

# Caracterización Mineralógica e Isótopos Estables de Cl de Serpentinitas del Centro-Sur de Chile

Eduardo Salazar<sup>1</sup>, Rurik Romero<sup>1</sup>, Fernando Barra<sup>2</sup>, Jaime Barnes<sup>3</sup>, Martin Reich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile

<sup>2</sup>Departamento de Geología y Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (FONDAP-CEGA), Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile

<sup>3</sup>Department of Geological Science, The University of Texas at Austin, 1 University Station C1100 Austin, Texas, 78712, USA

E-mail: [fbarrapantoja@ing.uchile.cl](mailto:fbarrapantoja@ing.uchile.cl)

**Resumen.** En la Serie Occidental del Basamento Metamórfico del centro-sur de Chile se reconocen varios cuerpos de rocas ultramáficas que presentan variables grados de serpentización. El origen de estos cuerpos ultramáficos y su petrogenesis es una de las interrogantes fundamentales para entender la evolución del margen occidental de Gondwana durante el Paleozoico. El estudio petrográfico de mineralogía primaria y de texturas de reemplazo por serpentina de tres cuerpos ultramáficos serpentizados localizados en la IX Región de La Araucanía permite establecer en forma aproximada el protolito de algunas de estas rocas. Se determina websterita olivínica para Cuchal y Quitratué, y lherzolita para el sector Voipire. En relación a los fluidos responsables del proceso de serpentización, se determina mediante isótopos de Cl distintas fuentes del fluido. Los valores de  $\delta^{37}\text{Cl}$  son levemente negativos en Voipire indicando un posible origen sedimentario del fluido, mientras que valores positivos de  $\delta^{37}\text{Cl}$  para serpentinitas de Centinela y Los Ulmos indican una posible fuente marina para el fluido.

**Palabras Claves:** Serpentinitas, Isótopos de Cl, IX Región, Chile

## 1 Introducción

Las rocas graníticas y metamórficas que conforman el Basamento Metamórfico se distribuyen a lo largo de la costa del centro y sur de Chile desde los 34° a los 45°S. La edad del Basamento Metamórfico se estimó inicialmente en Precámbrica a Cámbrica basado fundamentalmente en la similitud entre los depósitos de hierro bandeado de la Cordillera de Nahuelbuta con yacimientos tipo itabirita (Alvarez, 1970). Por otro lado, diversos autores utilizando métodos radiométricos, determinan una edad Carbonífera para un importante episodio de metamorfismo y plutonismo en el basamento (González-Bonorino, 1971; Munizaga *et al.*, 1973; Munizaga *et al.*, 1985; Hervé *et al.*, 1990).

El basamento puede estar cubierto, discordantemente, por rocas de distinta edad; así por ejemplo, en el sector de Huimpil, IX Región, sedimentitas continentales fosilíferas del Triásico Medio yacen sobre el basamento, en tanto en el sector situado al oeste de Temuco, lo hacen rocas sedimentarias asignadas al Terciario inferior (Formación

Temuco) y las rocas sedimentarias de origen marino de la Formación Cholchol.

La caracterización petrográfica del basamento ha sido tema de estudio de diversos autores (Alvarez, 1970; González-Bonorino, 1971; Aguirre *et al.*, 1972; Hervé *et al.*, 1974; Oyarzún y Clemmey, 1985). Actualmente, la nomenclatura más utilizada corresponde a la denominación de Hervé (1974) con las siguientes unidades:

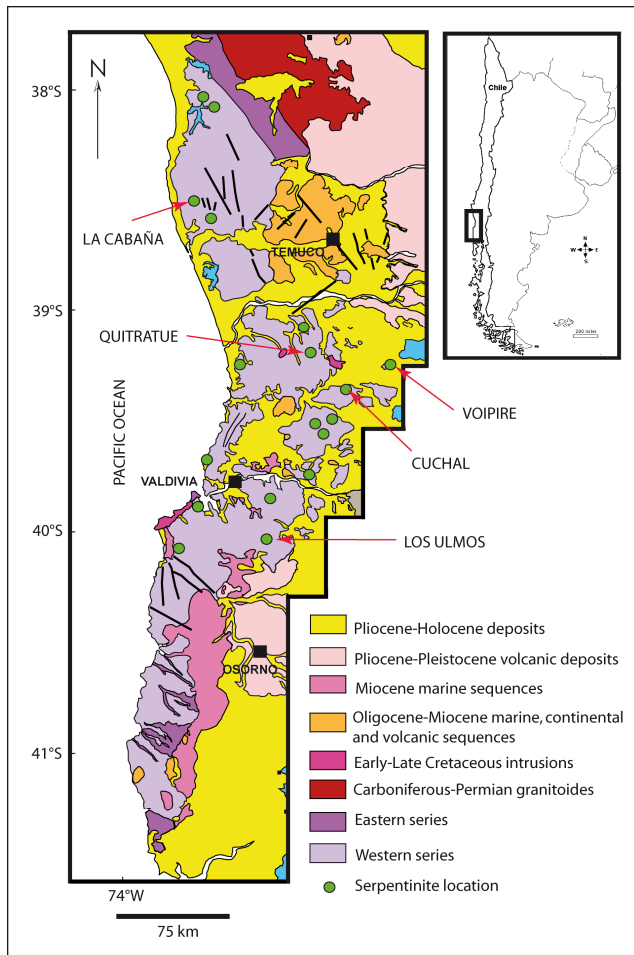
- **Serie Occidental:** conformada por metabasitas, esquistos micáceos, 'metachert' y serpentinitas. El grado de metamorfismo es bajo, correspondiendo a la facies de esquistos verdes. Este conjunto de rocas representan condiciones de metamorfismo de media a alta presión y baja temperatura.
- **Serie Oriental:** constituido por metagrauwacas, metapelitas y rocas córneas asociadas a granitoides. Las facies metamórficas varían desde esquistos verdes a anfibolita o granulita. Esta asociación representa condiciones de metamorfismo de alta temperatura e intermedia a baja presión.

Ambas series se encuentran en contacto en el área de Purén-Contulmo siguiendo una dirección noroeste (Línea Purén), siendo éste de tipo transicional (Hervé, 1974; Kato, 1985).

En la parte sur de la Cordillera de la Costa, Chile, se describe la unidad geológica de la Serie Occidental, la cual presenta grado de metamorfismo bajo en la facies de esquistos verdes. Se encuentran en ésta una serie de cuerpos serpentiniticos entre los 38° y 42°S, cuyas implicancias tectónicas y genéticas no han sido estudiadas a la fecha.

Escasa información petrográfica y química existe de los diversos cuerpos serpentiniticos dispersos en la Serie Occidental. A principios y mediados de los años 70 varios investigadores, principalmente estudiantes memoristas realizaron estudios de reconocimiento de algunos de estos cuerpos serpentiniticos dentro de un marco del programa de exploración de metales realizado por el SERNAGEOMIN. Más recientemente, Barra (1996) caracterizó petrográficamente algunos de estos cuerpos en

la IX región de la Araucanía (Antiquina, Gorbea, la Cabaña, Quitratué, Voipire, Los Ulmos y Camán). Estos trabajos han permitido, en base al estudio de mineralogía relictas y de texturas pseudomórficas de serpentinitas, definir algunos tipos litológicos originales. Es así como se determinó la presencia de wherlitas en Antiquina, harzburgitas en Quitratue, Voipire, Gorbea y los Ulmos, y dunitas en la Cabaña y Gorbea. Además de ello, Barra et al. (1998) presentaron resultados de análisis mineralógico de espinelos crómicos encontrados en el área de La Cabaña, donde se discute y plantea un modelo de formación de ferricromita y se evalúa la utilidad de espinelos crómicos como indicadores petrogenéticos.



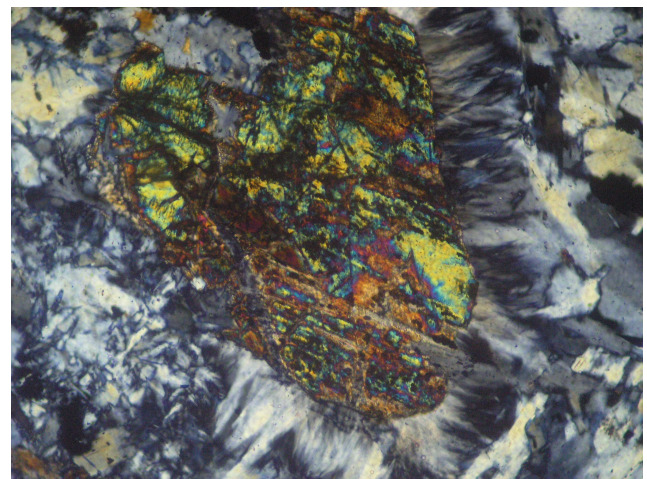
**Figura 1.** Mapa geológico simplificado de la Cordillera de la costa centro-sur de Chile, indicando la ubicación de los cuerpos serpentiniticos mencionados en este estudio.

A pesar de lo anteriormente expuesto, no existe información acabada acerca de la génesis de estos cuerpos serpentiniticos, como tampoco de su emplazamiento y extensión, ni el origen de los fluidos responsables del proceso de serpentinitización. A raíz de ello, y con el propósito de determinar el origen de los cuerpos ultramáficos como el origen de los fluidos se presenta una caracterización petrográfica de tres cuerpos serpentiniticos de la provincia de Cautín, IX Región de la Araucanía, (i.e.,

Voipire, Quitratue y Cuchal) y estudios preliminares de isotopos de Cl, con el propósito de determinar el origen de los fluidos que producen la hidratación de las rocas ultramáficas.

## 2 Resultados

Las muestras encontradas en los sectores de Voipire, Quitratué y Cuchal fueron analizadas de forma macroscópica, para luego seleccionar rocas con texturas representativas de cada localidad y realizar un estudio petrográfico de ellas por medio de cortes transparentes. En las tres localidades que son parte de este estudio (Voipire, Quitratue y Cuchal) es posible el reconocimiento de mineralogía primaria. En Voipire se reconoce forsterita y clinopiroxeno, además de carbonatos, serpentina y opacos (magnetita). El tipo de serpentina presente es antigorita. Quitratue y Cuchal presenta las mismas fases minerales que Voipire, es decir piroxenos y olivinos (forsterita), pero este ultimo en menor proporción que en Voipire. Cabe señalar que dentro de un mismo sector e incluso dentro de un mismo afloramiento, el grado de serpentinitización es variable, alcanzando en la mayoría de los casos un 100%, mientras que aquellas muestras con mineralogía relictas, la serpentinitización alcanza sobre un 70%.



**Figura 2.** Aspecto de serpentinita del sector Quitratue. Se observa cristal de olivino reemplazado por los bordes por serpentina. Nícoles cruzados. Aumento 50x.

El proceso de serpentinitización es progresivo, siendo el olivino el mineral más susceptible a la alteración, seguido por ortopiroxeno, clinopiroxeno y anfíbol. En algunas muestras es posible reconocer texturas de reemplazo pseudomórfico que indican el tipo de mineral parental.

Con el propósito de determinar el origen de los fluidos involucrados en la serpentinitización se realizó un estudio de isotopos de Cl en Voipire. Isótopos de Cl se han utilizados anteriormente en serpentinitas para determinar la fuente del fluido (Barnes *et al.*, 2006). Los resultados preliminares indican valores levemente negativos de  $\delta^{37}\text{Cl}$  para las serpentinitas de Voipire, mientras que estudios

realizados en otras dos localidades (La Cabaña y Los Ulmos) indican valores positivos de  $\delta^{37}\text{Cl}$ .

### 3 Discusión

Se determina, de forma general, un metamorfismo de bajo grado en las localidades de Voipire, Quitratue y Cuchal, en esta última encontrándose un mayor porcentaje de mineralogía primaria en relación a las dos primeras. Sumado a ello, es posible encontrar mineralogía secundaria del tipo serpentina, fundamentalmente antigorita.

Para cada uno de los sectores se presume un protolito ultramáfico, cercano a la clasificación de websterita olivínica para Cuchal y Quitratué, y lherzolita desplazada al área de las wherlitas para el sector Voipire. A pesar de ello, no es posible determinar con certeza el protolito sólo con un análisis petrográfico, ya que el proceso de hidratación, que ocurre en olivinos, piroxenos y anfíbolos, en mismo orden de alteración, puede eliminar cualquier rastro gráfico dentro de las muestras. Así, el trabajo a futuro se enfocará en el análisis de química mineral por microsonda electrónica, lo cual entregaría importante información sobre la petrogénesis de los cuerpos ultramáficos de la provincia de Cautín.

Por otro lado, los resultados preliminares de isótopos de cloro, indican valores negativos para Voipire, mientras que valores positivos para el sector Centinela de La Cabaña y Los Ulmos. Esto indicaría que los fluidos responsables de la serpentización son de distinta naturaleza. Para el caso de Voipire un  $\delta^{37}\text{Cl}$  negativo estaría indicando un fluido de posible origen sedimentario (fluidos atrapados en poros), valores positivos por su parte indicarían un posible origen marino para los fluidos serpentinizantes.

### Agradecimientos

Esta contribución se enmarca dentro del proyecto Fondecyt #1110345, titulado "ORIGIN AND EVOLUTION OF THE COASTAL CORDILLERA OPHIOLITE COMPLEX, CENTRAL CHILE". El estudio y trabajo de terreno de ES y RR fue parcialmente financiada por la Facultad de

Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile mediante un proyecto de investigación de inserción.

### Referencias

- Aguirre L., Hervé F., Godoy E. 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile - an outline. *Krystalinikum*, 9:7-19.
- Alvarez O. (1970): Estudio geológico de los yacimientos de hierro de la Cordillera de Nahuelbuta. Tesis para optar al título de Geólogo, Univ. de Chile, 122 pp.
- Barnes J.D., Selvestone J., Sharp Z.D. 2006. Chlorine isotope chemistry of serpentinites from Elba, Italy, as an indicator of fluid source and subsequent tectonic history. *G3* 7: doi:10.1029/2006GC001296
- González-Bonorino F. 1971. Metamorphism of the crystalline basement of Central Chile. *Journal of Petrology* 12:149-175.
- Herve F. 1974. Petrology of the crystalline basement of Nahuelbuta Mountains, South-Central Chile. Ph.D. Tesis Univ. Hokkaido, Japón.
- Herve F., Pankhurst R.J., Brook M., Alfaro G., Frutos J., Miller H., Schirra W., Amstutz G.C. 1990. Rb-Sr and Sm-Nd data from some massive sulfide occurrences in the Metamorphic Basement of south-central Chile. 221-228. En *Strabound Ore Deposits in the Andes*, Springer-Verlag.
- Kato T. 1985. Pre-Andean orogenesis in the Coastal Ranges of central Chile. *GSA Bulletin*, 96:918-924.
- Munizaga F., Aguirre L., Herve F. 1973. Rb/Sr ages of rocks from the Chilean metamorphic basement. *Earth & Planetary Science Letters* 18:87-92.
- Munizaga F., Herve F., Drake R., Brook M., Pankhurst R.J., Snelling N. 1985. Geochronology of the granitoids: Chilean Lake region (38°-42° S). *Comunicaciones - Univ. de Chile*, 35:167-170.
- Oyarzun R., Clemmey H. 1985. Las mineralizaciones bandeadas de hierro y de sulfuros masivos estratoligados de la Cordillera de Nahuelbuta, Chile. *Geología y Recursos Minerales de Chile*. Tomo II:739-773. Ed. Universidad de Concepción.