

## REJUVENECIMIENTO DE EDADES RADIOMETRICAS EN LA ZONA DE FALLA LIQUIÑE-OFQUI, EN AYSÉN.

FRANCISCO HERVE.

*Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile. Casilla 13518, Correo 21, Santiago.*

### RESUMEN

Los granitoides de Puerto Chacabuco, Aysén, dieron una errórcrona Rb-Sr en roca total de  $98 \pm 4$  Ma (DSMP = 6.6) con una razón inicial de  $0.7042 + 0.0001$  (2 $\sigma$ ). Esta edad se interpreta como cercana a la de cristalización del batolito y concuerda con evidencias estratigráficas regionales. Edades K-Ar en biotita y anfíbola de muestras de la isócrona dieron edades comprendidas entre 11 y 17 m.a., las que obviamente son rejuvenecidas. Las muestras analizadas se ubican en una franja de dirección aproximada NS y de unos 30 km de ancho del Batolito Patagónico, cretácico que presenta edades K-Ar y Rb-Sr jóvenes en minerales de menos de 40 Ma. y principalmente entre 10 y 20 Ma, que abarca las principales ramas de la zona de Falla Liquiñe-Ofqui de este sector de Aysén. De ellos se infiere una relación causal entre el desarrollo de la zona de falla y el rejuvenecimiento observado de las edades radiométricas, probablemente por calentamiento friccional y emplazamiento de plutones a lo largo de ella.

### ABSTRACT

A  $98 \pm 4$  Ma. reasonable errorchron (MSWD = 6.6) with  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  initial ratio of  $0.7042 + 0.0001$  (2  $\sigma$ ) was obtained in granitoids of Puerto Chacabuco, which belong to the Patagonian Batholith. This age is interpreted as close to the age of intrusion and cooling of the batholith, and is in accordance with stratigraphic evidence K-Ar ages in biotite and hornblende on samples of the errorchron, yielded age in the range 17 to 11 Ma. The analyzed samples come from a band with young K-Ar & Rb-Sr mineral ages which spans the different branches of the Liquiñe-Ofqui fault zone. This suggests a genetic relation between the development of the fault zone and the resetting of ages, probably through frictional heating of the area and the emplacement of plutons along the shear zone.

### INTRODUCCION

El sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui se extiende por unos 1.000 km desde el Golfo de Penas por el sur hasta la región de Liquiñe en la Provincia de Valdivia (Fig.1).

En su mitad norte, consiste en una rama principal rumbo N10°E, que según Hervé (1976) tiene un desplazamiento transcurrente dextral. En las provincias de Chiloé y particularmente en Aysén, consiste en un sistema de fallas en "cola de caballo", que presentan su concavidad hacia el W. El Golfo de Penas constituye el límite sur de esta megaestructura, cuya relación genética con el punto triple Placa Antártica-Placa de Nazca-Placa Sudamericana parece probable

El sistema de fallas Liquiñe-Ofqui está delineado por valles lineares, fuentes termales, afloramiento de rocas de falla y esporádicos conos volcánicos, especialmente monogenéticos, a lo largo de su traza. Atraviesa principalmente rocas graníticas del batolito nor-patagónico, constituyendo en parte de su extensión su borde occidental como es el caso en Chiloé continental. En otros tramos afecta a rocas metamórficas probablemente paleo-

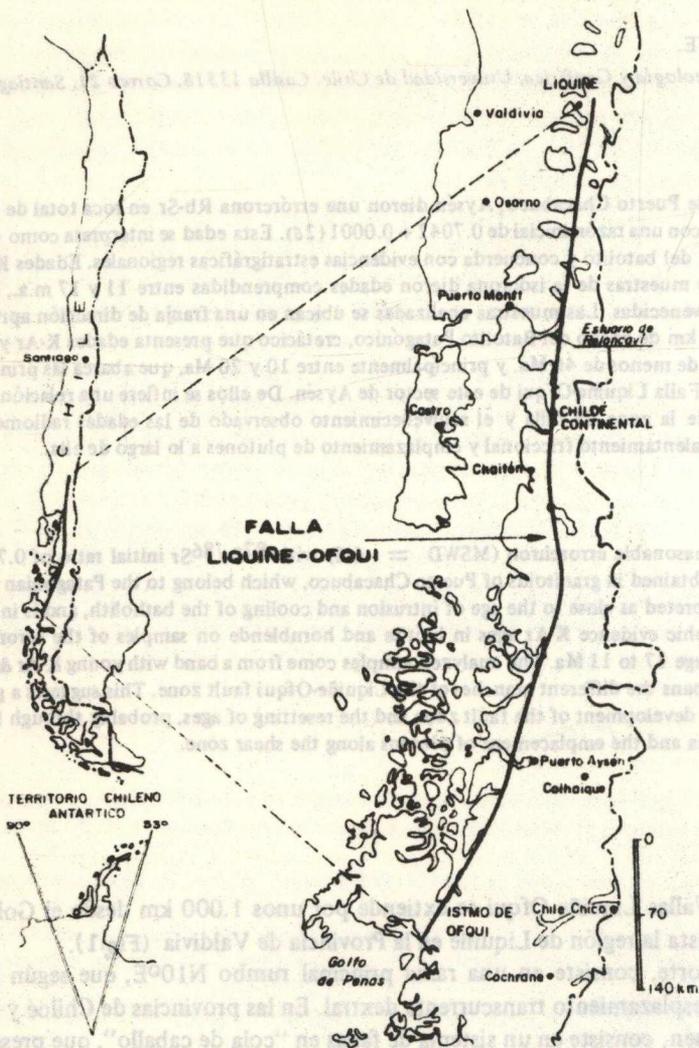


Fig. 1. Mapa de ubicación.

zoicas como en Liquiñe (Hervé, 1976), a rocas sedimentarias de la formación Ayacura (Fuenzalida, 1979) y a rocas volcánicas de edad supuesta Terciario Superior (Solano, 1978; Araya 1979) en Chiloé continental.

En Aysén, las diversas ramas del sistema de fallas se desarrollan principalmente en el Batolito Patagónico, y en ciertos casos delimitan septos de rocas metamórficas en el grani-

to, como es el caso de los metaconglomerados del Queulat. Puerto Chacabuco se encuentra en la prolongación hacia el sur de la traza de la Falla Azul-Tigre (Romero, 1983) rama convexa, meridional del sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui que pone en contacto distintas rocas del Batolito Patagónico.

Si bien la mayoría de los grandes edificios volcánicos se encuentran al E de la traza de la falla principal en la Provincia de Valdivia, no es el caso en Aysén donde grandes volcanes como el Melimoyu o el Mentolat se encuentran bastante hacia el W de sus trazas principales.

Hervé *et al.* (1979) llamaron la atención acerca de la peculiar distribución de las edades radiométricas K-Ar y Rb-Sr en minerales en torno de la falla: los valores más jóvenes, cercanos a los 12 Ma. en la traza de la falla, y edades más antiguas alejándose progresivamente de ella. Se consideró varias posibles alternativas para explicar esta disposición entre las cuales podría considerarse el rejuvenecimiento de las edades, probablemente por calentamiento friccional de las rocas en la zona de falla. Esta posibilidad ha sido discutida por González - Díaz (1982).

En este trabajo se presentan evidencias radiométricas que permiten interpretar con bastante seguridad, que las edades jóvenes K-Ar y Rb-Sr en Puerto Chacabuco son producto de rejuvenecimiento de los mencionados sistemas.

## GEOLOGIA DEL AREA DE MUESTREO

Se recolectaron 10 muestras de granitoides de un sector de algunos cientos de metros con afloramientos continuos, ubicados en la costa del Fiordo Aysén, inmediatamente al S de Puerto Chacabuco. Estas rocas pertenecen al Hamado Batolito Patagónico, que en ese sector tiene un ancho EW total de más de 120 km. La zona de muestreo está ubicada ligeramente al E de la parte central del batolito.

En el sector muestreado afloran granitoides inhomogéneos con sectores agmatíticos, venas aplíticas, fajas foliadas y bandeadas, complejamente plegadas, sectores homogéneos isótropos y todas las gradaciones intermedias. Las rocas analizadas corresponden a tonalita de hornblenda y biotita (SLL 1A, 1C), granito de biotita (1D) y granitos aplíticos leucocráticos (1E y 1F). Los minerales están muy frescos, sólo 1D presenta pequeña cantidad de clorita y mica blanca secundaria. Las plagioclasas son, en algunos casos, anti-peritíticas y presentan un cierto desarrollo periférico de mirmequitas. El feldespato potásico es en parte microclina y se presenta además en venillas o en los bordes de los cristales de plagioclasa. Accesorios comunes son apatita, esfero en ciertos casos en grandes cristales, mineral opaco y circón. El cuarzo presenta extinción ondulosa marcada, que en ciertos cristales se han resuelto en agregados de cristales de menor tamaño con bordes indentados. Este fenómeno ocurre también en rocas que macroscópicamente no revelan foliación.

## METODOS Y RESULTADOS

Se construyó una isócrona Rb-Sr en roca total con seis muestras de rocas del batolito, SLL 1A a F. Las determinaciones isotópicas se realizaron en el laboratorio de la Unidad de Geología Isotópica del Institute of Geological Sciences, Londres.

El Rb y Sr se determinaron por fluorescencia de rayos X con una precisión de 2 0/0 (2 σ), las razones isotópicas de Sr en un espectrómetro de masas Micromass MS30 con una precisión de 0.01 0/0 (2 σ). Los resultados del Rb, Sr y razones isotópicas de Sr de las muestras se presentan en la Tabla I. Ellas permiten construir una errórcrona de  $98 \pm 3$  Ma, con una razón inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de  $0.7044 \pm 0.0003$  y  $\text{DSMP}^* = 6.6$  como se indica en la Fig. 2.

Nº Muestra	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (rep.)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$
SLL 1A	58	357	0.70465	0.70474	0.470
SLL 1B	50	416	0.70477	0.70475	0.354
SLL 1C	65	366	0.70469	0.70472	0.516
SLL 1D	57	197	0.70567	0.70554	0.833
SLL 1E	93	156	0.70663	0.70667	1.722
SLL 1F	103	150	0.70687	0.70682	1.992

TABLA I: Valores de Rb, Sr y  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de los granitoides de Puerto Chacabuco. La razón  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  se determinó dos veces a partir de alíquotas diferentes.

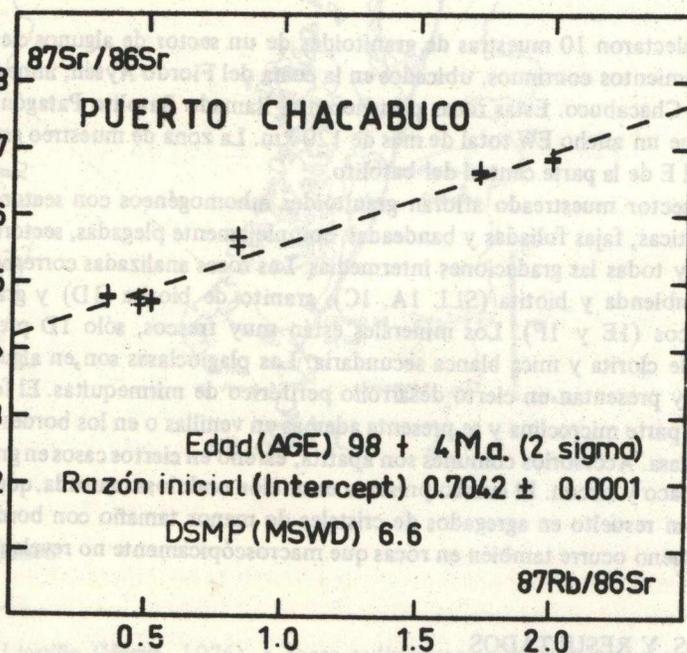


Fig. 2 Errórcrona de los granitoides de Puerto Chacabuco.

\*DSMP Desviación Standard Media Ponderada.

La edad de biotita de la muestra SLL 1C se determinó por el método K-Ar. El K se midió con un espectrofotómetro de llama con una precisión de 2 0/o (2  $\sigma$ ). El análisis de Ar fue realizado por dilución isotópica con trazador de Ar 38 y se determinó en un espectrómetro de masas MS-10. Los resultados analíticos se presentan en la Tabla II, y permitieron calcular una edad de  $17 \pm 2$  m.a. para la biotita.

Nº Muestra	Material analizado	K 0/o	$40\text{Ar}/\text{rad}$ (n1/g)	Ar atm 0/o	Edad (Ma)
S LL 1C	Biotita	7.829	5.2946	20.4	$17 \pm 1.5$
SLL 1B	Biotita	7.013	3.088	46.5	$11 \pm 0.6$
SLL 1B	Anfíbola	1.104	0.726	82.8	$17 \pm 3.6$

TABLA II: Tabla de valores analíticos de las determinaciones radiométricas K - Ar.

La granodiorita SLL 1C presenta algunos efectos cataclásticos, principalmente evidentes en la extinción ondulosa del cuarzo intersticial, en ciertos casos resuelto en numerosos individuos pequeños. Algunos cristales de plagiocalsa presentan planos de discontinuidad óptica y mirmequitas en sus contornos. En cambio la biotita está muy fresca, no presenta ondulación marcada ni otras estructuras de deformación. Las inclusiones de mineral opaco en ellas presentan coronas de esfeno.

Las edades en biotita y anfíbola de la muestra SLL 1B se realizaron en el Laboratorio de Geocronología de K-Ar SERNAGEOMIN, de acuerdo a los métodos habituales en él.

## INTERPRETACION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

La errórcrona Rb-Sr (DSMP = 6.6) de las rocas graníticas se considera una buena aproximación a la edad de intrusión y enfriamiento del batolito. La baja razón inicial  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  (0.7044 - 0.0003), además de indicar ausencia de contaminación cortical importante (Briqueu & Lancelot, 1979) demuestra que no hubo rejuvenecimiento significativo de la isócrona con los procesos tectónicos que afectaron el área con posterioridad. La edad obtenida aquí coincide bastante bien con isócronas de 3 puntos presentadas por Halpern y Fuenzalida (1978) para muestras del mismo batolito al este de Puerto Chacabuco. La edad de  $98 \pm 4$  Ma. concuerda también con las relaciones estratigráficas que se conocen para el batolito, a saber, que intruye a la Formación Divisadero, del Cretácico Inferior (Skarmeta, 1974), y es cubierto en discordancia de erosión por la Formación La Cascada, Eoceno, en la región de Futaleufú (Castillo, 1983). El valor de DSMP de 6.6 mayor que el que permite definir una isócrona, podría interpretarse como debido a pequeñas perturbaciones en el sistema isotópico Rb-Sr producidas por la cataclisis y eventual calentamiento regional, que se menciona más adelante, o por cierta inhomogeneidad inicial.

En Aysén, se puede establecer que una franja de unos 30 km de ancho ubicada hacia la porción central del batolito presenta edades K-Ar y Rb-Sr en minerales comprendidos entre 12 y 37 Ma. (Fig. 3). Hacia los márgenes del batolito en cambio, las edades K-Ar y

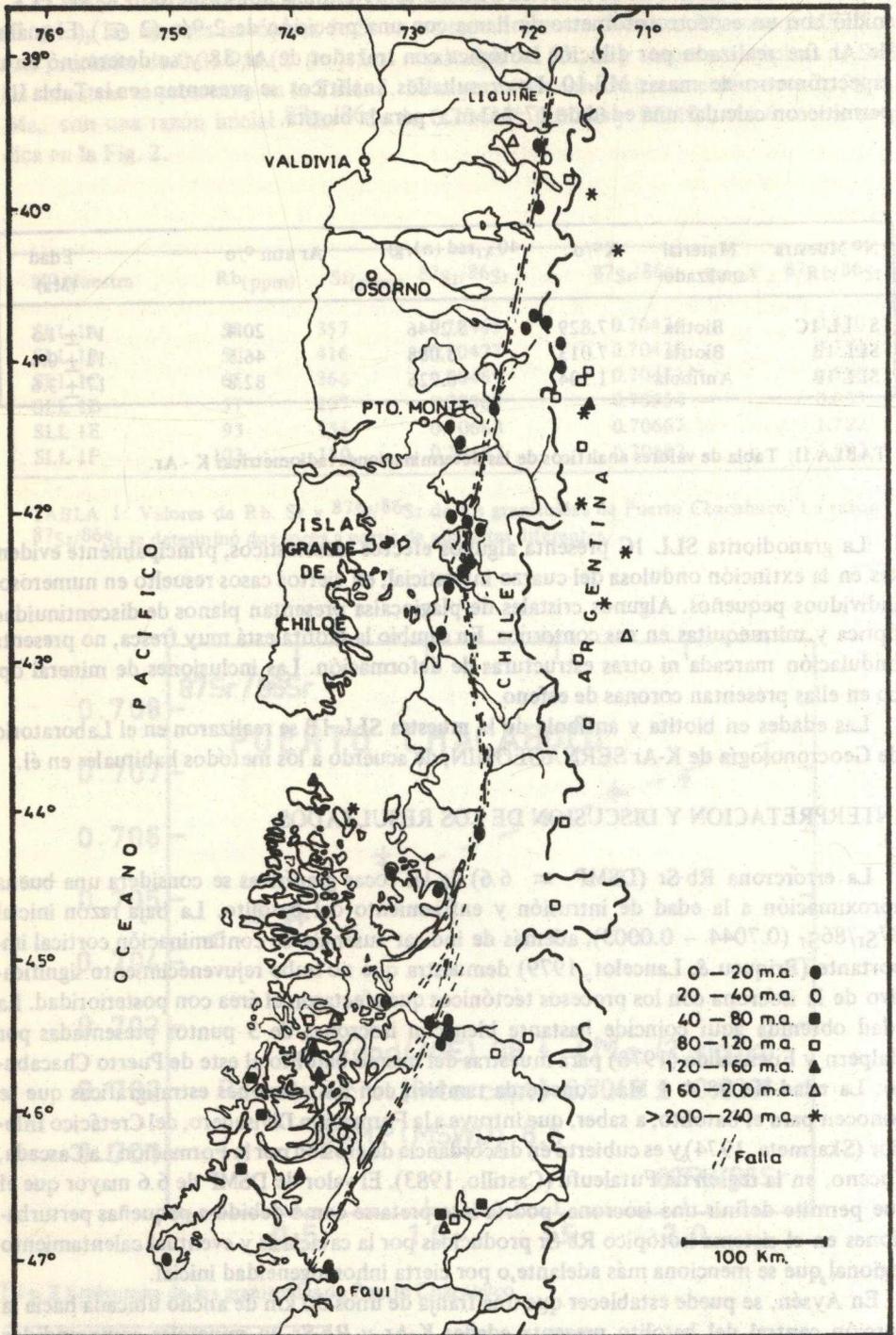


Fig. 3. Distribucion de edades K-Ar entre los 39° y 47° L.S.

Rb-Sr en minerales son más antiguas, y similares a aquellas obtenidas por el método de isócronas de Rb-Sr en roca total.

La errócrona de Puerto Chacabuco presenta una edad del todo similar a aquellas obtenidas hacia el margen oriental del batolito. Sin embargo, la muestra SLL-1C, presenta una edad K-Ar en biotita de 17 Ma., una edad de enfriamiento, y no la edad de intrusión del granitoide. Es posible sugerir que esta interpretación es válida en otros casos de edades menores de 40 Ma en Aysén y que parecen pertenecer al mismo cuerpo intrusivo.

Halpern y Fuenzalida (1978) asignaron estas edades jóvenes a una acción de la cataclasis que era notoria en las muestras por ellos determinada. El hecho que estas edades se distribuyan en una franja que abarca las diversas ramas del sistema de Fallas Liquiufe-Ofqui parecen indicar una relación genética entre la generación de las zona de falla y el rejuvenecimiento de las edades. Las edades K-Ar son edades de enfriamiento por debajo de la temperatura crítica de retención de argón, en este caso principalmente de biotita. En la Fig. 4 se presentan 2 modelos que podrían explicar la obtención de una edad de enfriamiento lejana de la edad de intrusión.

**Modelo I.** El plutón se emplaza y se enfría en un nivel de la corteza de temperatura regional superior a los 300°C. La actividad tectónica de la falla sería sólo la de alzamiento del

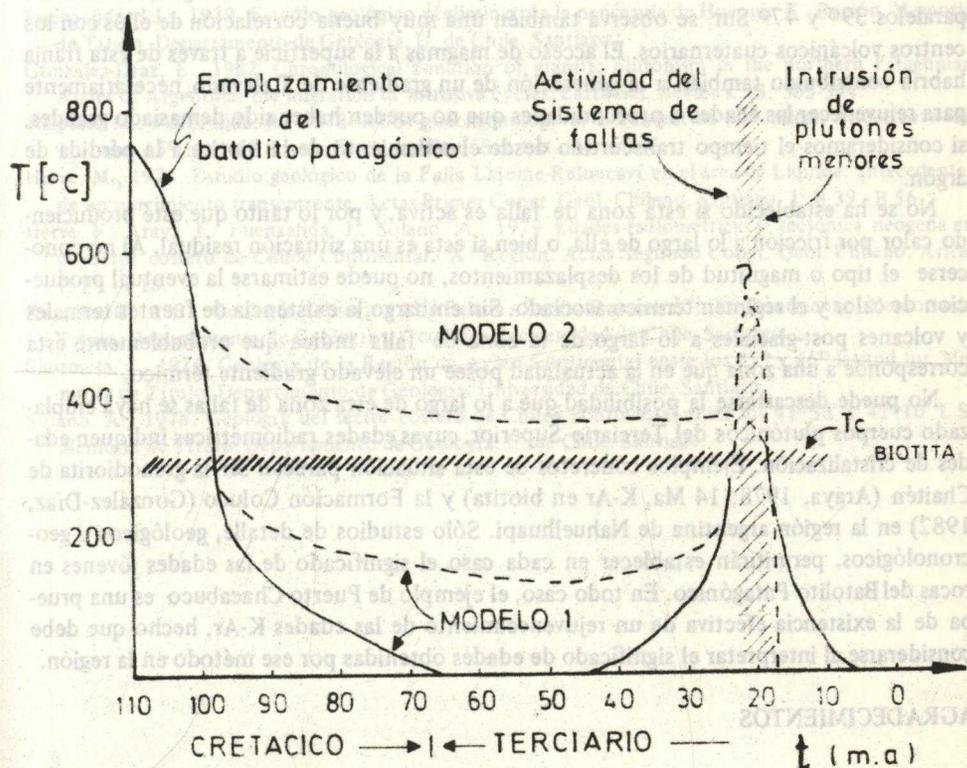


Fig. 4. Modelos de enfriamiento del Batolito Patagónico.

cuerpo, o de la porción del cuerpo considerada, a una región por bajo la Tc. Este puede describirse como un modelo con una sola etapa de enfriamiento.

**Modelo II.** El plutón se emplaza y se enfría por debajo de la T de retención de argón de la biotita. Con posterioridad el sector considerado del plutón se calienta por sobre Tc y las edades se rejuvenecen y marcan el momento en que la temperatura vuelve a descender bajo Tc. Este puede describirse como un modelo con 2 etapas de enfriamiento.

El razonamiento es también válido para el caso de la hornblenda, pero con valores Tc superiores, probablemente vecinos a 500°C. En el sector considerado del Batolito Patagónico, sólo el sector central presenta edades K-Ar y Rb-Sr jóvenes en minerales. Hacia los márgenes, se obtienen edades cretácicas, probablemente relacionadas al enfriamiento definitivo del plutón por bajo Tc de la biotita. Las relaciones de contacto, parecen indicar que el plutón no fue de emplazamiento profundo, ya que no se observan aureolas de metamorfismo de contacto muy extensas. Esto implica un enfriamiento similar al del Modelo II para los bordes del batolito que probablemente pueda hacerse extensivo al total del cuerpo. Con posterioridad a ello, se habría rehecho solo el sector más próximo a las diversas fallas y franjas de cizalle de la zona de Fallas Liquiñe-Ofqui. Ambos modelos implican una actividad neógena en la zona de fallas.

Al observar la distribución de las edades jóvenes en el Batolito Patagónico entre los paralelos 39° y 47° Sur, se observa también una muy buena correlación de ellos con los centros volcánicos cuaternarios. El acceso de magmas a la superficie a través de esta franja habría contribuido también a la generación de un gradiente de T elevado, necesariamente para rejuvenecer las edades a profundidades que no pueden haber sido demasiado grandes, si consideramos el tiempo transcurrido desde el sellamiento de la biotita a la pérdida de argón.

No se ha establecido si esta zona de falla es activa, y por lo tanto que esté produciendo calor por fricción a lo largo de ella, o bien si ésta es una situación residual. Al no conocerse el tipo o magnitud de los desplazamientos, no puede estimarse la eventual producción de calor y el régimen térmico asociado. Sin embargo, la existencia de fuentes termales y volcanes post-glaciales a lo largo de la zona de falla indica que probablemente ésta corresponde a una zona que en la actualidad posee un elevado gradiente térmico.

No puede descartarse la posibilidad que a lo largo de esta zona de fallas se haya emplazado cuerpos plutónicos del Terciario Superior, cuyas edades radiométricas indiquen edades de cristalización. Ejemplos concretos de esta situación parecen ser la granodiorita de Chaitén (Araya, 1978; 14 Ma, K-Ar en biotita) y la Formación Coluco (González-Díaz, 1982) en la región argentina de Nahuelhuapi. Sólo estudios de detalle, geológicos y geocronológicos, permitirán establecer en cada caso el significado de las edades jóvenes en rocas del Batolito Patagónico. En todo caso, el ejemplo de Puerto Chacabuco es una prueba de la existencia efectiva de un rejuvenecimiento de las edades K-Ar, hecho que debe considerarse al interpretar el significado de edades obtenidas por ese método en la región.

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo de terreno de esta colaboración el proyecto 202 de PICG "Megafallas de Sudamérica" fue financiado por el Grant E 1300 del Departamento de Desarrollo de la

Investigación de la Universidad de Chile, el Fondo Especial de Investigación de SLL y la Ilustre Municipalidad de Puerto Cisnes. Las determinaciones isotópicas se realizaron en Institute of Geological Sciences, Londres, con la guía de los Dres. R. Pankhurst, N. Snelling y M. Brook, gracias a becas de J.S. Guggenheim Foundation y The Royal Society of London. M. Hervé, A. Puig, E. Godoy y F. Munizaga revisaron críticamente el manuscrito e hicieron valiosas sugerencias. El laboratorio K-Ar de SERNAGEOMIN realizó dos dataciones como contribución a este trabajo, en el marco de un estudio más amplio sobre megafallas en preparación.

## REFERENCIAS

- Araya, E., 1979. Estudio geológico preliminar del área ubicada entre los 42°30' y 43°20' L.S. y los 72°30' y 73°00' L.W. (comuna de Chaitén, Provincia de Chiloé, X. Región). Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago.
- Briqueu, L., Lancelot, J.R., 1979. Rb-Sr systematics and crustal contamination models for calcalkaline igneous rocks. *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 43: 385-396.
- Brooks, C., Hart, S., Wendt, I., 1972. Realistic use of two-error regression treatment as applied to Rb-Sr data. *Rev. of Geoph. and Space Phys.*, 10: 551-577.
- Castillo, J.C., 1983. Geología del Sector Occidental de la Comuna de Futaleufú, Provincia de Palena, X. Región de Los Lagos, Chile. Memoria de Título, Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile, Santiago.
- Fuenzalida, J.L., 1979. Estudio geológico preliminar de la península de Huequi, X Región. Memoria de Título, Departamento de Geología, U. de Chile, Santiago.
- González-Díaz, E., 1982. Chronological zonation of granitic plutonism in the northern Patagonian Andes of Argentina: the migration of intrusive cycles. *Earth Sci. Reviews*, 18: 365-394.
- Halpern, M., Fuenzalida, R., 1978. Rb-Sr geochronology of a transect of the Chilean Andes between latitudes 45° and 46° South. *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 41: 60-66.
- Hervé, M., 1976. Estudio geológico de la Falla Liquiñe-Reloncaví en el área de Liquiñe: antecedentes de un movimiento transcurrente. *Actas Primer Congr. Geol. Chileno, Santiago*, 1: B 39 - B 56.
- Hervé, F., Araya E., Fuenzalida, J., Solano, A., 1979. Edades radiométricas y tectónica neógena en el sector costero de Chiloé Continental, X Región. *Actas Segundo Congr. Geol. Chileno, Arica*, 1: F1 - F18.
- Romero, G., 1983. Geología del sector Alto Palena - Puerto Ramírez, Chiloé Continental. Memoria de Título, Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile, Santiago.
- Skarmeta, J., 1974. Geología de la Región de Aysén Continental entre los 45° y 46° latitud sur. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago.
- Solano, A., 1978. Geología del sector costero de Chiloé continental entre los 41°50' y 42°10' L.S. Memoria de Título, Departamento de Geología, U. de Chile, Santiago.