

**METAMORFISMO Y DEFORMACION JURASICA TARDIA EN PUERTO EDEN, MAGALLANES, CHILE**

Calderón, M.<sup>1</sup>, Godoy, E.<sup>2</sup>, Hervé, F.<sup>1</sup>, Fanning, M.<sup>3</sup>

**INTRODUCCION**

En los alrededores de Puerto Edén, provincia de Ultima Esperanza, Magallanes (Fig. 1 y 2), aflora un conjunto de esquistos y gneisses migmatíticos intruidos por leucogranitos, granitos porfídicos y granodioritas de probable edad jurásica tardía a cretácica tardía, aquí denominado Complejo Igneo-Metamórfico de Puerto Edén. En este trabajo, se retoma el único estudio disponible, publicado hace 36 años (1), y se analizan las relaciones entre metamorfismo y deformación en dicho complejo. Gran parte de los datos expuestos han sido extraídos de la memoria de título del primer autor (2).

En el “basamento metamórfico” de los Andes Patagónicos al sur de los 45°S (3,4), las edades de sedimentación varían desde el Pérmico Temprano al Triásico Tardío. Las rocas plutónicas, por otra parte, habrían intruido desde el Jurásico Tardío hasta el Mioceno Temprano (5,6), con un máximo de actividad magmática durante el Cretácico Tardío, rango en el cual se ubica la única edad conocida en la zona de estudio (98.5 Ma, Ar-Ar en biotita de tonalita) (7).

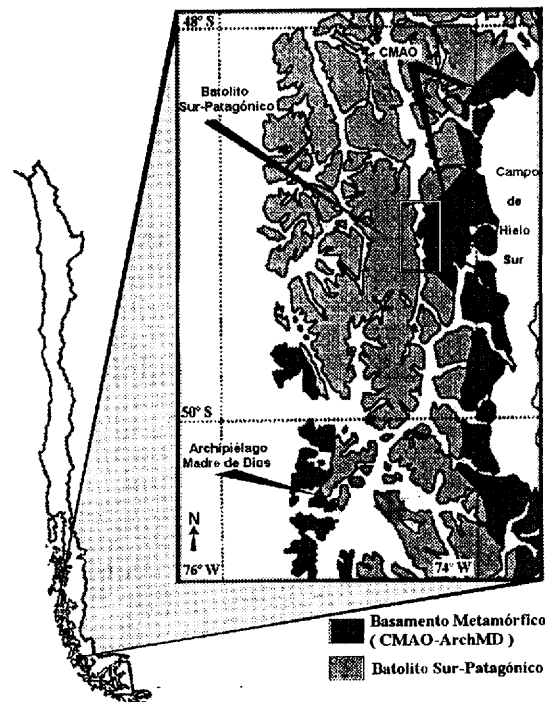


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

**EL COMPLEJO IGNEO-METAMORFICO DE PUERTO EDEN (CIMPE)**

**Petrografía**

En este complejo se distinguen los siguientes tipos litológicos, los tres primeros indiferenciados arealmente en la figura 2:

- Esquistos de Biotita. Se les reconoce en el extremo NNE del Seno Duque y con variado grado de tanto cornificación como de generación de delgados lentes de composición granítica, hacia el norte de la Punta Paraíso y en el sector al sur de Puerto Río Frío. Se componen de folias con biotita y mica blanca que alternan con bandas de cuarzo-albita, esta última tanto relictas, con maclas polisintéticas, como neocrystalina nodular, de incipiente textura helicítica.
- Esquistos de Andalucita. Abundan en la costa oriental y al SE del Canal Paso del Indio, incluido el interior del Seno Duque. La andalucita alcanza hasta los 5 cm de longitud y 1cm de diámetro en lentes métricos de cuarzo. Su tamaño se reduce a entre 1 y 3 cm de longitud y diámetros menores que 0.5 cm en aquellos cristales confinados a las bandas micáceas. Estas se componen por biotita y mica blanca, la primera también como porfiroblastos postectónicos. Tal como se aprecia en las figuras 2b y 2c, estas rocas contienen porfiroblastos de andalucita sigmoidal y albita aboudinada. En una muestra de estos esquistos, recolectada en Punta Halliday, se da a conocer la presencia de estauroilita como núcleo relicto en porfiroblastos de andalucita (1).

<sup>1</sup> Departamento de Geología, Universidad de Chile, Pza. Ercilla 803, Santiago, Chile. macalder@cec.uchile.cl fherve@cec.uchile.cl

<sup>2</sup> Servicio Nacional de Geología y Minería. egodoy@sernameomin.cl

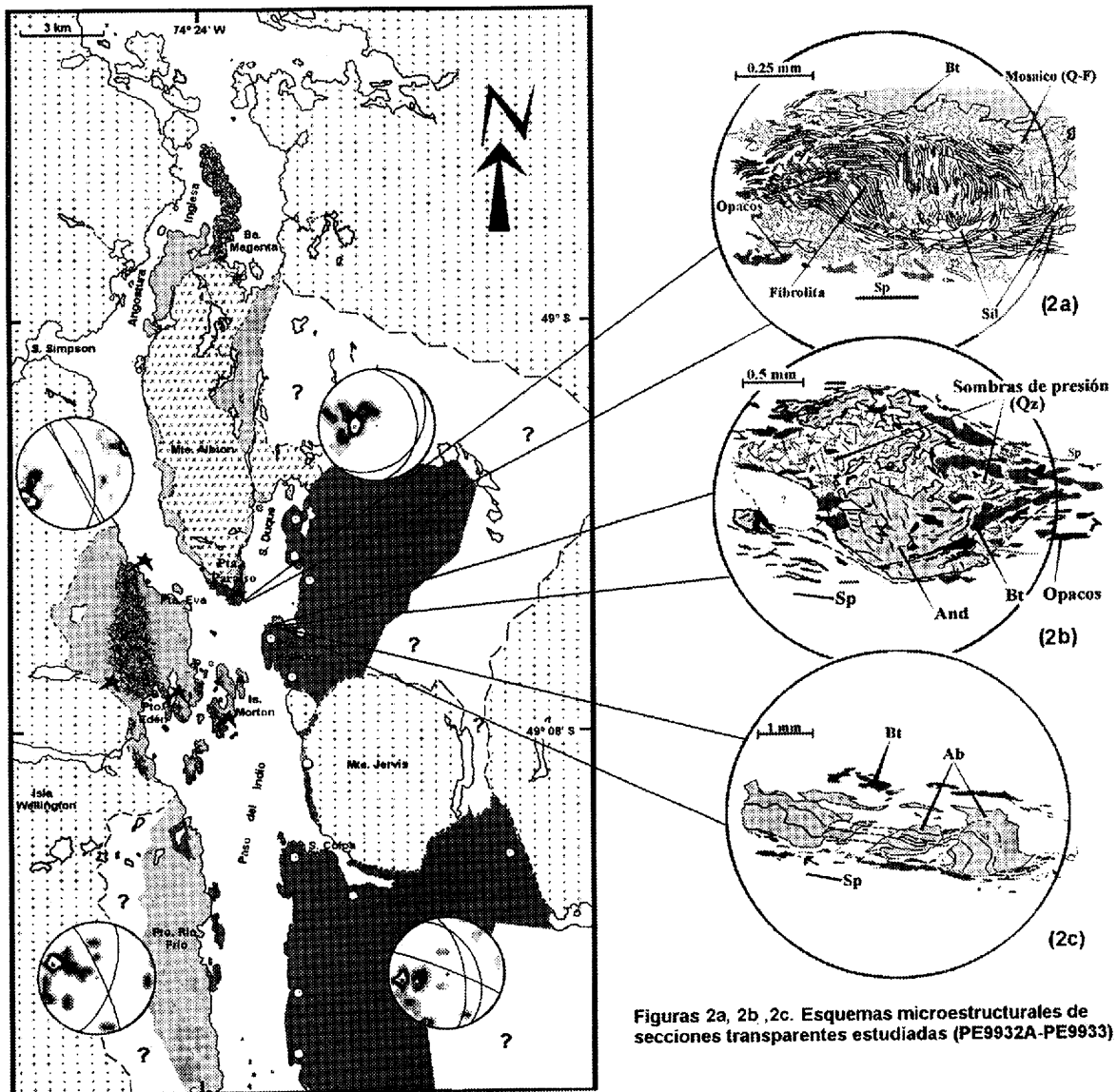
<sup>3</sup> Research School of Earth Sciences, The Australian National University, Canberra Act 0200, Australia.

- Esquistos de Sillimanita. Afloran principalmente en dos localidades: Punta Paraíso e Isla Morton. Son esquistos cuarzo-feldespáticos de dos micas, cornificados, que presentan delgadas bandas micáceas. Estas, de formas anastomosadas, se componen casi en totalidad de biotita titanífera, sobre la cual crecen en forma epitáxica los microcristales de fibrolita. Esta última llega a constituir folias, dentro de las cuales pueden encontrarse cristales de sillimanita de hasta 0.4 mm de diámetro. La biotita incluye, además, numerosos circones de halos metamicticos, los cuales alcanzan hasta 0.1 mm al encontrarse en mica blanca. Los circones de uno de estos esquistos, recolectado en Punta Paraíso fueron datados por el método U-Pb cristal individual.
- Gneisses migmatíticos de Sillimanita. Predominan en Puerto Edén, islas ubicadas al SSE y 2 km al norte de Punta Eva. Están formados por una masa granítica con recristalización dinámica avanzada dentro de la cual se reconocen tanto inclusiones micáceas como cuarcíticas, elipsoidales y alargadas. Las primeras presentan cristales milimétricos de sillimanita. Esquistos que muestran etapas incipientes de migmatización afloran al W de Puerto Edén como al NE de la Angostura Inglesa y en Isla Morton. Su reducido leucosoma está compuesto por cuarzo, feldespato potásico además de biotitas débilmente orientadas. El melanosoma lo constituyen bandas disgregadas de esquistos, las cuales pasan gradualmente a constituir las inclusiones antes nombradas.
- Granito Porfídico. Aflora en los alrededores del Monte Albion, extendiéndose hasta el sur de la Bahía Magenta. Sus fenocristales son de feldespato potásico, con tamaños variables entre 2 y 4 cm, los que han crecido en una masa granítica de biotita de grano medio. Al SW de Monte Albion desarrolla una marcada foliación subvertical.
- Leucogranitos. Su distribución espacial es ubicua en las rocas del CIMPE. Principalmente se presentan como blancos filones de grano fino a medio, microporfídicos, que intruyen tanto de modo discordante como concordante el basamento. La formación de abundante feldespato potásico en algunos bordes de roca huésped y enclaves metamórficos insinúan una relación genética entre los leucogranitos y el granito porfídico. El máfico más característico es la biotita, junto a la cual es común observar granates de tamaños menores que 0.5 cm y micas blancas con texturas de reacción hacia los bordes, las cuales tienden a rodear al cuarzo y plagioclasa.
- Granodioritas, Tonalitas y Dioritas. Estas rocas predominan en gran parte de la Isla Wellington cercana a Pto. Edén (1) y en el Monte Jervis, donde están rodeadas por una franja de esquistos de andalucita muy cornificados. Constituyen también un extenso cuerpo que aflora a partir de 5 km al Este del Seno Colpa. Las dioritas afloran de preferencia directamente al sur del Seno Simpson. El máfico predominante en ellas es la biotita, comúnmente cloritizada, seguida en abundancia por anfíbola, ésta última más frecuente en facies marginales granodioríticas. La edad radiométrica citada en la introducción (98.5 Ma) proviene de tonalitas con inclusiones máficas subverticales, orientadas NW, que afloran 10 km al sur de Puerto Edén.
- Filones sinplutónicos. En los granitoides anteriores, pero no en los intrusivos leucograníticos, se reconocen numerosos cuerpos máficos disgregados que corresponden a pulsos de magmas básicos sinplutónicos. Constituyen un rasgo muy característico del granito porfídico.
- Abundantes rocas filonianas andesíticas tardías, de uno a dos metros de espesor y orientaciones NS y NW, se reconocen en todos los tipos litológicos anteriores.

### Estructuras

La foliación principal en las rocas metamórficas del CIMPE es definida por pliegues sigmoides e isoclinales registrados en bandas de cuarzo, las que comúnmente se encuentran desarraigadas. Existen evidencias de que ha traspuesto a otra foliación penetrativa, por lo que se trataría al menos de una S2 asociada a un segundo evento deformativo. Un tercer evento de menor intensidad sería responsable de las discretas bandas de encarrujamiento existentes. Los planos de foliación más representativos de cuatro áreas (Puerto Río Frío, Seno Colpa - SE Paso del Indio, Puerto Edén y Seno Duque) han sido incorporados en la figura 2.

En las zonas de los senos Duque y Colpa, se aprecia una rotación del rumbo de Sp, posiblemente asociada al intrusivo del Monte Jervis. De las otras dos zonas, se puede destacar la subverticalidad de la foliación, de rumbo general NNW.



Figuras 2a, 2b, 2c. Esquemas microestructurales de secciones transparentes estudiadas (PE9932A-PE9933)

Figura 2. Geología de los alrededores de Puerto Edén

**Simbología**

- Esquistos de Biotita, Andalcuita y Sillimanita
- Granodioritas, Tonalitas y Dioritas
- Esquistos intruidos por filones leucograníticos
- Gneissos migmatíticos de Sillimanita
- Granito porfídico
- Sillimanita
- Andalcuita
- Contacto desconocido
- Contacto inferido por fotos aéreas



Diagrama de contorno de polos de la foliación principal y planos más representativos.  
 - Número de planos graficados por zona:  
 Pto. Río Frío: 16  
 S.Colpa - SE Paso del Indio: 30  
 Pto. Edén: 37  
 S.Duque - NE Paso del Indio: 31

Abreviaciones:  
 Ab=albita; And=andalcúita; Bt=biotita; Q-F=cuarzo feldespático  
 Qz=cuarzo; Sil=sillimanita; Si=foliación interna; Sp=foliación principal

### Geocronología

Se realizaron 20 determinaciones de edad en 12 cristales de circón por el método U/Pb en el SHRIMP (Fig. 3). En 4 de los 8 granos en que se observó un núcleo y un delgado borde bien delimitado, este último dió edades entre  $147 \pm 2$  y  $159 \pm 2$  Ma. Dos de los bordes dieron edades de  $191 \pm 2$  y  $198 \pm 2$  Ma y los dos restantes  $269 \pm 3$  y  $274 \pm 4$  Ma. Adicionalmente, en el borde de un cristal sin núcleo bien delimitado se obtuvo una edad de  $148 \pm 2$  Ma. Los 8 núcleos, así como 3 bordes en cristales sin obvia zonación dieron edades variables entre 235 y 550 Ma y una de 2.8 Ga.

La gran dispersión de edades sugiere un protolito sedimentario para el esquisto. Si bien las 5 edades más jóvenes, del Jurásico Tardío, podrían ser interpretadas como la edad máxima de dicho protolito, en caso que los circones fueran enteramente detríticos, el aspecto de sus delgados bordes indican un crecimiento en condiciones metamórficas de alto grado.

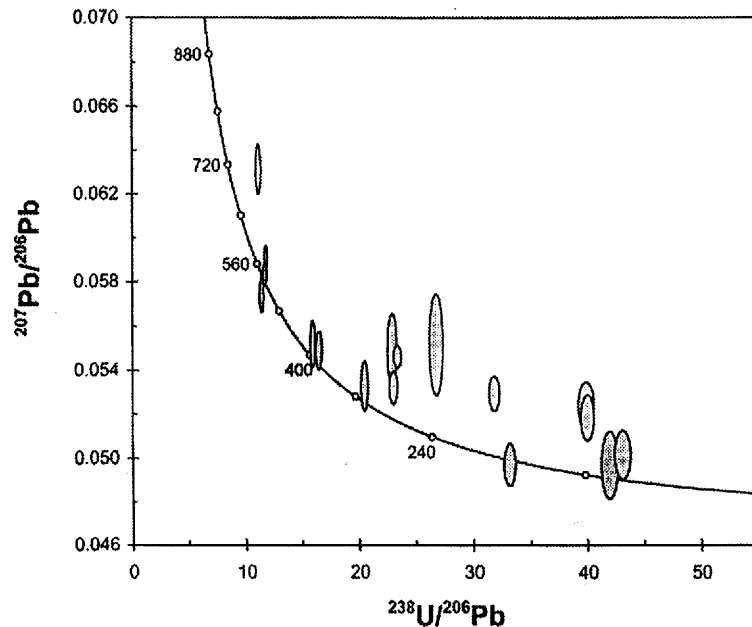


Figura 3. Resultados de datación U-Pb en el SHRIMP, realizadas en circones de la muestra PE9932A. Elipses de error 1 Sigma.

### RELACIONES ENTRE METAMORFISMO Y DEFORMACION

Se ha propuesto en la zona una reactivación del metamorfismo "durante la evolución de las rocas intrusivas del Batolito Patagónico", la cual sería responsable de la formación de andalucita en ambiente de "esfuerzo de cizalle deficiente" (1). Las observaciones aquí realizadas reconocen evidencias tanto de deformación como neocrystalización polifásica. Así, en Punta Paraíso y al norte de Puerto Río Frío se aprecia que la foliación principal S2 ha traspuesto a una foliación penetrativa preexistente. Las observaciones al microscopio y la datación de circones aquí presentada, sin embargo, muestran que no sólo la andalucita sino que también la sillimanita y nódulos de plagioclasas están involucrados en eventos deformativos y metamórficos del Jurásico Tardío. En la figura 2 se han ilustrado microestructuras registradas por estos minerales, los que habrían crecido en diferentes fases del metamorfismo.

En la figura 2a, un esquisto de sillimanita de Punta Paraíso, se aprecia que la fibrolita forma tanto agregados ovoidales subperpendiculares a la foliación principal como folias entre las bandas granoblásticas de cuarzo y feldespato. Este modo de crecimiento de la fibrolita ha sido interpretado de dos maneras distintas: reacciones de metasomatismo en biotitas durante el metamorfismo de contacto (8), en cuyo caso podría tratarse de una microestructura heredada de folias crenuladas de biotitas, o, crecimiento simultáneo de fibrolita, tanto en crenulaciones residuales como en folias (9).

La figura 2b, por otra parte, muestra colas sigmoidales de andalucita en un esquisto de Punta Halliday, las que se habrían desarrollado durante una rotación del porfiroblasto. La ausencia de deformación hacia el centro del cristal mayor y el comportamiento rígido del cristal, opuesto al plástico de los bordes del mineral, indican que un evento térmico habría antecedido al deformacional.

Finalmente, la albita con microestructura helicítica ilustrada en la figura 2c, proveniente de la misma sección transparente anterior, registra un marcado aboudinamiento paralelo a la foliación principal. Este comportamiento de la andalucita y la albita apoyarían la segunda posibilidad discutida en la figura 2a para el crecimiento de la fibrolita, esto es, su crecimiento simultáneo con el desarrollo de la foliación principal.

## CONCLUSIONES

A diferencia de lo expresado anteriormente para el área (1), no se aprecia una clara polaridad hacia el oriente en el grado metamórfico. Más bien se observa una extensa zona oriental compuesta por esquistos de andalucita, cuya continuidad es interrumpida por ocasionales sectores de esquistos de biotita y mica blanca. Una franja occidental está insinuada por afloramientos de distribución irregular de esquistos y/o gneisses migmatíticos de fibrolita, los cuales sólo, en casos puntuales, presentan cristales milimétricos de sillimanita. Mientras los gneisses migmatíticos se asocian a una fusión in situ, los abundantes filones leucograníticos indicarían procesos de fusión parcial en niveles no muy inferiores al basamento cornificado.

Los bordes de circones en las rocas metamórficas del CIMPE registran un evento metamórfico de alto grado durante el Jurásico Tardío. De las microestructuras de minerales descritas en este trabajo, fibrolita, andalucita y albita recristalizadas y/o aboudinadas, se concluye que existe una estrecha relación entre esta neocrystalización, asociada a dicho metamorfismo, y los eventos deformativos responsables del desarrollo de la foliación principal S2.

La fuente de calor del metamorfismo Jurásico Tardío tendría relación con el granito porfídico, el cual, por encontrarse en estrecha relación espacial con la muestra de esquistos datada, puede presentar semejante edad. La similitud entre el leucosoma de los gneisses migmatíticos y el granito porfídico también apoya esta relación genética.

Otras rocas graníticas de edad jurásica han sido descritas hacia el antepaís (10) y tanto hacia el sur (5) como hacia el norte (7) del batolito patagónico. Estos últimos autores describen una situación semejante a la propuesta para el norte de la zona de estudio, donde se distingue una concentración de plutonismo Cenozoico a lo largo del sistema de fallas de Liquiñe-Ofqui. El granito porfídico parcialmente foliado aquí descrito, de supuesta edad jurásica tardía, se ubica en el margen oriental del batolito.

## AGRADECIMIENTOS

Esta contribución, financiada por el Proyecto Fondecyt 1980741 y la Cátedra Presidencial en Ciencias otorgada a F. Hervé, es un aporte al Proyecto PICG 436 (Margen Pacífico de Gondwana). Las dataciones se realizaron en la Australian National University. Se agradece tanto a Claudia Tascón como a la delegación municipal y habitantes de Puerto Edén, por la ayuda brindada durante la campaña de terreno y a Luis Calderón N. por su apoyo en el desarrollo de figuras. El manuscrito fue revisado críticamente por C. Mpodozis.

## REFERENCIAS

1. Watters, W.A. 1964. Geological work at Puerto Edén, Wellington island, southern Chile. Transactions of the Royal Society of New Zeland. Geology. Vol. 2, N 11, p. 155-168.
2. Calderón, M. 2000. Metamorfismo de contacto en el margen oriental del batolito sur-patagónico, entre los 48° - 50° 30' lat. sur, Magallanes, Chile. Memoria de Título de la Universidad de Chile, 86 páginas.
3. Hervé, F.; Aguirre, L.; Godoy, E.; Massone, H.; Morata, D.; Pankhurst, R.J.; Ramirez, E.; Sepúlveda, V. y Willner, A. 1998. Nuevos antecedentes acerca de la edad y las condiciones P-T de los complejos metamórficos en Aysén, Chile. Actas X Congreso Latinoamericano de Geología, Buenos Aires. Vol II, p. 134-137.
4. Hervé, F.; Fanning, M.; Bradshaw, J.; Bradshaw, M. & Lacassie, J.P. 1999. Late Permian shrimp U-Pb detrital zircon ages constrain the age of accretion of oceanic basalts to the Gondwana margin at the Madre de Dios archipiélago, southern Chile. Fourth International Symposium on Andean Geodynamics, Göttingen. Resúmenes expandidos, p. 327-328.
5. Halpern, M. 1973. Regional geochronology of Chile south of 50° latitude. Geological Society of American Bulletin. V. 84, p. 2407-2422.
6. Pankhurst, R.; Weaver, S.; Hervé, F.; Larrondo, P. 1999. Mesozoic-Cenozoic evolution of North Patagonian Batholith in Aysén, southern Chile. Journal of the Geological Society, London. Vol. 156, p.673-694.
7. Bruce, R.; Nelson, E.; Weaver, S.; Lux, D. 1991. Temporal and spatial variations in the southern Patagonian batholith; Constraints on magmatic arc development. Geological Society of America. Special Paper 265.
8. Kerrick, D. 1987. Fibrolite in contact aureoles of Donegal, Ireland. American Mineralogist. V.72, p. 240-254.
9. Vernon, R.H. 1987. Growth and concentrations of fibrous sillimanite related to heterogeneous deformation in K-feldspar - sillimanite metapelites. Journal of Metamorphic Geology. V.5, p.51-68.
10. Welkner, D.R. 2000. Geocronología de los plutones del área del cerro San Lorenzo, XI región de Aysén. Este Congreso.