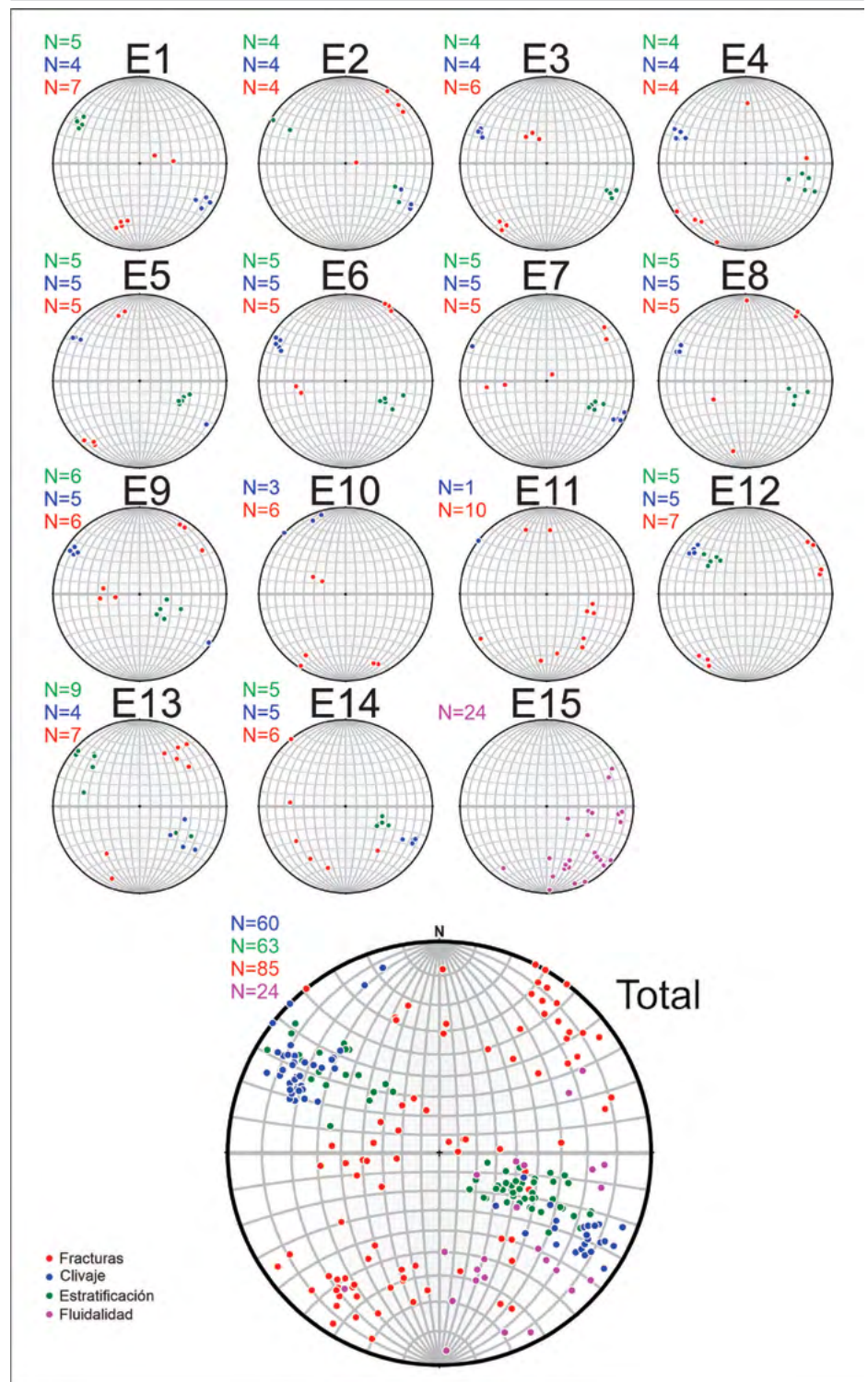


Figura 9. Diagramas de polos (hemisferio inferior) por estación de trabajo y el total donde se representan especialmente los datos estructurales relevados (localización de las estaciones de trabajo en la figura 5). Los polos rojos indican fracturas, los azules el clivaje, los verdes estratificación y los rosados fluidalidad.

g) Fallas: reconocidas a distintas escalas, aunque solo en la estación 4 (Fig. 5) se pudo observar una cinemática senestral a partir del desplazamiento de veta y/o dique subvolcánico y niveles guía metasedimentarios.

Sobre la base del análisis global de estos datos, surgen claramente la disposición espacial por plegamiento de la estratificación y/o anisotropías de las metasedimentitas (s_0) con rumbos comprendidos en el cuadrante NE-SO y la disposición del

fracturamiento con modas principales dispuestas: a) ONO-ESE, b) ENE-OSO y c) En la bisectriz aguda de ambos anteriores se interpreta la localización de un esfuerzo principal máximo horizontal dispuesto con Azimut N110-120° (Fig. 9).

DISCUSIÓN

Rasgos regionales

Desde el punto de vista regional, el cuerpo intrusivo Chinchillas es un pequeño cuerpo dómico integrante de un cinturón constituido por eventos magmáticos multipisódicos (Ort 1993) controlado por un lineamiento tectónico identificado como Fundiciones o Agua Caliente que atraviesa sublatitudinalmente desde el límite internacional con Chile hasta la sierra de Rinconada en su totalidad. Petrinovic *et al.* (2017) describen en este una serie de calderas de colapso, estratovolcanes y otras con diferentes petrologías que se emplazaron diacrónicamente en el Neógeno. Este conjunto de manifestaciones eruptivas neógenas tienden a disponerse a través de la Cordillera de los Andes alineadas en corredores (Salfity *et al.* 1984, Salfity 1985, Rossello 2001, Schnurr *et al.* 2007) que de manera radial divergente progresan hacia el oriente de modo perpendicular a la zona de subducción (Fig. 10).

Rasgos topográficos

A partir de la observación de los datos topográficos proporcionados por el modelo digital de elevaciones topográficas (DEM) disponible resulta muy llamativa la morfología de suave depresión semielíptica de los afloramientos eruptivos con su semieje mayor dispuesto en dirección ONO-ESE y la disposición subhorizontal de las áreas con alteraciones y/o anomalías de color (Fig. 11).

Con la finalidad de evaluar los aspectos morfotectónicos del depósito Chinchillas, se realizaron transectas topográficas que permiten reconocer una fuerte correspondencia de cotas de las rocas encajantes constituidas por las metasedimentitas de la Formación Acoyte y el desarrollo de la depresión ocupada por la mineralización que evidencian el desarrollo de superficies de peneplanización actualmente disectadas por un nuevo nivel de base (Fig. 12).

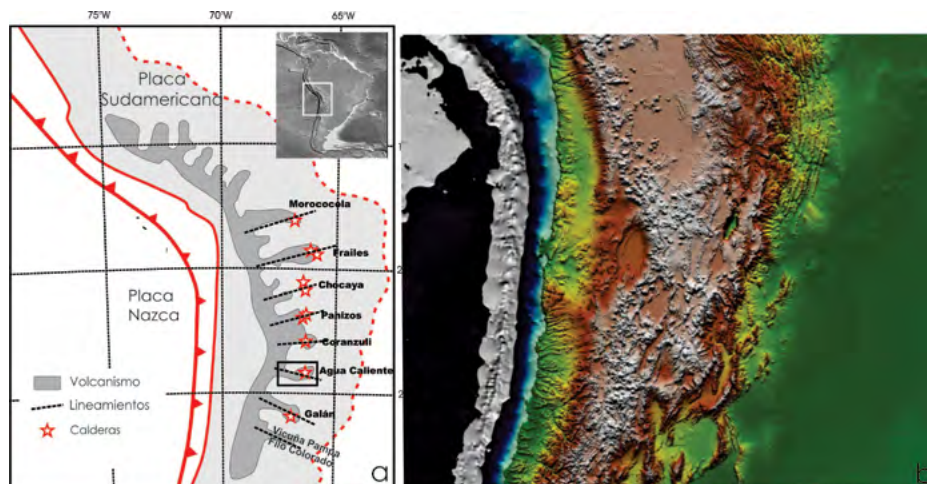


Figura 10. a) Distribución del volcanismo neógeno sobre la Cordillera de los Andes en la porción austral del Codo de Arica (tomada de Rossello 2001) donde se indican los principales ejes perpendiculares (líneas discontinuas) a la subducción (líneas continuas con triángulos rojos) que concentran la evolución del volcanismo; b) localización de Chinchillas (estrella amarilla) dentro una topografía digital donde se resalta el lineamiento Fundiciones-Agua Caliente (recuadro amarillo).

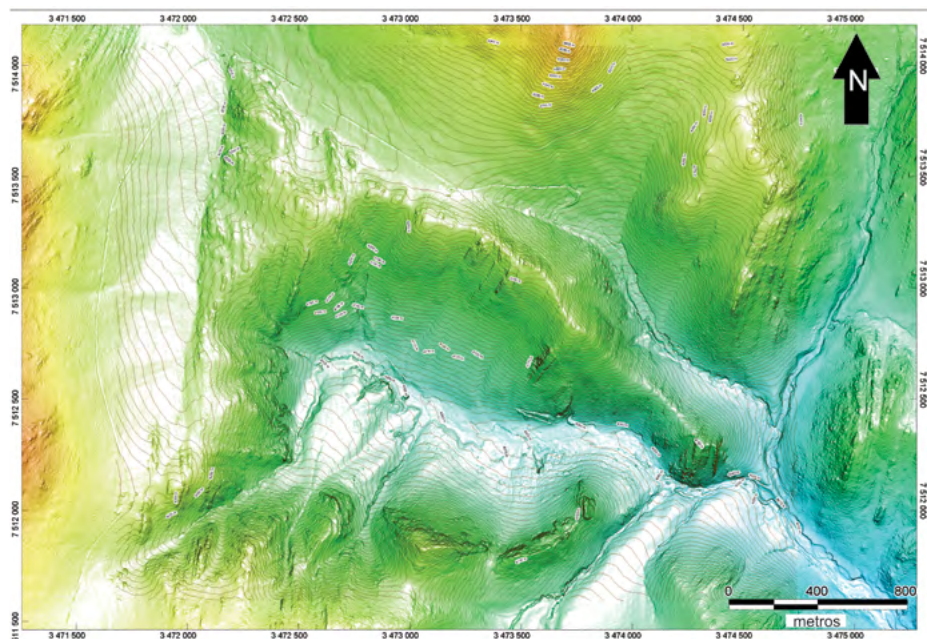


Figura 11. Modelo digital topográfico del depósito Chinchillas con equidistancias de 5 m (resolución 1 m).

Rasgos estructurales a partir de testigos corona de perforaciones a diamantina

A partir de un análisis bidimensional expeditivo de los testigos corona (Ferreya 2013) se pueden reconocer desplazamientos aparentes (exhibido sobre los planos aserrados subparalelos al eje de los cilindros) que expresan rasgos extensionales singenéticos y tardíos a post genéticos con vetillas de mineralizaciones (Fig. 13).

En general, los sistemas de vetillas

mineralizadas se disponen subverticalmente con texturas brechosas y salbandas netas dentro de sus encajantes metasedimentarios pelíticos de la Formación Acoyte. También, es notable el desarrollo de brechamientos con cementos mineralizantes en rellenos incompletos hacia sectores someros donde los procesos de alteración supergénica silícicos son muy evidentes.

Apoiado por los laboreos superficiales y por el plan de sondeos, los relevamientos geofísicos de resistividad aparente

y cargabilidad (Silex Argentina 2008) permiten establecer un modelo morfo-genético en profundidad. La resistividad es usualmente independiente de la presencia de sulfuros con la excepción de conductividad cuando ocurren acumulaciones de sulfuros masivos (*stockworks*) y/o mineralizaciones supergénicas de cobre. Se efectuaron con lecturas de hasta 300 m de profundidad con el objetivo de detectar y delinear la continuación y morfología de la mineralización de sulfuros relacionados con sistemas epitermales de intermedia a alta sulfuración del depósito Chinchillas. De este modo, las resistividades altas son habitualmente atribuidas a macizos rocosos con baja porosidad (inalteradas, silicificadas, etc.), en cambio, las bajas resistividades son habitualmente atribuidas a litologías porosas, altamente fracturadas, meteorizadas o con alteraciones arcillosas (Telford *et al.* 1990). La cargabilidad IP está relacionada con la presencia, en general, superior a 1 % de sulfuros. Por ello, las anomalías de más de 30mV/V indican la presencia particularmente de material pirítico o de sulfuros de cobre (Keller y Frischknecht 1966, Peters 1978, Wong 1979, Van Blaricom 1986, Reynolds 1997, Quantec 2008). Los relevamientos realizados en la zona mineralizada de Chinchillas proporcionan una distribución de los resultados obtenidos que no parecen estar relacionados con la cargabilidad, ya que los mayores valores detectados corresponden a zonas piritosas singenéticas de las metasedimentitas ordovícicas. Sin embargo, se aprecia un fuerte contraste de resistividad entre las unidades volcánicas dacíticas y el basamento metasedimentario que constituye una herramienta efectiva para determinar una imagen compatible con la forma de diámetro a partir de un claro contraste de resistividad entre ambas litologías (Fig. 14).

MODELO 3D INTERPRETATIVO

A continuación, se realiza una descripción interpretativa de los diferentes eventos que pudieron haber tenido lugar en el

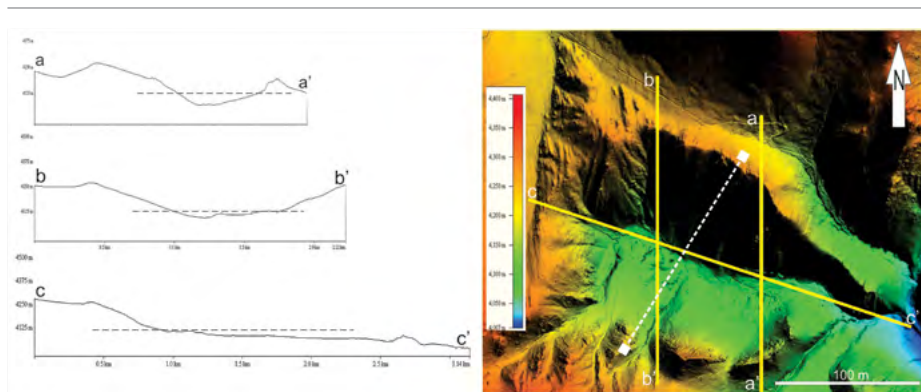


Figura 12. Izquierda: Secciones topográficas características a través del depósito Chinchillas donde se indica la cota de 4150 m s.n.m. que delimita el sector con anomalía de color. Derecha: ubicación de las secciones topográficas. La línea punteada indica la posición de los relevamientos geofísicos de la figura 14.

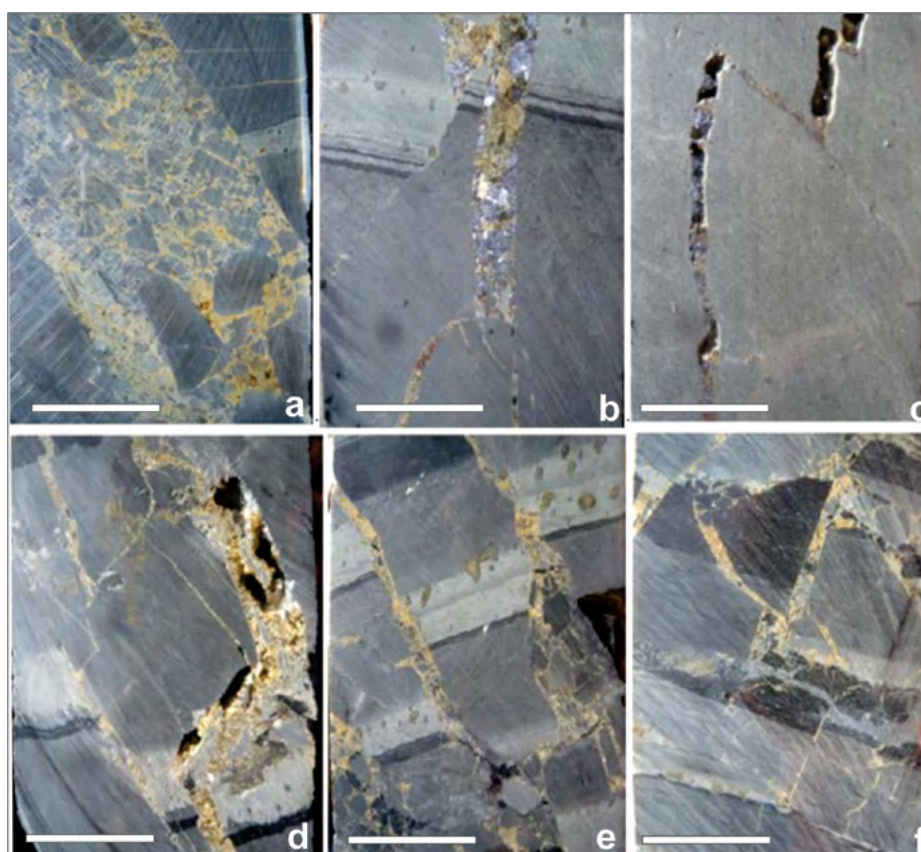


Figura 13. Fotografías de testigos corona aserrados de 4 cm de diámetro obtenidos de perforaciones a diamantina subverticales (la barra blanca indica 2 cm). a) Brecha de falla con planos de fracturas dispuestos a unos 60° de inclinación con clastos monomórficos angulares cementados por una matriz de siderita, cuarzo y escasa galena y esfalerita; b) Vetilla subvertical con galena, esfalerita, siderita y cuarzo rellenando espacios abiertos; c) Vetilla subvertical con cuarzo, siderita, galena y esfalerita rellenando espacios abiertos desplazadas por falla; d) Vetilla microbrechosa con rellenos incompletos de cuarzo, siderita y escasa galena; e) Brecha con fallamientos; f) Brechas y craquelamientos de las metasedimentitas con vetillas de siderita y cuarzo.

control estructural de la mineralización del proyecto Chinchillas (Fig. 15). A partir de la depositación durante el Ordovícico de las secuencias turbidíticas muy potentes de la Formación Acoyte con alternancia de niveles areniscosos y pelíticos (Fig. 15a) se superpone una deformación pa-

leozoica convergente sub latitudinal (Mon y Hongn 1987, Le Corre y Rossello 1994) que genera plegamiento de diversos órdenes de magnitud con ejes dispuestos submeridionalmente que desarrollan un conspicuo clivaje de plano axial (Fig. 15b). Luego, estas secuencias sufren un nuevo

evento deformativo tardío que le produce desarrollos de *kink bands* en niveles preferencialmente metareniscosos (Hongn y Mon 1999) y la depositación de vetillas de cuarzo lechoso por segregación mecánico-metamórfica (Fig. 15c). Sigue a este escenario deformativo paleozoico un largo periodo de estabilidad y erosión dentro del cual se desarrolló, en ambientes circundantes, la sedimentación intracratónica extensional de las secuencias cretácicas siliciclásticas y evaporíticas del Grupo Salta (Turner y Méndez 1979, Marquillas y Salfity 1999) (Fig. 15d).

Durante la fase Quechua de la tectónica Andina (Ramos 2000, Cobbold *et al.* 2007) se produce el magmatismo sub-volcánico y extrusivo dacítico que se dispone a lo largo de un eje que tiende a evolucionar hacia el ESE (Fig. 15e). Este magmatismo comienza a enfriarse produciéndose una contracción volumétrica (Rossello 2007, 2009) que facilita la movilidad de los fluidos hidrotermales que tienden a migrar y localizarse sobre sus cúpulas asociadas con un ambiente extensional (Fig. 15f). La pérdida de sobrecarga favorecida por la erosión concomitante facilita el colapso y expulsión violenta de materiales compatibles con explosiones freatomagmáticas que involucran tanto a los elementos magmáticos juveniles como a sus encajantes metasedimentarios (Meyer y Hemley 1967, Ort 1993) que se asocian con pulsos póstumos de mineralización (Fig. 15g).

Finalmente, a partir del reconocimiento en imágenes satelitales y comprobación de campo se pudieron identificar lineamientos que corresponden a fallamientos que afectan las secuencias de la Formación Acoyte provocándoles desplazamientos transcurrentes. Estas deformaciones, durante tiempos modernos y contemporáneos con una actividad supergénica contribuyen con la redistribución y re-concentración de la mineralización en los niveles más someros y proporcionan un fuerte control morfológico de la geometría del depósito (Fig. 15h).

De este punto de vista deformativo generalizado y simplificado se puede identificar en el depósito Chinchillas (Fig. 16), un evento temprano paleozoico de naturaleza penetrativa de tipo dúctil desarrollada en las metasedimentitas de la Formación Acoyte (s_0), previamente a la depositación

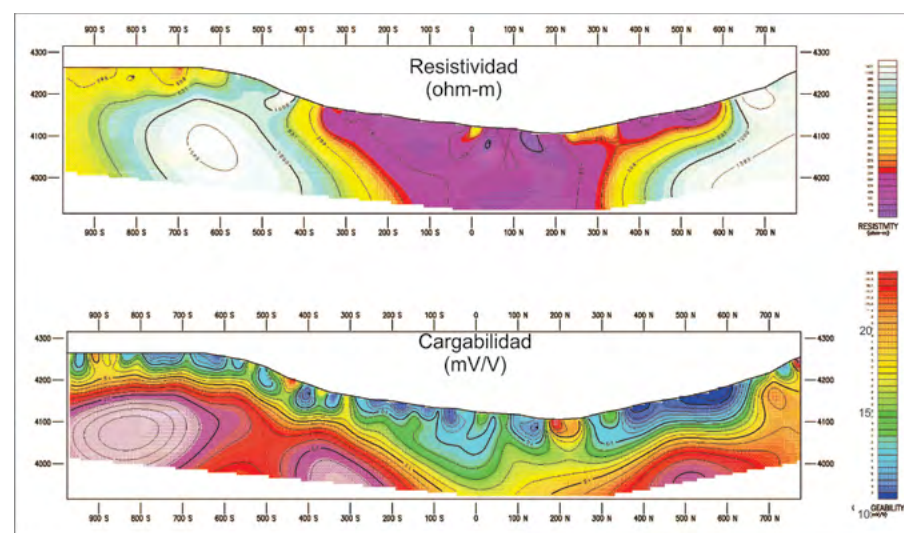


Figura 14. Secciones de resistividad Polo-dipolo y de cargabilidad (Línea 450E) representativas donde se aprecia la morfología del depósito en profundidad. Fueron adquiridas en intervalos de 50 m, frecuencia 0.125Hz y con lecturas de hasta 300 m. Véase su localización en la figura 12 (tomada de Quantec 2008).

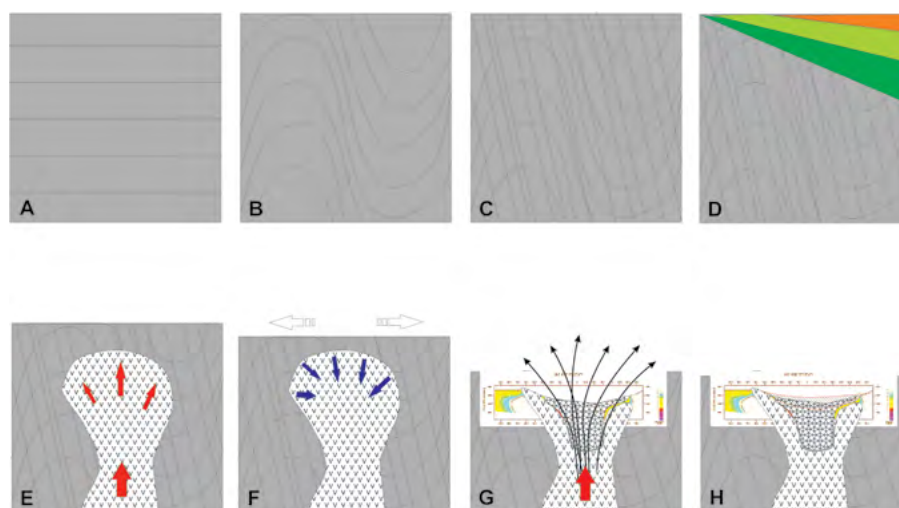


Figura 15. Modelo evolutivo interpretativo preliminar a partir de secciones esquemáticas del depósito Chinchillas, véase el texto para su descripción.

del Grupo Salta, que la afectó generándole un plegamiento que se asocia al clivaje de plano axial (s_1) y *kinking* (s_2).

Con posterioridad a la depositación del Grupo Salta, la tectónica Andina afecta a las anteriores unidades desarrollándole una deformación discontinua de tipo frágil contemporánea y tardía con la intrusión de los cuerpos dacíticos que puede diferenciarse en los siguientes fallamientos multiescales (Fig. 17).

- a) Fallamientos senestrales dispuestos NO-SE,
- b) Fallamientos dextrales dispuestos NE-SO,
- c) Diaclasamientos ONO-ESE dispuestos aproximadamente en la bisectriz aguda de

un sistema conjugado de las anteriores. A partir de conjugar los fallamientos senestrales y dextrales en un sistema consanguíneo y contemporáneo se puede determinar que la posición en planta de un esfuerzo principal máximo (σ_1) es su bisectriz aguda dispuesta aproximadamente en dirección ESE-ONO (Fig. 17). De esta manera, la dirección preferencial del diaclasamiento es coincidente con este esfuerzo y determina la posición ideal de la generación de espacios dilatantes potencialmente con mayores volúmenes de mineralización. Además, es muy posible que este evento deformativo haya podido reactivar y/o invertir estructuras tempranas asociadas con las tendencias actuales del

plegamiento y que controlen los sectores mineralizados.

CONCLUSIONES

A partir de la información estructural multiescalar disponible de superficie y subsuelo, se propone un modelo evolutivo preliminar que permite involucrar los procesos tectono-magmáticos determinantes de la mineralización polimetálica sulfurada del depósito Chinchillas. La geometría general del depósito es de tipo diatrema asociada al domo dacítico con una planta que alcanza unos 1,1 km² que a partir de unos 250 m de profundidad tiende en adelgazarse progresivamente.

El depósito Chinchillas puede ser considerado una extensión austral del cinturón Boliviano de Sn-Ag-Zn en la región puñena de Jujuy y relacionado a su vez con un corredor volcánico neógeno que se dispone sublatitudinalmente a través de la Cordillera de los Andes. Está caracterizado por la erupción de un domo dacítico con mineralizaciones localizadas en fallamientos brechosos tanto internos como en su encajante metasedimentario ordovícico de la Formación Acoyte y diseminada en mantos dentro de sedimentitas y rocas piroclásticas a partir de conductos alimentadores subverticales.

Finalmente, a partir de ornamentaciones morfoestructurales subordinadas de los distintos fallamientos (particularmente de los más tardíos), es posible reconocer ambientes relativamente dilatantes positivos dispuestos ONO-ESE que pudieron facilitar la circulación y depositación de fluidos mineralizantes previos, contemporáneos y póstumos provenientes de modo subvertical desde las porciones más profundas del sistema magmático-hidrotermal.

Esta caracterización espacial de los rasgos estructurales contribuye con el mejor diseño de las actividades exploratorias y productivas que se requieren para el óptimo desarrollo económico del yacimiento.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la empresa Golden Arrow Resources Corporation y SSR Mining por

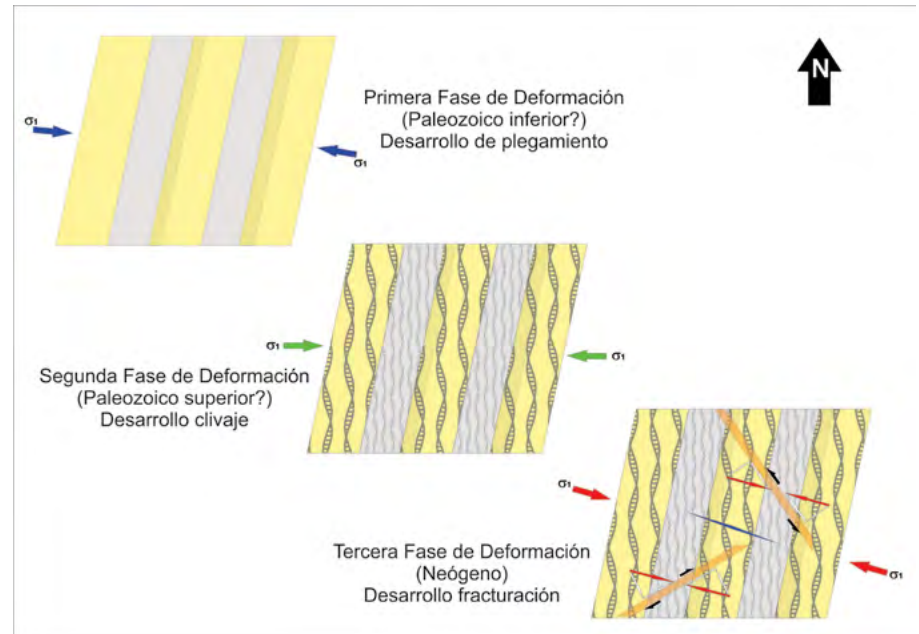


Figura 16. Modelo evolutivo simplificado de la deformación del depósito Chinchillas que se desprende de las características que presenta la Formación Acoyte en el depósito Chinchillas.

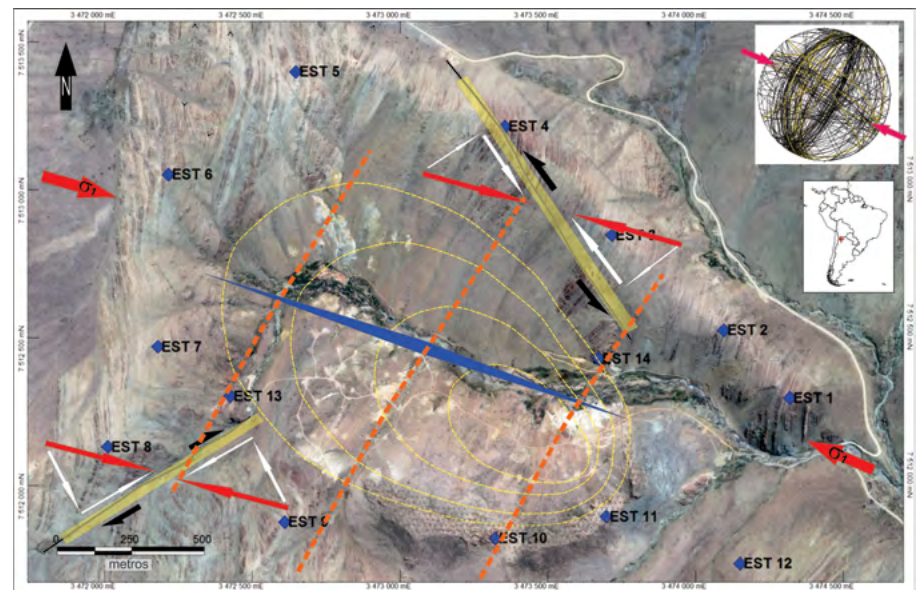


Figura 17. Esquema de la distribución de la deformación discontinua asociada a los eventos póstumos del magmatismo del depósito Chinchillas. Líneas naranjas discontinuas indican la disposición general de los plegamientos de la Formación Acoyte. Líneas amarillas discontinuas indican la morfología elíptica de la zona mineralizada. Zona azul indica la disposición preferencial de las fracturas potencialmente abiertas (diaclasamiento). Las flechas blancas indican la descomposición en componentes paralela de transcurrancia y perpendicular de compresión del vector esfuerzo principal máximo horizontal (flechas rojas).

haber permitido la publicación de este trabajo y financiado las tareas de campo de E.A. Rossello. El colega Franco Ferreyra colaboró en los relevamientos de campo y tratamiento de los datos estructurales. La revisión editorial del doctor Fernando Hongn y los arbitrajes del doctor Sebastián Jovic y un árbitro anónimo mejoraron

con sus correcciones y sugerencias la comprensión del trabajo.

REFERENCIAS

Ahlfeld, F. 1948. Estudios geológicos de yacimientos minerales de la Provincia de Jujuy. Primera Parte. Universidad Nacional de Tu-

- cumán, Instituto de Geología y Minería, Publicación 455 y 474.
- Alonso, R.N. y Viramonte, J. 1987. Geología y metalogenia de la Puna. *Estudios Geológicos* 43: 393-407.
- Astini, R.A. 2008. Sedimentación, facies, discordancias y evolución paleoambiental durante el Cambro-Ordovícico. En: Coira, B. y Zappettini, E.O. (eds.), *Geología y recursos naturales de la provincia de Jujuy. Relatorio del 17° Congreso Geológico Argentino*, 50-73, San Salvador de Jujuy
- Ávila, J.C., Chomnales, R. y Sonsini, J. 1986. Geología y metalogénesis del yacimiento Chinchillas, Departamento Rinconada, Provincia de Jujuy, República Argentina. *Universidad Nacional de Jujuy, Revista del Instituto de Geología y Minería* 6: 87-103.
- Caffe, P.J. 1999. Complejos volcánicos dómicos del Terciario superior en Puna Norte: sus implicancias magmatotectónicas y metalogénicas. Tesis doctoral (inédita), Universidad Nacional de Córdoba, 421 p., Córdoba.
- Caffe, P.J. y Coira, B. 1999. Complejos de domos volcánicos del Mioceno medio de Puna. Un modelo geológico y metalogénico para yacimientos epitermales de metales de base ricos en Ag (Sn). En: Zappettini, E.O. (ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1557-1567.
- Caffe, P.J. y Coira, B. 2008. Depósitos epitermales polimetálicos asociados a complejos volcánicos dómicos: Casa Colorada, Pan de Azúcar, Chinchillas y Cerro Redondo. En: Coira, B. y Zappettini, E.O. (eds.), *Geología y recursos naturales de la provincia de Jujuy. Relatorio del 17° Congreso Geológico Argentino*, 350-357, San Salvador de Jujuy.
- Cardozo, N. y Allmendinger, R.W. 2013. Spherical projections with OSXStreeonet. *Computers & Geosciences* 51: 193-205.
- Chernicoff, C., Garea, G., Hongn, F., Seggiaro, R., Zappettini, E., Coira, B., Caffe, P., Chayle, W., Rodríguez, G., Pérez, A., Soler M. y Rankin, L. 1996. Interpretación geológica del relevamiento aeromagnético de la Puna Septentrional, Jujuy y Salta. *Dirección Nacional del Servicio Geológico, Serie Contribuciones Técnicas Geofísica*, 46 p. Buenos Aires.
- Chomnales, R. 1975. Contribución al conocimiento de manifestaciones de minerales de cobre en la provincia de Jujuy. *Fundación Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán. Miscelánea* 57: 30 p.
- Chomnales, R. 1978. Informes microscópicos varios sobre muestreo y ensayos de concentración de minerales del Área Mina Chinchillas. *Convenio Cía. Minera Pirquitas S.A. Instituto de Ciencias Geológicas, Universidad Nacional de Jujuy*, 40 p. Informe inédito.
- Coira, B. 1978. Episodios volcánicos cenozoicos en el área de Chajarahuaico-Casabindo. Puna Jujueña. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 537-551, Neuquén.
- Coira, B. 1983. Magmatismo y mineralizaciones asociadas en Puna jujeña, Argentina. 2° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 2: 405-423, Buenos Aires.
- Coira, B. 1999. Potencialidad minera de sistemas megacaldéricos miocenos en Puna Norte. En: Zappettini, E.O. (ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1557-1567.
- Coira, B. y Brodtkorb, M.K. 1995. Paragenesis of polymetallic mineralizations related with Cenozoic volcanism in Northern Puna, Argentina. En: Mank, J.L. y George, J.D.S. (eds.), 3rd Pacrim Congress: 135-140, Aukland.
- Coira, B., Davidson, J., Mpodozis, C. y Ramos, V.A. 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Andes Northern Argentina and Chile. *Earth Science Review* 18: 303-332.
- Coira, B., Díaz, A., Chayle, W., Pérez, A. y Ramírez, A. 1993. Chinchillas, un modelo de complejo volcánico dómico portador de depósitos de metales de base con Ag y Sn en Puna Jujueña. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 270-276, Mendoza.
- 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.
- Davies, B. y Howie, K. 2013. Mineral resource estimation for the Chinchillas Silver-Lead-Zinc Project, Jujuy Province, Argentina. NI 43-101. Golden Arrow Resources Corporation, 20p. Reporte interno.
- de la Iglesia, H. 1958. Informe sobre la mina de plomo Chinchillas. Dpto. Rinconada. Jujuy. Dirección Provincial de Minería: 1-9. Informe inédito.
- de los Hoyos, L. 1962. Informe sobre la mina de plomo Chinchillas. Dpto. Rinconada. Jujuy. Dirección Provincial de Minería: I-13. Informe inédito.
- de los Hoyos, L. 1993. La situación de la minería jujeña y sus perspectivas. Consejo Federal de Inversiones: 113p. Informe inédito.
- Dewey, J.F. 1965. Nature and origin of kink-bands. *Tectonophysics* 1: 459-494.
- Ferreira, F. 2013. Mapping of the Acoyte Formation (Basement) intercepted by drilling at the Silver Mantos Target Area CGA 44/45/46/56/60/65/76/77/79/80/82/83/84/86/87/88/89/90. Chinchillas Project. Golden Arrow Resources Corporation, 10p. Reporte interno
- Gibson, P.C., McKee, E.H., Noble, D.C. y Swanson, K.E. 1995. Timing and interrelation of magmatic, tectonic, and hydrothermal activity at the Orcopampa district, southern Peru: *Economic Geology* 90: 2317-2325.
- Giggenbach, W.F. 1992. Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries. *Economic Geology* 87: 1927-1944.
- Grant, N.J., Halls, C., Avila, S.W. y Snelling, N.J. 1979. K-Ar ages of igneous rocks and the Bolivian tin belt. *Economic Geology* 74: 838-851.
- Grant, N.J., Halls, C., Sheppard, S.M. y Avila, W. 1980. Evolution of the porphyry tin deposits of Bolivia. *Mining Geology, Special Issue* 8: 151-173.
- Grosse, P., Guzmán, S. y Petrinovic, I.A. 2017. Volcanes compuestos cenozoicos del noroeste argentino. En: Muruaga, C.M. y Grosse, P. (eds.), *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA. Relatorio del 20° Congreso Geológico Argentino*, Actas: 484-517, Sna Miguel de Tucumán.
- Heald, P., Foley, N.K. y Hayba, D.O. 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid sulfate and adularia-sericite types. *Economic Geology* 82: 1-26.
- Hildreth, S.C.Jr. y Hannah, J.L. 1996. Fluid inclusion and sulfur isotope studies of the Tintic mining district, Utah: implications for targeting fluid sources. *Economic Geology* 91: 1270-1281.
- Hongn, F.D. y Mon, R. 1999. La deformación ordovícica en el borde oriental de la Puna. En: González-Bonorino, G., Omarini, R. y Viramonte, J. (eds.), *Geología del Noroeste Argentino Relatorio 14° Congreso Geológico Argentino*, Actas: 80-88, Salta.
- Kay S.M., Mpodozis C. y Coira, B. 1999. Neogene magmatism, tectonism and mineral deposits of the Central Andes (22° to 33°S latitude). En: Skinner, B.J. (ed.), *Geology and ore deposits of the Central Andes*. Society

- of Economic Geology Special Publication 7: 27-59.
- Keller, G.V. y Frischknecht, F.C. 1966. Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press, 317 p., New York.
- Le Corre, C.A. y Rossello, E.A. 1994. Kinematics of Early Paleozoic ductile deformation in the basement of NW Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 7: 301-308.
- Linares, E. y González, R. 1990. Catálogo de edades radimétricas de la República Argentina 1957-1987. Asociación Geológica Argentina, Publicaciones Especiales Serie B: 19 p., Buenos Aires.
- Marquillas, R.A. y Salfity, J.A. 1999. La cuenca cretácico-terciaria del norte argentino. En: Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina, Servicio Geológico Minero, Anales* 29: 613-626, Buenos Aires.
- Marshall, D. y Mustard, P. 2012. Chinchillas intermediate sulphidation epithermal system. Vancouver Petrographics Ltd. for Golden Arrow Resources Corporation: 29p. Reporte inédito
- Matsuhisa, Y. y Aoki, M. 1994. Temperature and oxygen isotope variations during formation of the Hishikari Epithermal gold-silver veins, Southern Kyushu, Japan. *Economic Geology* 89: 1608-1613.
- Meyer, C. y Hemley, J.J. 1967. Wallrock alteration. En: Barnes, H.L. (ed.), *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. Holt, Reinhart and Winston: 166-235, New York.
- Milana, J.P. y Kröhling, D. 2017. First data on volume and type of deflated sediment from Southern Puna Plateau and its role as source of the Chaco-Pampean loess. *Quaternary International* 483: 126-140.
- Mon, R. y Hongn, F. 1987. Estructura del Ordovícico de la puna. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42: 31-38.
- Nelson, C.E. y Giles, D.L. 1985. Hydrothermal eruptions mechanisms and hot spring gold deposits. *Economic Geology* 80: 1633-1639.
- Ort, M.H. 1993. Eruptive processes and caldera formation in a nested downsag-collapse caldera: Cerro Panizos, Central Andes Mountains. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 56: 221-252.
- Peters, W.C. 1978. Exploration and mining geology. Department of Mining and Geological Engineering. John Wiley & Sons, The University of Arizona, 363 p., Arizona.
- Petrinovic, I.A., Grosse, P., Guzmán, S. y Caffé, P.J. 2017. Evolución del volcanismo cenozoico en la Puna argentina. En: Muruaga, C.M. y Grosse, P. (eds.). *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA. Relatorio del 20° Congreso Geológico Argentino*, Actas 469-483, San Miguel de Tucumán.
- Pirajno, F. 2009. Hydrothermal processes and mineral systems. Springer Verlag. 1249 p., New York.
- Quantec 2008. Geophysical report on: pole-dipole array, induced polarization and resistivity survey at the Chinchilla Project, Jujuy Province, Argentina, on behalf of Silex Argentina S.A. 14p. Informe inédito.
- Ramos, V.A. 2000. The Southern Central Andes. En: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. y Campos, D.A. (eds.). *Tectonic evolution of South America. 31st International Geological Congress*: 561-604, Rio de Janeiro.
- Reynolds, J. 1997. An introduction to applied and environmental geophysics. En: *Electrical Methods*. John Wiley & Sons Ltd. 552pp., London.
- Richards, J., Jourdan, F., Creaser, R., Maldonado, G. y DuFrane, S. 2013. Geology, geochemistry, geochronology, and economic potential of Neogene volcanic rocks in the Laguna Pedernal and Salar de Aguas Calientes segments of the Archibarca lineament, northwest Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 258: 47-73.
- Rodríguez, G.A. 2008. Mineralizaciones auríferas en la sierra de Rinconada. En: Coira, B. y Zappettini, E.O. (eds.). *Geología y recursos naturales de la provincia de Jujuy. Relatorio del 17° Congreso Geológico Argentino*, Actas: 167-177, San Salvador de Jujuy.
- Rodríguez, G.A., de Azevedo, F.I. Jr., Coira B. y Brodie, C. 2001. Mineralizaciones auríferas en sedimentitas ordovícicas de la sierra de Rinconada (Jujuy-Argentina): implicancias para la exploración minera. *Revista Geológica de Chile* 28: 100-120.
- Rossello, E.A. 2001. Controles estructurales del Lineamiento Tucumán sobre el magmatismo neógeno y sus mineralizaciones asociadas del distrito Farallón Negro (Catamarca, Argentina): una revisión. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Anales* 52: 183-208, Buenos Aires.
- Rossello, E.A. 2007. Controles termotectónicos del emplazamiento de mineralizaciones: una hipótesis de trabajo. *Revista de Geociências. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (UNESP) Campus de Rio Claro* 26: 191-201.
- Rossello, E.A. 2009. Localización de espacios dilatantes en fallamientos: controles de la mineralización y pronósticos económicos. 9° Congreso Argentino de Geología Económica, Actas: 229-234, San Fernando del Valle de Catamarca.
- Salfity, J.A. 1985. Lineamientos transversales al rumbo andino en el noroeste argentino. 4° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 119-137, Antofagasta.
- Salfity, J.A., Gorustovich, S., Moya, C. y Amengual, R. 1984. Marco tectónico de la sedimentación y efusividad cenozoicas en la Puna argentina. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 539-554, San Carlos de Bariloche.
- Schnurr, W., Risse, A., Trumbull, R. y Munier, K. 2006. Digital geological map of the Southern and Central Puna plateau, NW Argentina. En: Oncken, O., Chong, G., Franz, G., Giese, P., Götze, H-J., Ramos, V.A., Strecker, M. y Wigger, P. (eds.), *The Andes - Active subduction orogeny: Frontiers in Earth Science Series 1 (Springer-Verlag)*: 563-564, Berlin.
- Schnurr, W., Trumbull, R., Clavero, J., Hahne, K., Siebel, W. y Gardeweg, M. 2007. Twenty-five million years of silicic volcanism in the southern central volcanic zone of the Andes: geochemistry and magma genesis of ignimbrites from 25° to 27° S, 67° to 72° W. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 166: 17-46.
- SEGEMAR 1996. Mapa geológico de la Provincia de Jujuy, República Argentina. Secretaría de Industria, Comercio y Minería. Dirección Nacional del Servicio Geológico,- Servicio Geológico Minero Argentino.
- Sgrosso, P. 1943. Contribución al conocimiento de la minería del noroeste argentino. Dirección Nacional Geología y Minería, Boletín 53, Buenos Aires.
- Silex Argentina 2008. Internal report on the Chinchillas Ag-Pb-Zn deposit. Argentina. Golden Arrow Resources Corporation 12p. Informe inédito.
- Sillitoe, R.H. 1985. Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs. *Economic Geology* 80: 1467-1514.
- Sillitoe, R.H. y Hedenquist, J.W. 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. En: Simmons, S.F. y Graham, I. (eds.): *Volcanic, geothermal and*

- ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes within the Earth. Society of Economic Geologists Special Publication 10: 315-343.
- Simmons, S.F., White, N.C. y John, D. 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volume: 485-522.
- Sureda, R., Galliski, M., Argañaráz, P. y Daroca, J.J. 1986. Aspectos metalogénicos del Noroeste Argentino (Provincias de Salta y Jujuy). Capricornio I: 39-95, Salta.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. y Sheriff, R.E. 1990. Induced polarization. En: Applied Geophysics. 2ª ed. Cambridge University Press: 578-609, London.
- Turner, J.C.M. y Méndez, V. 1979. Puna. En: Turner, J.C.M. (ed.). Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias (Córdoba) 1: 13-56, Córdoba.
- Valvano, J. y Galeota, R. 1978. Informe sobre el yacimiento de Mina Chinchillas. Dpto. Rinconada, Provincia de Jujuy. Instituto de Geología y Minería. Universidad Nacional de Jujuy, 1-3. Informe inédito.
- Van Blaricom, R. 1986. Electrical, Practical geophysics for the exploration geologist. Northwest Mining Association: 39-135.
- White, N.C. y Hedenquist, J.W. 1995. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration. SEG Newsletter 23: 9-13.
- Wong, J. 1979. An electrochemical model of the induced-polarization phenomenon in disseminated sulfide ores. Geophysics 44: 1245-1265.
- Zappettini, E. 1990. Geología y metalogénesis de la Puna oriental entre los 23° y 23° 45' de latitud sur. Provincias de Jujuy y Salta, República Argentina. Contribuciones al conocimiento de la mineralogía y geología económica de la República Argentina. Asociación Argentina de Geólogos Economistas, Publicación especial: 120-127, Buenos Aires.

Recibido: 11 de abril, 2019

Aceptado: 15 de julio, 2019