



SIGNIFICADO DE LA PRESENCIA DE ANDALUCITA EN ZONAS DE ALTERACION HIDROTHERMAL RELACIONADAS A YACIMIENTOS METALIFEROS

MAYNE-NICHOLLS, A.G.¹

Quartz, sericite, and pyrite commonly occur in many magmatic-hydrothermal systems, thus these minerals are not useful in defining mineralizing subtypes.

S.A. Williams J.D. Forrester

La mente maneja la información de manera eficaz elaborando modelos, no obstante tiene algunas limitaciones, principalmente a causa de su dificultad para reestructurarlos en respuesta a nueva información.

E. de Bono

INTRODUCCION

La andalucita es un silicato de aluminio (Al_2SiO_5) de ocurrencia común en rocas ricas en aluminio, pobres en calcio, potasio y sodio, afectadas por procesos metamórficos de baja presión (1). Sin embargo, esta especie mineralógica puede estar presente en rocas de distintos tipos afectadas por alteración hidrotermal (e.g., intrusivas, volcánicas), asociadas genética y/o espacialmente a depósitos minerales. La andalucita ha sido descrita, entre los minerales de alteración, en depósitos tipo pórfido cuprífero como El Salvador (2) y en prospectos o áreas menores próximas (y relacionados) a este tipo de depósitos como Río Blanco; preferentemente asociada a la alteración cuarzo-sericita.

El objetivo de este trabajo es describir la presencia de andalucita en zonas de alteración cuarzo-sericita (y argílica avanzada) ubicadas al norte del sistema de pórfido cuprífero de Río Blanco e inferir su relación espacial con respecto a este tipo de depósito. Además, se discute el significado de la presencia de andalucita en un cuadro de alteración similar al de Río Blanco, pero en un contexto geológico aparentemente diferente (Prospecto aurífero Cerro de la Virgen). Los datos que constituyen la base de este trabajo han sido obtenidos durante diversas campañas de exploración y la identificación de la andalucita ha sido realizada a través de difracción de rayos X y estudios al microscopio de luz polarizada. En el caso de Río Blanco, el trabajo de exploración correspondió a un programa realizado entre la Superintendencia de Exploración y Reservas de la División Andina y la Gerencia de Exploraciones de CODELCO.

DISTRITO CUPRIFERO RIO BLANCO

Este distrito está definido por un sistema mineralizado, tipo pórfido cuprífero (3), que involucra todos los sectores o centros mineralizados entre la Americana por el sur y el sector La Copa por el norte. Inmediatamente al norte de este último lugar existen numerosas manifestaciones (áreas) de rocas afectadas por alteración cuarzo-sericita, en algunas de las cuales se detectó andalucita asociada, dispersas en un radio máximo de 7 km. Estas áreas se describen a continuación.

- **Alto Km 30.** - Area situada aproximadamente 5 km al NNE de la parte principal del Sistema Río Blanco; está determinada por un grupo de vetas de cuarzo, principalmente cupríferas, de dimensiones restringidas, emplazadas en andesitas cloritizadas. Destaca en el grupo la Veta Principal, por sus dimensiones relevantes, historial geológico y, principalmente, por su mineralización de bornita. El borde oeste del área está limitado por acantilados que caen hasta el río Blanco. Entre las cotas 3.400-3.300 m s.n.m., en la zona próxima al contacto con granodioritas miocénicas (4), en la parte basal de la pared del acantilado, las andesitas presentan alteración hidrotermal con la asociación cuarzo-sericita-andalucita (rutilo); se trata de rocas volcánicas milonitizadas, con piritita y contenidos significativos de Mo.

¹ Julio Montebruno 665. La Reina, Santiago, Chile.

- **Sondaje.-** Un sondaje (DDH) realizado 1 km al este de la zona anterior, interceptó (entre las cotas 3.200-3.100 m s.n.m.) rocas andesíticas afectadas por alteración hidrotermal, que incluye andalucita (próxima a zonas con biotitización) con mineralización sulfurada, exclusivamente piritica. La andalucita se presenta en andesita brechizada y silicificada con alteración argílica avanzada asociada, que forma parte de una estructura vetiforme. Además el sondaje intercepta brechas de turmalina (con fragmentos de veta de cuarzo), porciones de roca biotitizada y de tobas con alteración argílica (cuarzo-caolinita-dickita y diásporo). La mineralización sulfurada en todas las unidades mencionadas es casi exclusivamente pirita.
- **Castro.-** Inmediatamente al norte del sector La Copa, constituido por tobas riolíticas de cristales, existe un grupo de estructuras vetiformes en roca granodiorítica. Localmente ocurren pequeñas manifestaciones de brechas hidrotermales. A medida que se avanza hacia el norte, muy próxima a la laguna de Los Milos, se detectan brechas hidrotermales con alteración cuarzo-sericita, en roca granodiorítica, que además incluye andalucita.
- **Turquesa.-** Al noroeste de la laguna Los Milos se encuentra la laguna Turquesa, en cuyo borde sureste aflora un pequeño grupo de brechas, concentradas en un área de 200x200 metros. Las brechas son preferentemente hidrotermales alojadas en rocas intrusivas miocénicas (granitos y granodioritas) con alteración cuarzo-sericita, turmalina, y mineralización principalmente piritica. En algunas de ellas se detectó andalucita.
- **C° Pasco.-** Al este de la laguna Turquesa, en la conjunción del estero Castro y el río Blanco, ocurren pequeñas unidades de rocas tobáceas silicificadas intercaladas en rocas andesíticas, que incluyen, además, sericita y andalucita.

PROSPECTO AURIFERO CERRO DE LA VIRGEN

40 km al sureste de la ciudad de Salamanca existe un área de alteración hidrotermal en rocas volcánicas andesíticas cretácicas. En la mitad norte del área la alteración es más intensa y continua, con un desarrollo relativamente amplio de alteración cuarzo-sericita y un desarrollo más restringido de estructuras silicificadas ("ledges"). Estas últimas caracterizan o definen el prospecto y presentan anomalías geoquímicas de oro. Andalucita fue detectada en halos de unidades de sílice residual ("vuggy silica").

En la mitad sur del área la alteración cuarzo-sericita tiene un desarrollo más discontinuo y disperso, sin relación con silicificación y anomalías de oro. La presencia de andalusita fue detectada con mayor frecuencia que en la parte norte del área.

En la parte norte del prospecto, en el borde oeste del sistema de estructuras silíceas (con evidencias de contacto intrusivo), aflora un pórfido feldespático biotitizado con trazas de mineralización sulfurada cuprífera. La edad del pórfido (47.8 Ma) es menor que la alteración cuarzo-sericita próxima a él (57.4 Ma). Al sur y suroeste del área del prospecto afloran también pórfidos feldespáticos de edad similar, que, además, presentan localmente mineralización cuprífera mejor desarrollada (con Au subordinado).

Otro caso con presencia de andalusita es **El Colorado**, localizado algunos kilómetros al oeste del yacimiento Quebrada Blanca. Se trata de un área, con anomalía de color muy llamativa (en zona lixiviada), de alteración hidrotermal relacionada con pórfidos cuarcíferos y feldespáticos, y brechización asociada. El cuadro de alteración corresponde en parte a argílica avanzada e incluye andalusita además de cuarzo, sericita, alunita, pirofilita y diásporo. La mineralización sulfurada es casi exclusivamente piritica.

DISCUSION

Con relación al contexto geológico, las áreas afectadas por alteración hidrotermal investigadas pueden agruparse en dos categorías:

- a) áreas ubicadas en o próximas a un sistema tipo pórfido cuprífero conocido (Áreas del distrito Río Blanco).
- b) áreas sin relación reconocida a un sistema tipo pórfido cuprífero.

Es común que en la superficie de distritos que contienen depósitos tipo pórfido cuprífero, caracterizados por su gran amplitud areal, existan numerosas zonas de roca lixiviada con alteración cuarzo-sericita, que puede ser objeto de distintas interpretaciones. Una complicación adicional surge cuando, además de la

exposición superficial, puede reconocerse una importante extensión vertical (e.g., distrito Río Blanco), que puede incluir niveles de transición entre ambientes epidermales y ambientes de pórfido cuprífero.

Basado en las descripciones de yacimientos conocidos (e.g., El Salvador) y modelos conceptuales de esquemas de alteración (5) es posible construir una columna teórica de zonación de la alteración, que permita la interpretación de áreas afectadas por argilización, alteración argílica avanzada y fílica (cuarzo-sericita-pirita). La presencia de dickita señala con cierta precisión la transición desde un ambiente epidermal a otro mesotermal (vetas), así como la andalucita señala el paso o transición mesotermal(vetas)-pórfido. Por ejemplo, algunas decenas de kilómetros al noreste del sistema cuprífero de Río Blanco existen numerosas manifestaciones superficiales de argilización con presencia de dickita; esto permite situarlas con cierta propiedad como indicador de la parte profunda de un sistema epidermal.

Sillitoe (6), aludiendo al trabajo de Gustafson y Hunt (2) sobre El Salvador, considera a la andalucita, presente en zonas de alteración argílica avanzada, como un indicador de las partes profundas o basales de "litocapas" y de la proximidad potencial de un pórfido cuprífero. De acuerdo con Corbett y Leach (5), la andalucita presente en zonas de alteración argílica avanzada y fílica (cuarzo-sericita-pirita) parece señalar, con bastante precisión, un nivel de transición mesotermal(vetas)-pórfido (entendido para los depósitos tipo pórfido Cu-Au del sureste asiático).

Gustafson y Hunt (2) exponen un completo cuadro sobre la presencia de andalucita en El Salvador. En niveles profundos, se observa la asociación feldespato de potasio-andalucita (clasificada con el período Transicional de mineralización-alteración) y hacia arriba se presenta la asociación sericita-andalusita, sobre el nivel de enriquecimiento secundario. Finalmente, existe una superposición de alteración argílica avanzada (etapa geotermal), donde coincide espacialmente andalusita con pirofilita y diásporo.

Respecto a los casos aquí presentados, y de acuerdo a las características descritas para cada una de las áreas de alteración, la presencia de andalucita en las diferentes asociaciones de alteración permite establecer las siguientes relaciones:

- En Río Blanco las unidades con andalucita se localizan relativamente distales, al norte, de los principales centros mineralizados reconocidos, a cotas más bajas (bajo los 3.500 m s.n.m.). Las unidades, del tipo a), en roca intrusiva granodiorítica corresponden a brechas hidrotermales de escasa expresión superficial, cuyo cuadro de alteración puede ser interpretado como correspondiente a niveles altos en el ambiente pórfido cuprífero, pero también distales respecto a los centros mineralizados principales; sin descartar su posible relación con intrusivos más antiguos.
- El sector alto km 30, tiene una mayor concentración de unidades cuarzo-sericita-andalusita-pirita (alteración fílica). En el sector denominado Sondaje, el estudio del testigo documenta una columna de 700 metros para la estructura vetiforme principal que existe en el sector. En superficie, en volcanitas andesíticas, la estructura corresponde a una veta de cuarzo-sericita que ha sido brechizada y sellada según: una primera etapa de silicificación, y una segunda con carbonatos. En profundidad, controladas estructuralmente, coexisten: andalucita en un cuadro de alteración argílica avanzada (próxima a un ambiente de pórfido), brechización con silicificación porosa, sericita-andalusita, brecha de turmalina con fragmentos de veta brechizada similar a la de los niveles superficiales, biotitización estéril y biotitización con pirita. En este caso, la andalucita se conecta directamente, mediante una estructura relevante, con la zona pirítica de un ambiente de pórfido (con manifestaciones discretas de pórfido andesítico).
- En Cerro de la Virgen, la andalucita ocurre en unidades de alteración argílica avanzada y fílica, incluidas en un contexto geológico complejo. Las unidades mineralizadas más jóvenes en el área corresponden a pórfidos feldespáticos con mineralización cuprífera pobre y con Au subordinado, magmática o tardimagmática. La alteración cuarzo-sericita es levemente más antigua que los pórfidos con Cu-Au. La silicificación, que caracteriza el sector norte del prospecto y que incluye (zonación hacia afuera del sistema) alteración argílica avanzada, (andalucita), cuarzo-sericita, cuarzo-sericita-albita y roca cloritizada, hospeda las anomalías de Au. La presencia de andalusita en halos de estructuras vetiformes (con Au anómalo) de sílice residual (conductos?), localizados físicamente en la base geológica y topográfica de las unidades cuarzo-sericita, está señalando claramente la raíz del sistema aurífero (epidermal-mesotermal). En el sector sur, las unidades cuarzo-sericita-andalusita ocurren dispersas en rocas andesíticas predominantemente cloritizadas; en consecuencia, la andalucita de este sector de Cerro de la Virgen, si bien determina la base de un sistema de litocapas, no establece ninguna señal respecto a la proximidad de un potencial pórfido cuprífero.

CONCLUSIONES

Los datos y antecedentes reunidos y analizados permiten establecer lo siguiente, con relación a la presencia de la andalucita en cuadros de alteración cuarzo-sericita (fílica) y argílica avanzada:

- Areas de roca lixiviada (anomalías de color) constituyen, en general o comúnmente, los primeros blancos en los programas de exploración. Su significado puede ser "precisado" con relación al nivel relativo, según una columna teórica, que ocupan los cuadros de alteración hidrotermal, argílica avanzada y fílica con andalucita, que las caracterizan o definen.
- La andalusita señala, en cuadros de alteración fílica y argílica avanzada, un nivel de transición entre un ambiente mesotermal (vetas) y un ambiente de pórfido (5).
- Las relaciones espaciales precisas, distancias vertical y lateral, con relación a un centro mineralizado tipo pórfido cuprífero, no pueden ser determinadas en base a los datos utilizados en este trabajo. Sin embargo, el establecimiento de una escala relativa de minerales indicadores (de diferentes niveles o profundidades), en combinación con la naturaleza de la alteración hidrotermal y elementos asociados a los sistemas de pórfidos cupríferos, permiten inferir la posición de la zona con andalucita con respecto al centro mineralizado (tipo pórfido cuprífero) y, consecuentemente, ordenar el cuadro de alteración hidrotermal y definir prioridades para los distintos blancos de exploración.
- En su relación con potenciales depósitos auríferos, la andalusita asociada a cuadros de alteración argílica avanzada y fílica (en rocas de cubierta) estaría señalando las raíces de sistemas epitermales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Superintendencia de Exploración y Reservas de la División Andina de Codelco la autorización para publicar los datos pertinentes. A los señores L. Serrano, R. Vargas y C. Aguilar por la revisión del texto en lo referente a Río Blanco. Finalmente, mis agradecimientos al Dr. W. Vivallo por la revisión del trabajo, así como por sus comentarios y sugerencias.

REFERENCIAS

1. Mottana, A.; Crespi, R.; Liborio, G. 1978. *Rocks & Minerals*, Simon & Shuster's, 607 p. Italy.
2. Gustafson, L.B.; Hunt, J.P. 1975. The Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, Vol. 70, p. 857-912.
3. Stambuk, V.; Aguilar, C.; Blondel, J.; Galeb, M.; Serrano, L.; Vargas, R. 1989. *Geology of the Rio Blanco Porphyry Copper Deposit, Central Chile* (Inédito), Superintendencia de Geología, División Andina, CODELCO-Chile, 32 p.
4. Rivera, O.; Navarro, M. 1996. *Estudio Geológico Distrital de la División Andina de CODELCO-Chile, 2 Etapa (escala 1:25.000)*. Informe Final (Inédito), Codelco Chile/CEG Ltda., 169 p. Santiago.
5. Corbett, C.J.; Leach, T.M. 1994. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and mineralization. *Society of Economic Geologist, Special Publication*, No. 6, 237 p.
6. Sillitoe, R.H. 1995. Exploration of porphyry copper lithocaps. *Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, No. 9/95, p. 527-532.