

# Xenolitos de rocas calcáreas afectadas por metasomatismo en el Complejo Máfico El Teniente

**M. Alexandra Skewes\***

*Department of Geological Sciences, University of Colorado, Boulder Colorado 80309, E.E.U.U.*

**Karen Osorio**

*Geológica SpA, Geológica Servicios, Spa, Av Luis Pasteur 6558, Vitacura, Santiago, Chile*

**Alejandra Arévalo, Ricardo Floody**

*Superintendencia Geología, El Teniente, CODELCO-CHILE, Millán 1040, Rancagua, Chile*

**Charles R. Stern**

*Department of Geological Sciences, University of Colorado, Boulder Colorado 80309, E.E.U.U.*

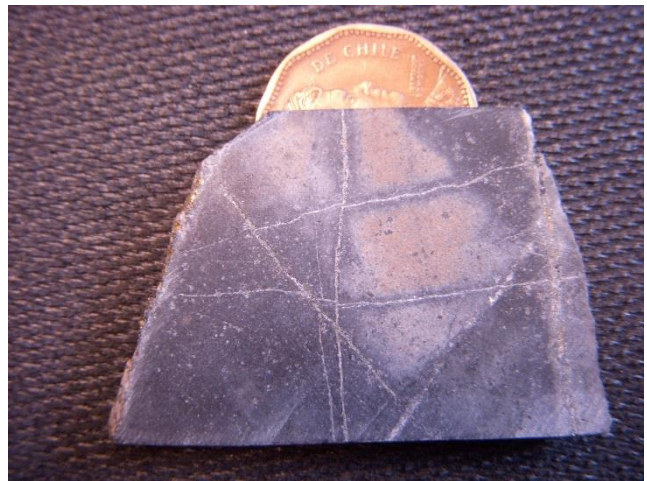
[skewes@colorado.edu](mailto:skewes@colorado.edu)

**Resumen.** Xenolitos de color café-rosado, constituidos por granate (andradita), magnetita, plagioclasa (anortita), epidota, cuarzo, actinolita y anhidrita, ocurren en rocas ígneas del Complejo Máfico El Teniente (CMET). Ellos tienen composición química diferente al CMET, con un mayor contenido de Ca y menor contenido de Mg y elementos alcalinos. Las razones iniciales de Sr, Nd y Pb de estos xenolitos son también diferentes a las de las rocas ígneas de Teniente y de sus alrededores. Los rasgos texturales, mineralógicos, químicos e isotópicos de los xenolitos café-rosado sugieren que ellos son de origen exógeno. La mineralogía, composición química e isotópica indican que estos xenolitos corresponden a rocas calcáreas incorporadas y metasomatizadas a una asociación mineralógica tipo skarn durante el ascenso del magma basáltico que formó el CMET. Sus razones isotópicas son similares a las de las calizas paleozoicas en la Precordillera Argentina y distintas a la de las calizas cretácicas que afloran al sureste de Teniente en Las Leñas.

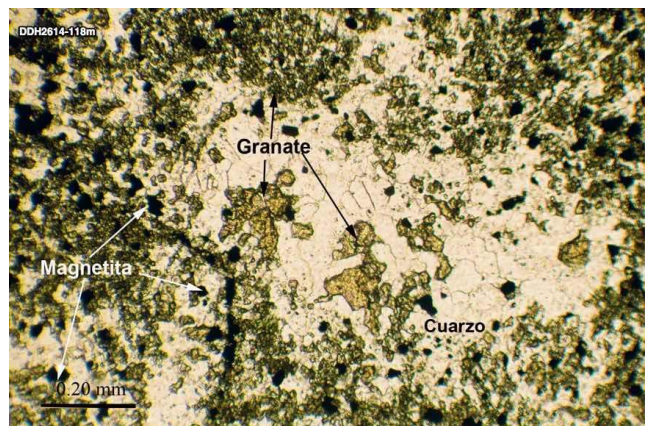
**Keywords:** El Teniente, xenolitos, rocas calcáreas, skarn

## 1 Introducción

En el yacimiento El Teniente se ha reconocido un tipo de asociación mineralógica muy distintiva, de color café-rosado, fuertemente magnética y con abundante granate (andradita), plagioclasa cálcica (anortita), epidota, cuarzo y magnetita (Figs. 1 y 2; Skewes, 2012, 2013). Esta asociación mineralógica, similar a skarns, ha sido distinguida principalmente, pero no exclusivamente, en múltiples sondajes al oeste del Pórfido Dacítico Teniente. La alteración ocurre como parches o fragmentos de roca color café-rosado dentro del CMET. Los fragmentos que superan 2 metros de largo (Fig. 3) se distinguen claramente de la roca de caja oscura con contactos graduales o tajantes con bordes lineares o irregulares (Figs. 1 y 4). Estos fragmentos están cortados por diversas vetillas.



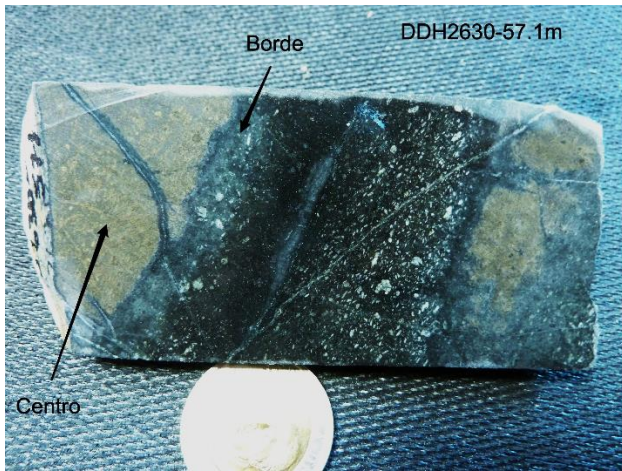
**Figura 1.** Fragmento o xenolito recristalizado dentro del CMET (DDH1951-447'). El xenolito está constituido principalmente por andradita, anortita, cuarzo y epidota. Guías de cuarzo cortan al CMET y al fragmento.



**Figura 2.** Microfotografía de fragmento café-rosado. El granate (andradita) es de grano fino y está asociado a cuarzo, plagioclasa (anortita), epidota y magnetita.



**Figura 3.** Tramo de fragmentos café-rosado supera dos metros de largo en el sondaje DDH2603.



**Figura 4.** Fragmentos café-rosado en el CMET. El fragmento de la izquierda presenta un borde de reacción con la roca de caja.

Microscópicamente los parches con alteración a granate-epidota corresponden a un agregado cristalino fino subhedral de granate (Fig. 2). El granate (andradita) es de tamaño fino (<0.1mm) a muy fino (<0.05mm), de color dominante café-claro, asociado a cuarzo, plagioclasa (anortita), epidota y magnetita con cantidades subordinadas de actinolita y anhidrita. La biotita está ausente en estos fragmentos ricos en granate. La textura de las muestras con este tipo de alteración es diferente a las observadas en rocas ígneas frescas o alteradas de Teniente.

## 2 Métodos

Las muestras referidas en este estudio, fueron recuperadas de sondajes, estudiadas microscópicamente y sus minerales analizados composicionalmente a través de una microsonda electrónica. Los elementos mayores y trazas fueron determinados por ICP/MS y los isótopos de Sr, Nd, Pb se llevaron a cabo por espectrometría de masas.

## 3 Resultados

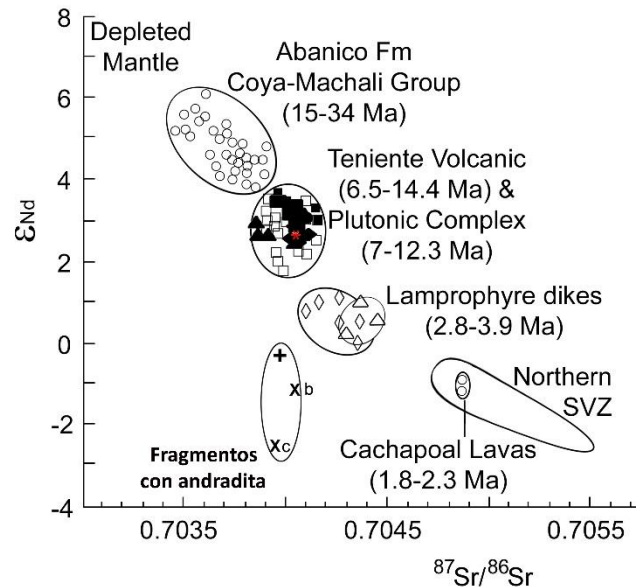
### 3.1 Composición Química

El centro de tres fragmentos café-rosado, analizados por elementos mayores, revelan que el SiO<sub>2</sub> es variable entre 40

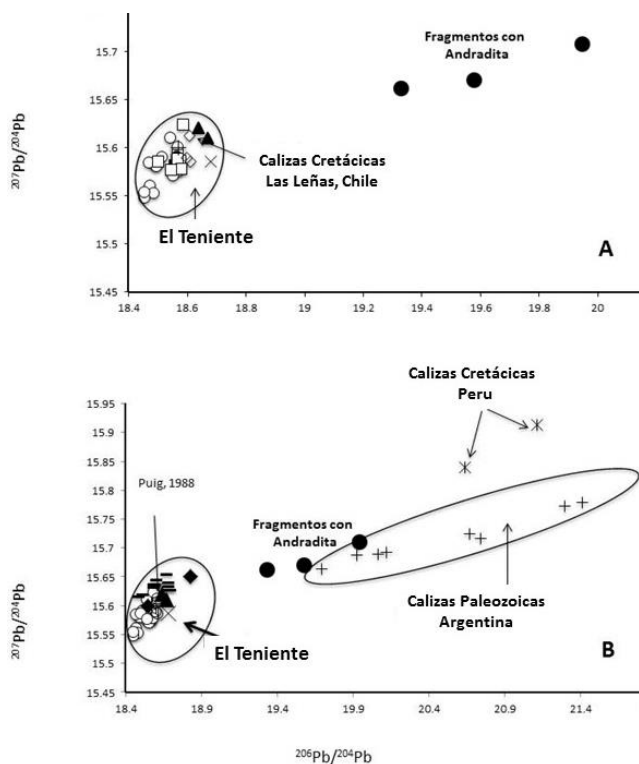
y 49%, el CaO varía entre 16.5 y 22%, MgO entre solo 0.13 y 0.56%, Na<sub>2</sub>O entre solo 0.23 y 0.52% y K<sub>2</sub>O entre solo 0.04 y 0.37% en peso. Estas composiciones químicas son diferentes a las composiciones del CMET fresco o alterado (Stern et al. 2011). El contenido de CaO en los fragmentos es muy superior al del CMET (5.9 a 11%). Por otra parte el MgO en los fragmentos es más bajo que en el CMET (3.4 a 6.2%). El contenido total de álcalis (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O < 0.9%) en los fragmentos es también muy inferior al del CMET (3.5 a 6.8%). Los fragmentos café-rosado presentan valores más bajos de Rb, Ba Cs, Ni, Co, Cr, W, Au y más altos de Sr, Zr, As y V que el CMET.

### 3.2 Composición Isotópica

Los valores isotópicos determinados en los fragmentos ricos en andradita comparados con los valores del CMET indican que existe una clara distinción entre ambos (Figs. 5 y 6). Los fragmentos tienen valores de  $\epsilon_{Nd}$  entre -0.2 y -2.7. En una muestra el centro (Xc) tiene un valor de -2.7, el borde gris (Xb) de -1.2 y la roca de caja (CMET) tiene un  $\epsilon_{Nd}$  de +2.6, similar a los valores del CMET (Fig. 5). Estos valores sugieren que los bordes representan una mezcla entre el Nd del fragmento y de la roca de caja. Los valores de  $^{87}Sr/^{86}Sr$  para el fragmento anterior (Fig. 5) son de 0.703958 (centro, Xc) y 0.704044 (borde, Xb). La roca de caja (CMET) tiene una razón  $^{87}Sr/^{86}Sr$  ligeramente mayor de 0.704048. Estas razones de  $^{87}Sr/^{86}Sr$  en los fragmentos y la roca de caja son similares entre sí y similares a las razones determinadas en otras rocas del CMET (Fig. 5; Stern et al. 2011).



**Figura 5.** Diagrama de isótopos de Sr versus  $\epsilon_{Nd}$  en rocas de diferentes edades en Teniente y sus alrededores (Stern et al. 2011). Los fragmentos café-rosado están claramente fuera del trend de rocas ígneas.



**Figura 6.** Diagrama de  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  versus  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ . A. El campo de rocas ígneas de edades entre 14.4 y 6.5 Ma y galenas (Puig, 1998) en Teniente y periferia y fragmentos de color café-rosado ricos en andradita que caen fuera del campo de las rocas ígneas de Teniente. Las calizas Cretácicas de Las Leñas (triángulos) tienen valores isotópicos indistinguibles del de las rocas ígneas de Teniente. B. Se presenta información isotópica de calizas paleozoicas de La Formación Angaco (Cingolani et al, 2003) en Argentina y calizas cretácicas en Perú (MacFarlane, 1999).

Las razones de  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  de los fragmentos ricos en andradita (Fig. 6A) son significativamente más altas que las razones del CMET y que todas las otras rocas ígneas y galenas (Puig, 1988) analizadas en Teniente. Las únicas rocas en los Andes con valores tan altos de  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  son calizas cretácicas del Perú y paleozoicas de Argentina (Fig. 6B).

#### 4 Discusión

Los fragmentos de color café-rosado ricos en andradita dentro del CMET poseen rasgos texturales, mineralógicos, químicos e isotópicos que los distinguen claramente de las rocas ígneas máficas del CMET. El alto contenido de calcio y bajo contenido de álcalis refleja la mineralogía de la roca rica en granate, epidota y plagioclasa cálcica. Las razones iniciales de Sr y Nd son distintas a las de rocas ígneas de Teniente y sus alrededores (Fig. 5). Los valores isotópicos de Pb son muy diferentes a los obtenidos en galena y rocas ígneas de edades entre 14.4 y 6.5 Ma en Teniente (Fig. 6). Estas diferencias son indicativas de que los xenolitos ricos

en granate se originaron a partir de rocas cálcicas, probablemente calizas, de edades más antiguas que las de rocas ígneas del yacimiento. Las razones isotópicas de Pb obtenidas en los xenolitos son similares a las calizas paleozoicas Argentinas (Cingolani et al, 2003).

Los fragmentos fueron atrapados por el magma basáltico que formó el CMET. Durante su ascenso el borde de los xenolitos se fundió. Esto produjo un borde difuso con características isotópicas intermedias entre el centro de los fragmentos y el CMET (Fig. 5). Simultáneamente o subsecuentemente los fragmentos fueron afectados por metasomatismo de sílice y posiblemente hierro y recrystalizados a un agregado fino dominado por granate (andradita), plagioclasa cálcica (anortita), cuarzo, epidota y magnetita. Las muestras estudiadas revelan que ellas fueron posteriormente cortadas por guías y vetillas. Las más abundantes son de magnetita, evidenciando la existencia de estos xenolitos previo a las etapas más tempranas de mineralización de El Teniente.

El tamaño relativamente grande de estos fragmentos y su ocurrencia en múltiples sectores del depósito preferentemente al oeste y noreste, sugieren que con los sondeos se está alcanzando el contacto entre el CMET y las rocas más antiguas, paleozoicas y/o mesozoicas. Es por esto que los fragmentos de color café-rosado podrían entregar información importante sobre la topografía y estructuras existentes antes del emplazamiento del CMET.

#### Referencias

- Cingolani, C.A.; Kawashita, K.; Naipauer, M.; Varela, R.; F. Chemale Jr. 2003. Sr isotope composition and Pb/Pb age of Neoproterozoic Lower Paleozoic carbonate sequences at Salinas Hill and Pie de Palo Range, Western Argentina. IV South American Symposium on Isotope Geology, Salvador, Bahía 1: 164-167.
- MacFarlane, A. 1999. Isotopic studies of Northern Andean evolution and metal sources. En Skinner, B.J. (ed). Geology and Ore Deposits of the Central Andes. Society of Economic Geologists Special Publications 7: 195-217.
- Puig, A. 1988. Geologic and metallogenic significance of the isotopic composition of lead in galenas of the Chilean Andes. Economic Geology 83: 843-858.
- Skewes, M.A. 2012. Rocas con alteración a granate-epidota en El Teniente, Chile. Informe a Superintendencia Geología, Teniente, CODELCO-CHILE. 15p.
- Skewes, M.A. 2013. Notas petrológicas y químicas en rocas con granate dentro del CMET en El Teniente, Chile. Informe a Superintendencia Geología, Teniente, CODELCO-CHILE. 40p.
- Stern, C.R.; Skewes, M.A.; Arévalo, A. 2011. Magmatic Evolution of the Giant El Teniente Cu-Mo Deposit, Central Chile. Journal of Petrology 52(7-8): 1579-1589.