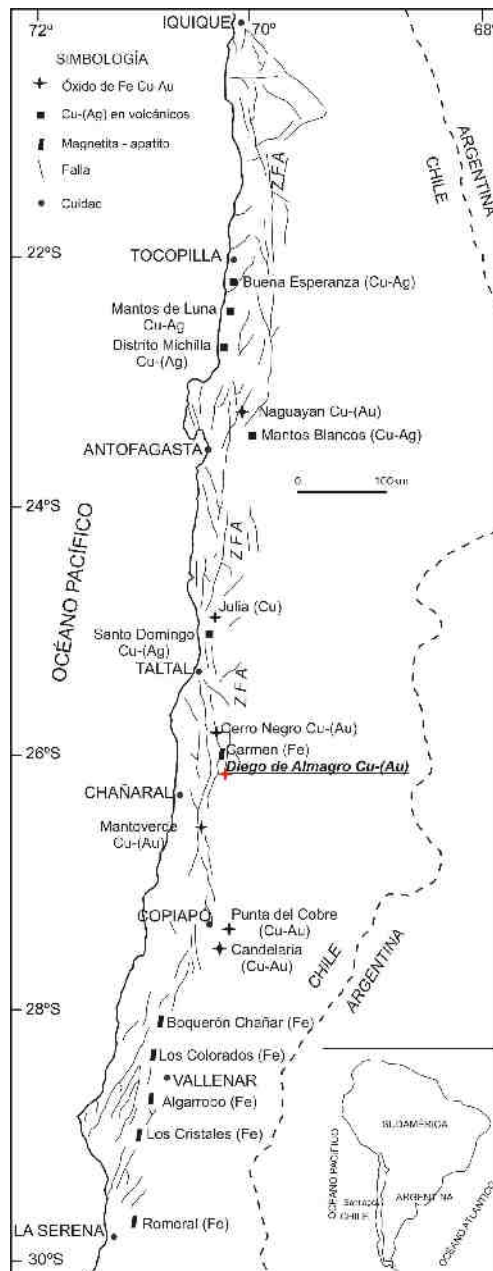


# PROYECTO DIEGO DE ALMAGRO: GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN TIPO IOCG, REGIÓN DE ATACAMA, NORTE DE CHILE

Verónica Herrera, Pedro Garmendia, Ronald Pizarro

Minera Cerro Dominador, Juan Martinez 1204, Diego de Almagro, Chile. E-Mail: [v.herrera@cerrodominador.cl](mailto:v.herrera@cerrodominador.cl)

## INTRODUCCIÓN



El desarrollo de los yacimientos de Fe-Cu-Au del Mesozoico en Chile se produjo en estrecha relación con los yacimientos de hierro, los cuales se distribuyen principalmente en la Cordillera de la Costa entre la II y IV regiones, directamente relacionados a la Zona de Falla Atacama (ZFA, Fig. 1). La geología regional mesozoica comprende un sistema de arco magmático producto de la subducción, de elongación general paralela a la fosa, con cuencas sedimentarias y volcánicas marinas de pre-arco (E) y tras-arco (W) en relación con un eje magmático/volcánico. El volcanismo característico de este ambiente de subducción es andésítico, con cantidades menores de productos más básicos y ácidos.

En este contexto se sitúa el Proyecto Diego de Almagro, en la franja metalogénica que reúne yacimiento de hierro (magnetita – apatito) y Fe - Cu - Au, hospedados en rocas volcánicas del Cretácico Inferior en sectores aledaños a intrusivos dioríticos a granodioríticos del Albiano. Estos depósitos están dentro del dominio del segmento meridional de la Zona Falla Atacama, principalmente relacionados a fallas subsidiarias como Manto Verde (Vila *et al.*, 1996).

El proyecto Diego de Almagro se ubica a 100 km en línea recta de la ciudad de Copiapó, en la Región de Atacama (Fig. 1). Los límites geográficos de la zona de estudio son los paralelos 26° 09' – 26° 10' latitud S y los meridianos 70° 22' – 70° 24' longitud W. Su historia minera se remonta al año 1810 particularmente en la Mina Carmen de cobre a través del trabajo de informales. Actualmente, tras los trabajos de exploración de Minera Cerro Dominador S.A, cuenta con alrededor de 60 mil metros de sondajes y recursos minerales que alcanzan los 71.6 millones de tons con leyes medias de 0.65 %CuT, 0.22 %CuS y 0.05 gr/ton Au.

Figura 1. Ubicación del Proyecto Diego de Almagro en el contexto de los depósitos IOCG y la Zona de Falla Atacama (ZFA). Modificado de Sillitoe y Perelló (2005).

## CONTEXTO GEOLÓGICO – ESTRUCTURAL REGIONAL

A nivel distrital, la litología predominante corresponde a volcanitas del Grupo Punta del Cobre (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) (Godoy y Lara, 1998) que son intruidas por batolitos y stocks de composición ácida a intermedia (granitos a melanodioritas), que representan las raíces expuestas del arco magmático del Cretácico Inferior (Tardío) y que junto a granitoides y cuerpos subvolcánicos post neocomianos (Cretácico Superior – Paleoceno) han provocado diferentes grados de alteración y de metamorfismo de contacto en las rocas intruidas (Farrar *et al.*, 1970).

El principal rasgo estructural en la región corresponde a la Zona de Falla Atacama (ZFA), la cual es una de las estructuras más importantes del antearco de los Andes Centrales (Arabasz, 1971; Scheuber y González, 1999). Se extiende por, aproximadamente, 1000 km en territorio chileno, entre las ciudades de Iquique y La Serena.

A gran escala, la geometría de la ZFA se formó durante el Jurásico Inferior y Cretácico Superior, caracterizada por grandes estructuras frágiles producto de movimientos sinistral (Hervé, 1987; Scheuber y Andriessen, 1990). Algunas de las fallas maestras de rumbo NS y subsidiarias NW forman duplexes que ocurren en varias escalas, desde regional a local.

## LITOLOGÍA

En el área del proyecto, la mayor parte de los afloramientos corresponden a andesitas porfíricas de color verdoso, que presumiblemente se disponen en potentes capas con actitud aproximada N40°W y manteos variables entre 45° y 60° NE. Tanto en afloramientos como en los sondajes se han identificado intercalaciones de toba, y brecha volcanoclástica (Fig. 2), esta última posee fragmentos porfíricos, en tonos gris verdoso con fenocristales rosados en masa fundamental oscura. Intruyendo a la secuencia volcánica, afloran pequeños stocks dioríticos y monzoníticos frescos.

En la región occidental del proyecto afloran riolitas en forma de domos relacionados a los cuerpos intrusivos. Se presentan como una roca rosada, textura porfírica con pocos fenocristales en abundante masa fundamental sacaroidal muy fina.

En el bloque yacente de la zonas de falla Occidental y Esther se reconocen rocas metamórficas de contacto (hornfels) con facies de alta temperatura como skarns de escapolita, magnetita, feldespato potásico y actinolita.

## GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

De acuerdo al análisis de lineamientos del Proyecto Diego de Almagro, observaciones de campo y la ligazón de éstas con la interpretación de los sondajes diamantina, se distinguen tres tendencias: NS/50-75°E y N45-60°W/45-60°NE (Fig. 2)

Los cuerpos mineralizados se encuentran controlados por sistemas de fallas NS subhorizontales, y en profundidad poseen como piso la ZFO, que corresponde a una estructura NS, de comportamiento frágil-dúctil. De esta estructura se desprende una subsidiaria de rumbo NW, denominada Zona de Falla Esther, la cual limita los cuerpos de brecha hidrotermal y stockwork en el sector oriental del Proyecto Diego de Almagro.

En sección la ZFO asemeja a una geometría listrica (Fig. 4), vale decir, posee variaciones en el manto del plano de falla. Además, cerca de la superficie el ancho de la zona de daño posee mayor espesor (15 – 20 m), mientras que a los 350 m no supera los 10 cm.

La zona de daño está caracterizada por una zona de salbanda arcillosa de color marrón y desarrollo de brecha de falla. En profundidad se identifica textura cataclástica o pseudomilonítica.

En el bloque yacente la litología cambia bruscamente a una zona de hornfels con predominio de alteración tipo feldespato potásico, albita y clorita que oblitera la textura original de las volcanitas.

En tanto, la Zona de Falla Esther (ZFE, Fig. 2) posee una disposición N45°W/50°NE, tiene expresión superficial pero carece de buenos indicadores cinemáticos, sin embargo, se logró determinar un movimiento sinistral normal. Se desprende de la Zona de Falla Occidental y también pone en contacto rocas volcánicas y cuerpos de brecha hidrotermal y stockwork, con rocas metamórficas de contacto e intrusivos dioríticos y monzoníticos. La zona de daño posee las mismas características que la falla Occidental.

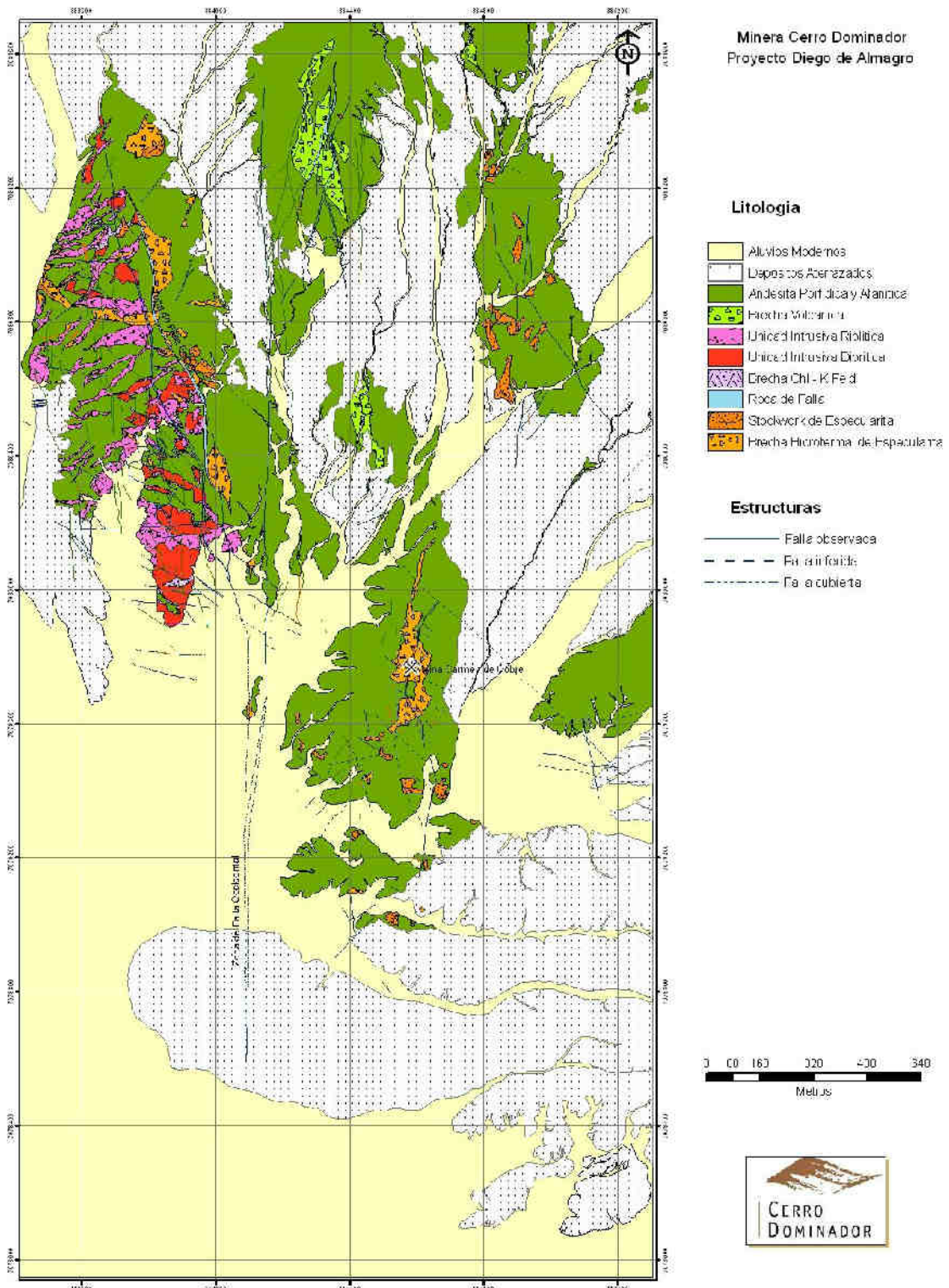


Figura 2. Mapa geológico del Proyecto Diego de Almagro.

En la zona de daño de la ZFE, específicamente en los sectores donde corta los cuerpos de brecha, se reconocen brechas de falla, las cuales son polimícticas, con material fragmentario de diversos orígenes: no metálicos-fragmento de roca, fragmentos de vetas de specularita, fragmentos de veta con

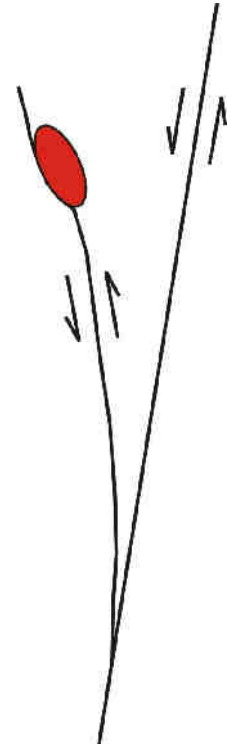
pirita gruesa, entre otros. Están soportados por matriz y cemento constituido por especularita fina, abundante arcillas e hidróxidos de Fe y material no metálico molido fino.

Se reconocen boxworks cúbicos de textura coloforme zonal sin relictos de sulfuros. Hay menor presencia de limonitas eventualmente procedentes de sulfuros de Cu en fragmentos de vetillas de especularita. Aparecen oxidados de cobre en ciertos clastos, dispuestos intersticialmente, al parecer crisocola y eventual malaquita.

El arreglo estructural de las fallas Occidental y Esther, tal como lo sugiere el mapa geológico (Fig. 2), corresponderían, respectivamente, a una falla maestra de rumbo NS y una subsidiaria de rumbo NNW. Es así como la Falla Esther, que forma un ángulo en planta de ca. 20° con la Falla Occidental, podría interpretarse como una estructura tipo Riedel en el marco de una deformación de rumbo sinistral con una probable componente normal (Fig. 3).

Los cuerpos mineralizados ocurren sistemáticamente en el bloque colgante de la ZFE, en codos dilatacionales de rumbo NW con corridas de cientos de metros. Resulta particularmente claro que el manto hacia el este de esta falla forma una estructura tridimensional en tulipán, la cual es típica de sistemas de falla de rumbo.

Figura 3. Interpretación de patrones estructurales del Distrito Diego de Almagro en planta. La elipse roja representa un codo dilatacional.



## ALTERACIÓN

A nivel distrital, el mineral de alteración que predomina es clorita la cual ocurre como reemplazo de la masa fundamental de las andesitas y brechas volcánicas, generalmente asociada a diseminación de pirita euhedral de grano fino. Ocasionalmente se reconocen cúmulos y vetillas de actinolita.

La roca de caja del stockwork y la brecha hidrotermal presenta una alteración compuesta por feldespatos potásico y/o albita con contenidos de sílice que reemplaza tanto la masa fundamental como a los fenocristales de plagioclasa. En algunos casos es frecuente observar vetillas o cristales de pirita con un halo de albita reemplazada por feldespatos potásico.

La magnetita posee una amplia distribución, tanto en superficie como en profundidad. Junto a la magnetita original accesoria de fenocristales y de la masa fundamental de las andesitas, frecuentemente se reconoce abundante magnetita neoformada metasomática frecuentemente anhedral, muy fina, que acrece la etapa previa y que es muy densa en la masa fundamental de la roca. La magnetita original se reconoce por sus texturas de Widmanstätten con inclusiones orientadas de rutilo y por el sobre tamaño típico. En cambio la magnetita agregada (hidrotermal?) es muy pura sin desmezclas de otras fases y con gran variedad de tamaños. Ambas generaciones están fuertemente hematitizadas.

En la vertical se observa un paso gradual entre la alteración potásica al predominio de magnetita, a partir de los 200 m de profundidad. La transición está caracterizada por andesitas porfíricas de color gris muy oscuro con fenocristales de tono rosado. Al microscopio, se observa que la roca tiene la textura muy obliterada por productos de la alteración. Los fenocristales de plagioclasas están reemplazados por feldespatos potásico, con escamas de clorita como alteración débil y carbonato también con carácter débil (casi no hay relictos de plagioclasa). Los ferromagnesianos están transformados en entrecrecimientos de clorita fina y carbonato, por formas relictas pudieron haber sido anfíboles.

El mapeo de superficie y sondajes de diamantina, evidenció una zonación lateral de los minerales de alteración más frecuentes en torno a los cuerpos mineralizados. Desde la zona distal hasta la proximal se reconoce: clorita, muscovita (sericita), albita, cuarzo y feldespatos potásico.



## MINERALIZACIÓN

Los cuerpos mineralizados presentan formas irregulares, orientados preferentemente en direcciones NNE con manto aproximado de 50°SE (Fig. 4). La mineralización se dispone en vetillas polidireccionales (stockwork) que gradan lateral y verticalmente a cuerpos de brecha hidrotermal de especlarita con óxidos y/o sulfuros de cobre, dependiendo de la profundidad (Herrera *et al.* 2007).

En los niveles superiores se reconoce stockworks de especlarita limonitizada con desarrollo de cúmulos de crisocola, atacamita, brocantita y almagres. Los trabajos de mapeo interior mina en los laboreos de Carmen que profundizan 70 m aproximadamente, se han reconocido en prácticamente todas las labores, oxidados de cobre con un fuerte control tectónico, destacándose la presencia de stockwork y brecha de especlarita en ocasiones muy limonitizada y asociada principalmente a crisocola y atacamita. En forma periférica a estos cuerpos hay mineralización con menor ley de cobre asociada a stockwork de especlarita, que representa la zona de transición hacia la roca de caja.

Entre los 100 y 250 m es frecuente reconocer cristales euhedrales de calcopirita con textura de reemplazo por covelina, calcosina y bornita. A nivel microscópico, se observa que la bornita reemplaza hipogénicamente, desde sus bordes y por microfracturas o contactos intercrystalinos, a la calcopirita.

El oro en los distintos cuerpos mineralizados se encuentra mayoritariamente incluido en la pirita, con una ley promedio de 0.099 gr/ton.

A mayor profundidad (> 250 m) existe mineralización de calcopirita junto a magnetita. Este mineral ocurre como brechas, stockwork y diseminaciones en zonas tectonizadas ubicadas en las cercanías de la ZFO (Fig. 4). En el bloque yacente la magnetita presenta un carácter masivo con inclusiones de pirita euhedral.

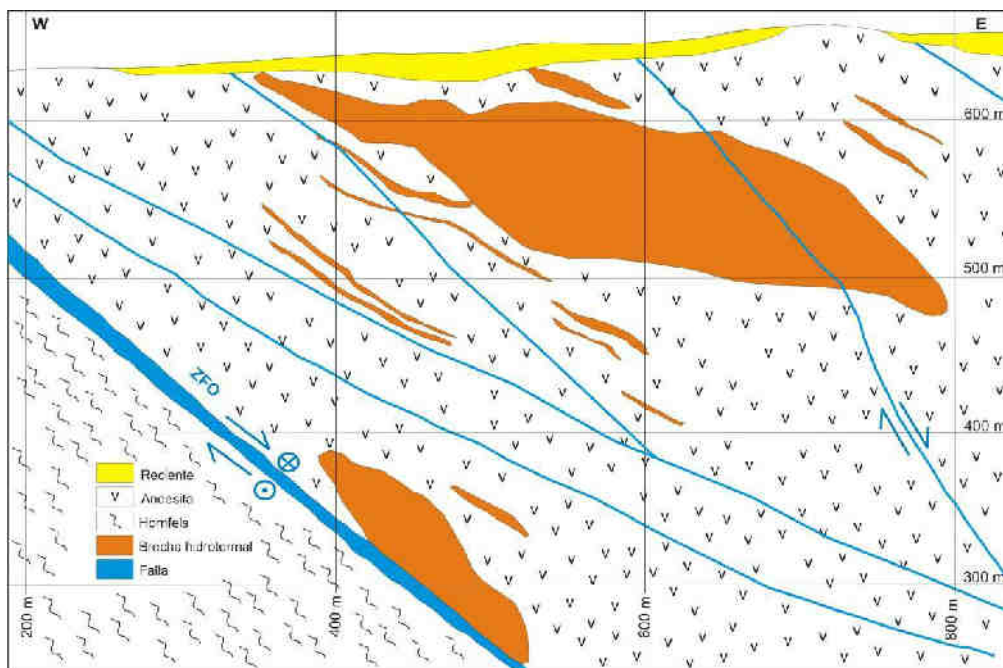


Figura 4. Sección EW donde se exhibe la distribución y control de los cuerpos de brecha hidrotermal del Proyecto Diego de Almagro. ZFO: Zona de Falla Occidental.

## CONCLUSIONES

Las zonas de alteración hidrotermal y mineralización del Proyecto Diego de Almagro son similares a aquellas reconocidas a diferentes profundidades en la depósitos IOCG relacionados a la evolución del arco magmático del Cretácico Inferior.

El principal control de la mineralización lo constituye la intensa red de fallas y fracturas evidenciado por la estrecha relación entre el desarrollo de cuerpos de brecha hidrotermal y las zonas de cizalle. Sin

embargo, es preciso identificar claramente la contemporaneidad de los distintos sistemas estructurales que se reconocen en el área.

El hallazgo del Proyecto Diego de Almagro en el cinturón de depósitos tipo IOCG, genera atractivas perspectivas a nivel distrital, enfocado a cuerpos irregulares, de tonelaje medio, localizados en sitios estructurales favorables.

## REFERENCIAS

- Arabaz, W.J. 1971. Geological and geophysical of the Atacama fault zone in northern Chile, Ph. D. Thesis Calif. Inst. Techn.. p. 264.
- Farrar, E., Clark, A.H., Haynes, S.J., Quirt, G.S., Conn, H. & Zentelli, M. 1970. K–Ar evidence for the post-Palaeozoic migration of granitic intrusion foci in the Andes of northern Chile: *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 10, p 60 – 66.
- Godoy, E. & Lara, L. 1998. Hojas Chañaral Diego de Almagro, Región de Atacama. Mapas Geológicos N° 5-6, Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Herrera, V., Garmendia, P. & Pizarro R. 2007. Geología y recursos minerales del Proyecto Diego de Almagro, Región de Atacama. Informe inédito.
- Hervé, F. 1987. Movimiento sinistral en el Cretácico inferior de la Zona de Falla de Atacama al norte de Paposo (24° S), Chile. *Revista Geológica de Chile*, vol. 31, p. 31-36.
- Scheuber, E. & Andriessen, P.M.A. 1990. The kinematic significance of the Atacama fault zone, northern Chile. *Journal of Structural Geology*, vol. 12, p. 243-257.
- Scheuber, E. & González, G. 1999. Tectonics of the Jurassic-Early Cretaceous magmatic arc of the north Chilean Coastal Cordillera (22°-26°). *Tectonics*, vol. 18, p. 895-910.
- Sillitoe, R. & Perelló, J. 2005. Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery: *Economic Geology 100th anniversary volume*, p. 845–890.
- Vila, T., Lindsay, N. & Zamora, R. 1996. Geology of Manto Verde Copper Deposit, Northern Chile: A Specularite-Rich, Hydrothermal-Tectonic Breccia Related to the Atacama Fault Zone. In: Camus, F., Sillitoe, R.H., and Petersen, R., eds. *Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles and Metallogeny*. Society of Economic Geologists, Special Publication, n°5, p. 157-170.