



## ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y PETROGRÁFICO DE LA SERIE OCCIDENTAL DEL BASAMENTO METAMÓRFICO A LA LATITUD DE QUIDICO (38°08' A 38°21'S), CORDILLERA DE NAHUEL BUTA, CHILE.

ARDILES M.<sup>1</sup>, BURÓN P.<sup>1</sup>, ECHTLER H.<sup>2</sup>, FIGUEROA O.<sup>1</sup>, Y GLODNY J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Concepción. Departamento de Ciencias de la Tierra. Casilla 160-C Concepción. Chile. (e-mail: mardiles@mail.udec.cl, pburón@mail.udec.cl, ofiguero@mail.udec.cl)

<sup>2</sup>GeoForschungsZentrum Potsdam. Telegrafenberg C2, D-14473 Potsdam, Alemania. (e-mail: helle@gfz-potsdam.de, [glodnyj@gfz-potsdam.de](mailto:glodnyj@gfz-potsdam.de))

### RESUMEN

Los esquistos pelíticos a semipelíticos de la Serie Occidental que afloran a la latitud de Quidico (38°08' a 38°21'S), exhiben una intensa deformación dúctil de tipo milonítico, con desarrollo de bandas de cizallamiento y esquistosidad penetrativa a distinta escala. A nivel mesoscópico se reconoce una foliación principal  $S_1$  a la cual se superpone un clivaje espaciado  $S_2$ . El análisis de las lineaciones de estiramiento y las microestructuras indican un sentido N y NW para el transporte tectónico. Las microfábricas deformacionales evidencian mecanismos de recristalización dinámica, flujo cristaloplástico, deformación intracristalina y disolución por presión. Procesos de recuperación son evidenciados por el desarrollo de subgranos en cuarzo.

### INTRODUCCIÓN

La evolución tectónica de las rocas metamórficas que comprenden la Cordillera de Nahuelbuta no ha sido completamente entendida debido a la falta de estudios estructurales detallados en ella. Los trabajos geológicos previos se han centrado en la caracterización petrológica del basamento cristalino (Gonzalez-Bonorino, 1970; Aguirre *et al.* 1972; Hervé, 1977; Kato, 1985; Vásquez, 2001), así como en los depósitos minerales contenidos en las rocas de la Serie Occidental (Alvarez, 1970; Collao y De Almeida, 1996; Oyarzún y Clemmey, 1986). Por otra parte, la densa cobertura vegetal y la escasez de buenos afloramientos han constituido una importante limitación para el estudio de campo.

El presente estudio tiene como objetivo caracterizar los procesos de deformación dúctil que han afectado a las metamorfitas de la Serie Occidental aflorantes en la parte sur de la Cordillera de Nahuelbuta. Los rasgos estructurales y petrográficos más relevantes en las rocas de esta Serie fueron deducidos de las observaciones de campo y análisis de texturas y microfábricas deformacionales en secciones delgadas orientadas.

### MARCO GEOLÓGICO

La zona estudiada se ubica entre los 38°09' y 38°21'S en la Cordillera de la Costa, conocida a esta latitud como *Cordillera de Nahuelbuta* (Fig. 1). En esta área afloran principalmente rocas de edad Paleozoico Superior-Triásico (Kato, 1985; Glodny *et al.* 2002), pertenecientes a la Serie Occidental del basamento metamórfico. Ellas corresponden principalmente a esquistos pelíticos a semipelíticos, con menor proporción de metabasitas, metacherts ferríferos y cuerpos serpentiniticos. Dicha Serie ha sido interpretada como una franja de alto P/T, con grado

metamórfico en la facies Esquistos verdes y relictos locales de mayor presión fuera del área de estudio (Muñoz y Hervé, 2000; Oyarzún, 1982; Oyarzún y Clemmey, 1986).

Hacia el este la Serie Occidental se encuentra en contacto por medio de la Zona de Falla Gastre (ZFG) con la Serie Oriental del basamento metamórfico a la cual infrayace (Burón *et al.* 2003). En inconformidad sobre la Serie Occidental se dispone una cobertura cenozoica compuesta de sedimentitas marinas de edad Mioceno-Plioceno, y depósitos sedimentarios de origen eólico y fluvial del Pleistoceno-Holoceno. Estos se ubican principalmente entre la costa y el flanco occidental de la Cordillera de la Nahuelbuta.

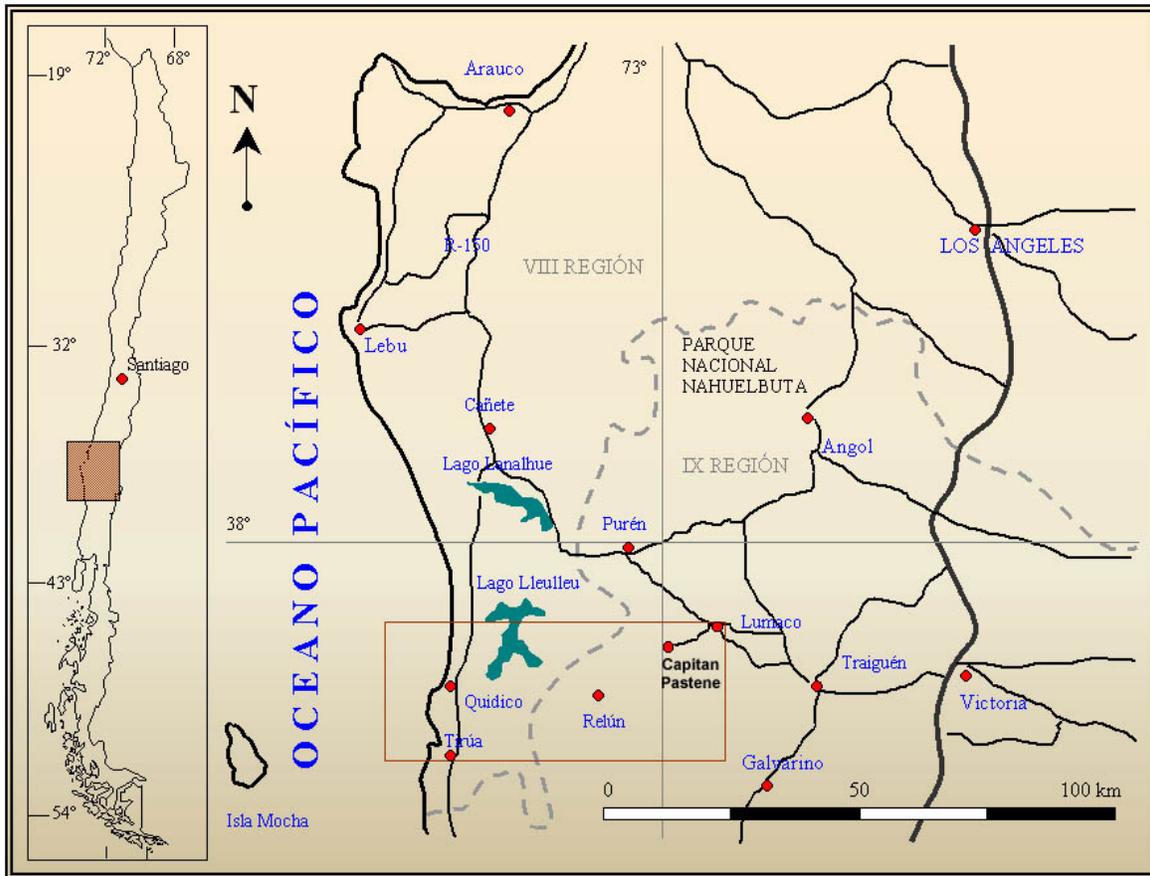


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio.

## PETROGRAFÍA

La litología más dominante en el área corresponde a esquistos pelíticos a semipelíticos (EPS), los cuales incluyen intercalaciones lenticulares de metabasitas y horizontes de metacherts ferríferos. Los EPS son rocas de grano grueso y color gris oscuro, que poseen bandas y lentes ricos en cuarzo intercalados entre bandas enriquecidas en mica blanca, clorita, material grafitico y albita porfiroblástica. Esta alternancia define planos de esquistosidad de separación milimétrica que constituyen una foliación penetrativa a nivel mesoscópico. La asociación mineralógica típica en EPS consta de cuarzo, mica blanca, albita, clorita, biotita y granate, con óxidos de hierro, esfeno, epidota y grafito como accesorios.

Las metabasitas son rocas de color verde claro a pardusco de aspecto más masivo y granular que los EPS. Ellas constituyen cuerpos lenticulares de espesores decimétricos a métricos (0,2 a 3 m) incluidos en esquistos cuarzofeldespático-micáceos y esquistos cuarzomicáceo-granatíferos, presentando contactos concordantes a la foliación principal. Los mejores afloramientos de metabasitas se encuentran en los acantilados costeros al sur de la localidad de Quidico. A nivel microscópico las metabasitas presentan una foliación continua definida por la orientación preferencial de anfibola (actinolita), albita y clorita. Esta foliación se encuentra atravesada a bajo ángulo por superficies de cizalle definiendo un *clivaje de shear band*. Las fases accesorias son esfeno, epidota y minerales opacos.

Los metacherts son rocas masivas bandeadas compuestas principalmente de cuarzo, magnetita y limonita. Ellos muestran una alternancia de horizontes milimétricos rojizos ricos en magnetita y horizontes cuarcíferos. En afloramiento exhiben una pátina de color negro y pueden presentar costras y nódulos de limonitas. Estas rocas tienen una amplia distribución en el área pero tienen una mayor representación en la zona de Mahuilque-Relún.

### **ESTRUCTURAS MESOSCÓPICAS**

Las rocas expuestas en el área muestran elementos estructurales tales como foliación, lineación y plegamiento que evidencian en su conjunto la intensa deformación dúctil a la que han sido sometidas.

**Foliaciones:** Las rocas de la Serie Occidental se encuentran fuertemente deformadas presentando una foliación de tipo milonítico y desarrollo de bandas de cizallamiento a escala mesoscópica (Fig. 2a). Esta corresponde a una esquistosidad penetrativa  $S_1$ , constituida por un fino bandeamiento en el cual alternan dominios micáceos a feldespático-micáceos con bandas cuarcíferas. Su rumbo a lo largo de la zona de estudio es variable, mostrando manteos generales de bajo ángulo (Fig. 3a). A la foliación principal  $S_1$  se le sobrepone una foliación secundaria  $S_2$  que se manifiesta en los EPS como un clivaje espaciado no siempre presente. En el sector costero entre Quidico y Tirúa,  $S_2$  se desarrolla como una foliación compuesta  $S_{1-2}$  de bajo ángulo (Fig. 2c), distinguiéndose plegamiento isoclinal intrafolial de bandas de cuarzo, cuyo plano axial es paralelo a la foliación (Fig. 2b). En la localidad de Quidico  $S_{1-2}$  presenta un rumbo de tendencia NE y un manteo suave al NW. Hacia el interior  $S_2$  se desarrolla con variado ángulo de manteo hacia el este y rumbos variables entre NW y NE. En el diagrama de polos construido para  $S_2$  se observa claramente una distribución bimodal de los polos cercanos al centro del círculo primitivo, indicando dos poblaciones de datos de rumbos NNE y NNW, cuyos manteos respectivos al NW y NE muestran una baja a moderada inclinación. La orientación principal es  $N21^\circ E/7^\circ NW$  y representa al valor promedio de estas dos familias de planos en el área de estudio más que a la  $S_2$  generalizada. (Fig. 3b).

**Plegamiento:** En el área de estudio se han reconocido dos grandes anticlinorios de varios kilómetros de extensión, cuyos ejes presentan una orientación aproximada N-S. Estas estructuras son formadas por pliegues más pequeños de decenas a cientos de metros de longitud de onda definidos por la variación del manteo de la foliación principal.

Lineaciones: La observación en terreno del área de estudio muestra que la mayoría de las rocas tienen una fábrica constituida por elementos planares y lineales (*tectonitas S-L*), cuyas lineaciones de estiramiento en  $S_1$  indican una orientación N-S. El diagrama de polos muestra una actitud principal:  $N8^\circ E/11^\circ SW$ . Sobre los planos de foliación  $S_{1-2}$  la lineación de estiramiento se encuentra bien representada, principalmente en la costa en Quidico. Allí las varillas (*rods*) de cuarzo muestran una dirección constante NW-SE, y plunge variable entre  $2^\circ$  y  $42^\circ$ . El diagrama de densidad de polos que los representa los muestra junto a la lineación de crenulación sobre los planos  $S_2$  y  $S_{1-2}$ . El ploteo de estos datos muestra un promedio de azimut y buzamiento  $N31^\circ W/10^\circ NW$ . Finalmente al plotear todos los datos de lineaciones minerales, de estiramiento y de crenulación sobre una diagrama equiareal se observa una fuerte concentración de puntos en la N-S, con medidas de buzamiento principalmente al sur (Fig. 3c). La media resultante en este diagrama es  $N7^\circ E/9^\circ SW$ .

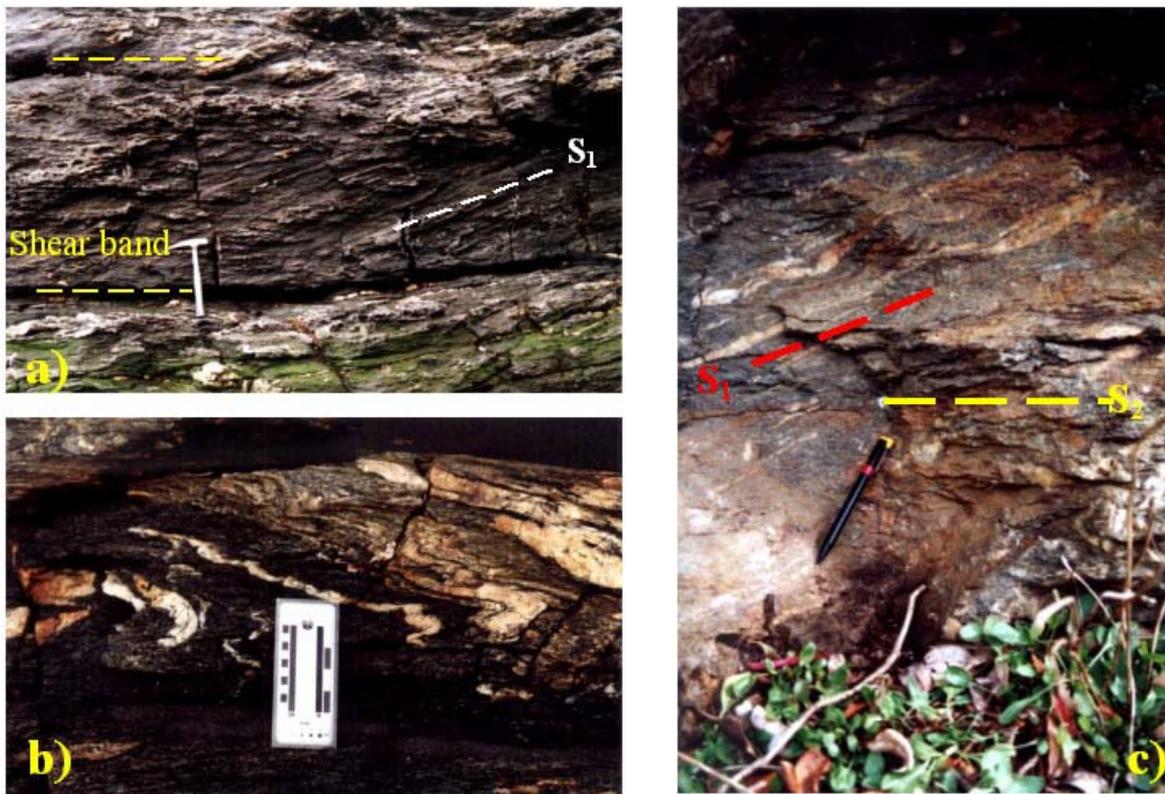


Figura 2: a) Afloramiento de EPS mostrando la foliación  $S_1$  oblicua afectada por bandas de cizallamiento subhorizontal. b) Plegamiento isoclinal intrafolial de bandas de cuarzo en EPS. c) Se observa una foliación  $S_1$  inclinada y afectada por  $S_2$  subhorizontal.

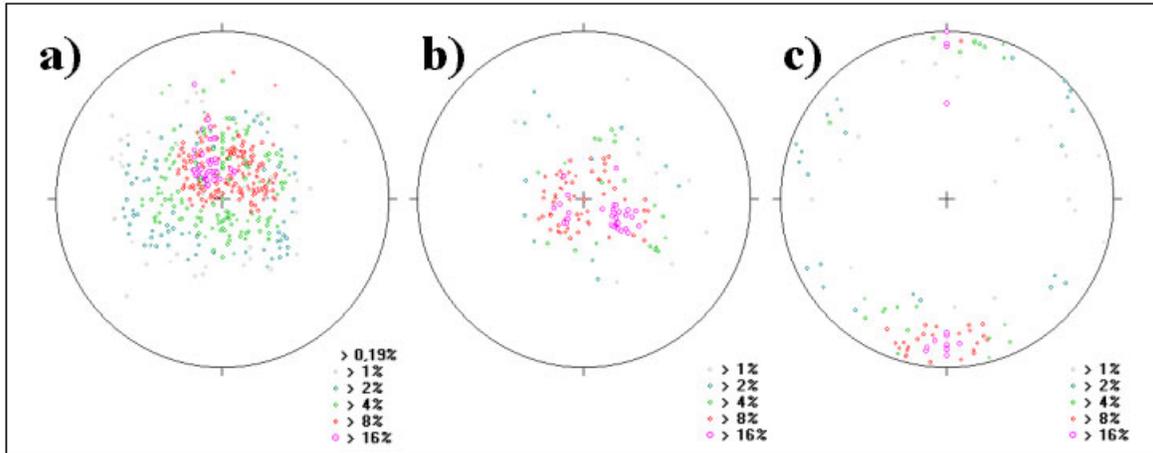


Figura 3: Diagramas de polos obtenidos para estructuras medidas en rocas de la Serie Occidental. a) diagrama de polos para foliación  $S_1$  (534 datos). (b) diagrama de polos para foliación  $S_2$  (140 datos). c) diagrama de polos para lineaciones de estiramiento (103 datos).

### MICROFÁBRICA

Las rocas de interés han sido estudiadas mediante el análisis de secciones delgadas orientadas paralelas a las lineaciones de estiramiento, con el objetivo de definir los elementos microestructurales que caracterizan a la deformación dúctil y determinar el sentido del transporte tectónico.

Las rocas deformadas corresponden principalmente a milonitas y protomilonitas cuya matriz contiene mayoritariamente mica blanca, con menor proporción de biotita y clorita. Dicha matriz se desarrolla en forma de dominios lepidoblásticos que alternan con bandas y lentes de cuarzo, definiendo una esquistosidad espaciada. Inmersos en la matriz micácea se encuentran abundantes porfiroblastos de albita los cuales forman estructuras sigmoidales.

El cuarzo se presenta en forma de lentes y bandas granoblásticas compuestas por agregados policristalinos de fábrica inequigranular interlobulada a seriada interlobulada. Ellas muestran migración de los límites de granos, extinción ondulosa, deformación lamelar y desarrollo de subgranos alargados oblicuos o paralelos a la foliación principal (Fig. 4d). También son abundantes las cintas elongadas (*ribbons*) en el sentido de la foliación principal, limitadas por mica blanca y clorita. El cuarzo en la matriz se presenta con texturas similares pero con tamaño de grano más pequeño.

La mica blanca presenta generalmente un hábito tabular con cristales subhedrales a euhedrales en bandas lepidoblásticas subparalelas a la foliación principal. También se reconoce mica blanca curvada y replegada entre superficies de cizallamiento, o bien desarrollando un clivaje de crenulación. Asociada a mica blanca ocurre biotita como cristales tabulares subhedrales parcialmente reemplazados por clorita. Estos se encuentran dispuestos siguiendo la foliación principal, o bien en lentes intrafoliales plegados isoclinalmente. Además se reconocen algunas secciones basales euhedrales levemente cloritizadas que están dispersas en la matriz.

La clorita se dispone subparalelamente a la foliación exhibiendo frecuentemente un intenso color de interferencia en tonos verdes y un hábito fibroso.

El granate se ha reconocido en dos generaciones: a) como porfiroblastos anhedrales de hasta 5 mm con intenso fracturamiento polidireccional relleno por óxidos de hierro, y sombras de deformación constituidas por clorita azul y cuarzo; b) como pequeños cristales euhedrales a subhedrales dispersos en la matriz, que se encuentran asociados a bandas de cuarzo.

La albita ocurre generalmente como granos subhedrales porfiroblásticos, cuyo tamaño varía entre 0,4 y 5 mm. En la mayoría de los casos se constituye como objetos sigmoidales que presentan inclusiones de cuarzo en forma de gotas e inclusiones de material grafitico en trends lineales y curvos que presentan continuidad con la foliación externa. Los apéndices de estas estructuras están constituidos por agregados policristalinos de cuarzo, clorita y mica blanca (Fig. 3a y 3b). Localmente se desarrollan *ribbons* monocristalinos de albita, elongados según la foliación principal.

El anfíbol presente en metabasitas corresponde a actinolita, cuyos cristales de aspecto tabular muestran una marcada orientación paralela a la foliación principal. Estos cristales además definen superficies de cizallamiento que constituyen un clivaje de shear band (Fig. 4c).

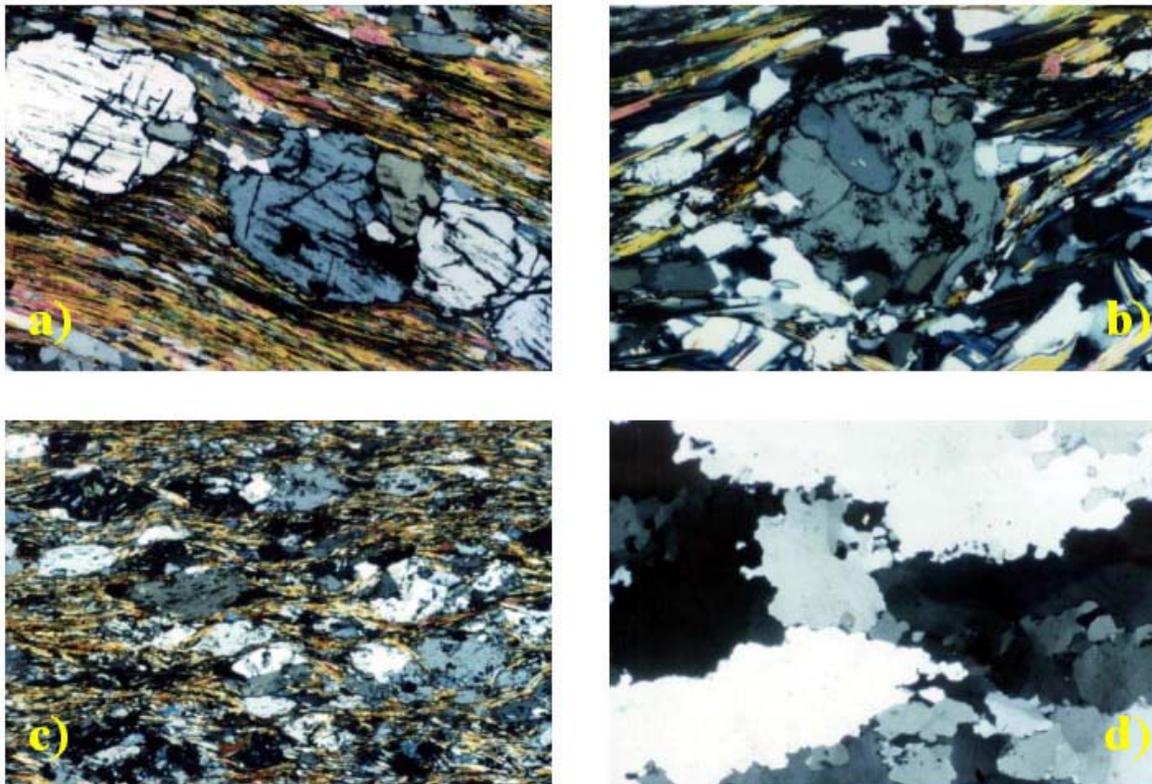


Figura 4: a) Porfiroblastos microfracturados de albita con inclusiones grafiticas rectas, paralelas a la foliación externa. b) Porfiroblasto de albita con apéndices de cuarzo y mica blanca. c) Metabasita con clivaje de shear band y porfiroblastos de albita en una matriz nematoblástica. d) Bordes irregulares de cuarzo por migración de los límites de grano y desarrollo de nuevos granos, en EPS. Ancho de las fotos 3 mm.

## CONCLUSIONES

En el área de estudio, la Serie Occidental está constituida principalmente por EPS y, en menor medida, por lentes de metabasitas e intercalaciones de metacherts ricos en hierro. En estas últimas litologías se reconocen estructuras de carácter primario ( $S_0$ ), conservadas debido a su alta competencia. Las metabasitas se encuentran incluidas en secuencias de EPS, presentando contactos concordantes a la foliación principal. Los EPS presentan un alto grado de deformación con desarrollo de una foliación de tipo milonítica.

El estudio estructural de campo en la Serie Occidental del área de estudio ha permitido distinguir una esquistosidad penetrativa  $S_1$  de rumbo variable y manteo de bajo ángulo, mostrando plegamiento abierto del orden de  $10^1$  a  $10^2$  metros de longitud de onda. Sobre esta foliación se sobrepone un clivaje espaciado  $S_2$  de manteo general al este. En la zona costera se desarrolla una foliación compuesta  $S_{1-2}$  de bajo ángulo de manteo hacia el oeste. Las lineaciones de estiramiento regionales entregan una dirección N-S y NW-SE para el transporte tectónico. A través del análisis de microestructuras en secciones delgadas paralelas a estas lineaciones, se han identificado porfiroblastos en estructuras sigmoidales, superficies *S-C* y micropliegues, los cuales indican que el sentido para dicho transporte es hacia el norte y noroeste, respectivamente.

A través del estudio de las microfábricas se han determinado los siguientes mecanismos de deformación en las rocas de la Serie Occidental: 1) flujo cristaloplástico evidenciado por *ribbons* de cuarzo y albita; 2) recristalización dinámica, manifestada por agregados policristalinos de cuarzo con bordes irregulares por migración de límites de grano; 3) deformación intracristalina en cuarzo con extinción ondulosa y deformación lamelar; y 4) disolución por presión, reflejada por sombras de deformación en torno a albita y granate. Los procesos de recuperación son evidenciados por el desarrollo de subgranos en cuarzo y texturas poligonales.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la cooperación científica entre el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción (Chile) y el GeoForschungsZentrum Potsdam (Alemania) en el marco del Megaproyecto SFB-267 “*Procesos de deformación en los Andes*”. Se agradece a ambas instituciones por el apoyo logístico brindado en el desarrollo de este trabajo y en especial a GFZ Potsdam por el financiamiento y por permitir esta publicación.

## REFERENCIAS

- Aguirre, L., Hervé, F. y Godoy, E. 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile an outline. *Kristallinikum*. Vol. 9. p. 7-19.
- Alvarez, O. 1970. Estudio Geológico de los yacimientos de hierro de la Cordillera de Nahuelbuta. Provincias de Arauco, Malleco y Cautín. Tesis para optar al título de geólogo. Universidad de Chile. Departamento de Geología. Santiago. Chile. 162 pp.
- Barker, A. 1990. Introduction to Metamorphic textures and microstructures. Britain by Thomson Litho Limited, East Kilbride, Scotland. 162 pp. Great Britain.
- Burón, P., Ardiles, M., Echtler, H., Figueroa, O. y Glodny, J. 2003. Análisis estructural y petrográfico del contacto entre las Series Oriental y Occidental del Basamento Paleozoico, Zona de Falla Gastre a los 38°15'S, Cordillera de Nahuelbuta, Chile. Este Congreso.

- Collao, S. y De Almeida, D. 1996. El origen de las mineralizaciones de hierro y manganeso del Basamento Metamórfico del centro sur de Chile: Petrografía, Mineralogía y Geoquímica. *Acta Geológica Leopoldencia*. 1996. N° 43, Volumen XIX. p. 167-180.
- Glodny, J., Lohrmann, J., Siefert, W., Gräfe, K., Echtler, H. y Figueroa, O. 2002. Geochronological constraints on material cycling velocities, structural evolution, and exhumation of a paleo-accretionary wedge: The Bahia Mansa Complex, South central Chile. *In* The 5<sup>th</sup> International Symposium on Andean Geodynamics. IRD. Toulouse, Francia. 259-262.
- Gonzalez-Bonorino, O. 1970. Series Metamórficas del Basamento Cristalino de la Cordillera de la Costa, Chile Central. Publicación 37. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 90 pp.
- Hervé, F. 1977. Petrology of crystalline basement of the Nahuelbuta Mountains, South Central Chile. *In* Comparative Studies on the Geology on the Circumpacific Orogenic Belts in Japan-Chile. T. Ishikawa y L. Aguirre (Eds.). Japan Society for the Promotion of Science. p. 1-51.
- Hervé, F. 1988. Late Palaeozoic Subduction and accretions in Southern Chile. *Episodes*. Vol. 11. p. 183-188.
- Kato, T. 1985. Pre- Andean orogenesis in the Coast Ranges of Central Chile. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. 26. p. 918-924.
- Mercier, J. y Vergely, P. 1999. *Tectónica*. Editorial Limusa, S.A. 259 pp. México.
- Muñoz, V. y Hervé, F. 2000. Condiciones de alta presión-baja temperatura para la Serie oeste del Basamento metamórfico Paleozoico, en base a clorita, cymrita y mica blanca en sulfuros masivos de Pirén Alto. IX Congreso Geológico Chileno. Puerto Varas. Chile. 2000. Vol. 1. p. 654-658.
- Oyarzún, R. 1982. Geology and geochemistry of the banded iron formation in the Nahuelbuta Mountains, Chile. Ph. D. Thesis. The University of Leeds. Earth Sciences Department. 266 pp.
- Oyarzún, R. y Clemmey, H. 1986. Las mineralizaciones bandeadas de hierro y sulfuros masivos estratoligados de la Cordillera de Nahuelbuta, Chile. Tomo 2. *In* Geología y recursos minerales de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. Chile. p. 239-273.
- Passchier, C. y Trouw, R. 1998. *Microtectonics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 289 pp. Germany.
- Vásquez, P. 2001. Petrología y geotermobarometría del basamento metamórfico de la Cordillera Nahuelbuta, VIII Región, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo (inédito). Universidad de Concepción. Departamento de Ciencias de la Tierra. Concepción. Chile. 155 pp.