

LA MEGAFALLA LIQUIÑE - OFQUI EN EL FIORDO RELONCAVI (41°30'), CHILE

THE LIQUIÑE - OFQUI MEGAFULT AT THE RELONCAVI FIORD (41°30'), CHILE

R. THIELE, F. HERVE, M.A. PARADA y E. GODOY

Depto. de Geología, Univ. de Chile, Casilla 13518, Correo 21, Santiago, Chile.

RESUMEN

En el área de Reloncaví, la megafalla Liquiñe-Ofqui (MLO) afectó a rocas plutónicas miocenas y generó en ellas diversas estructuras menores tales como fallas, foliación, pliegues y diaclasas. La traza de esta megaestructura está representada por una franja topográficamente deprimida, de 1 a 2 km de ancho y de rumbo N 10° E, que aloja al fiordo Reloncaví y la ensenada Cayutue. Esta depresión es el resultado de la erosión diferencial, por los glaciares cuaternarios, de las rocas tectonizadas entre hace 4 y 10 Ma, y que constituyen una anomalía gravimétrica negativa. La MLO controla en el segmento estudiado la ubicación de centros de emisión volcánicos, por lo que es probable que se extienda hasta profundidades subcorticales.

ABSTRACT

The Liquiñe-Ofqui megafault (LOM) affected miocene plutonic rocks generating several minor structures such as faults, foliations, folds and joints. This megastructure is represented by a N 10° E topographically depressed belt, 1 to 2 km wide, that includes the Reloncaví fiord and the Cayutue creek. The depression constitutes a negative gravimetric anomaly and seems to be the result of a differential erosion process caused by Quaternary glaciers on rocks tectonized 4 to 10 my ago. Since volcanic centers are controlled by the studied segment of the LOM it is estimated that this megafault reaches subcrustal depths.

INTRODUCCION

La megafalla Liquiñe-Ofqui (MLO) se extiende en la Cordillera Principal de los Andes, desde aproximadamente los 39° Lat. S, en el lago Caburgua, hasta los 47° Lat. S, en el Golfo de Penas, por una extensión que supera los 900 km (Fig. 1).

Esta estructura fue reconocida localmente en el área de Reloncaví

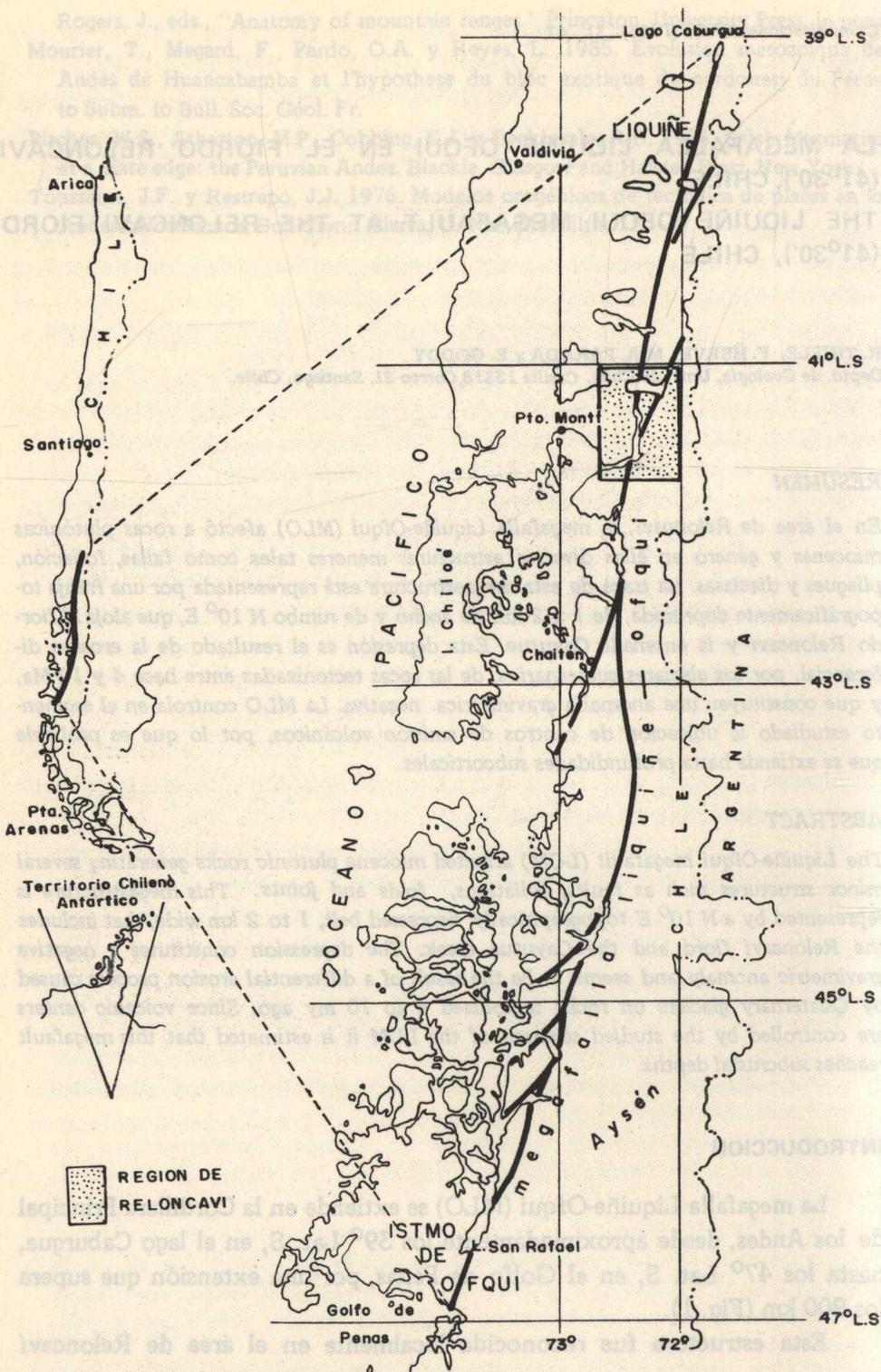


Fig. 1. Mapa de ubicación del tramo de la megafalla Liquiñe - Ofqui estudiado
 Fig. 1. Sketch map of the studied area showing the location of the Liquiñe - Ofqui megafault.

por Klohn (1960) y Saint Amand (1961), quienes la designaron como "zona de debilidad estructural" y "falla Reloncaví" respectivamente. Su carácter de megaestructura sin embargo, ha sido reconocido posteriormente; primero, en el tramo norte de su trazado (Hervé *et al.*, 1974; Moreno y Parada, 1974, 1976), denominándosele falla Liquiñe-Reloncaví; después se reconoció su presencia en Chiloé continental y se extrapoló su extensión hasta el istmo de Ofqui (Hervé *et al.*, 1979), dándosele el nombre de zona de falla Liquiñe-Ofqui.

En su tercio septentrional, que se extiende entre el lago Caburgua y Reloncaví, la falla parece estar constituida por una sola rama principal, rectilínea y de rumbo N 10° E. En su parte media, en cambio, a la latitud de Chaitén, aparecen ya bien individualizadas dos ramas principales: una occidental que pasa cerca de la línea de costa y otra que lo hace unos 20 km al interior. En su tercio austral es menos conocida y parece estar representada por una serie de fallas en echelón o en "cola de caballo", con concavidad hacia el NW (Fig. 1).

El estudio en detalle de rocas de falla del extremo norte (Hervé 1976 y 1977), permitió concluir que la falla tuvo allí un primer movimiento transcurrente dextral, de magnitud desconocida, y luego, en el Terciario Superior, un movimiento normal de varios kilómetros con descenso del bloque occidental. La edad mínima del movimiento transcurrente ha sido documentado en el área de Liquiñe por la datación de un filón de pórfido andesítico no milonitizado, que se aloja en rocas milonitizadas de 28 ± 1 Ma (K - Ar, roca total; Hervé, M, 1984).

En el sector de Chiloé continental la actividad de la falla es, al menos en parte, posterior a la depositación de la Formación Ayacara (Mioceno Superior) la que aparece deformada en las inmediaciones de la falla (Fuenzalida, 1979). En minerales de granitoides y volcanitas foliadas cercanas a la falla en este tramo, se obtuvieron valores K-Ar comprendidos entre 10 y 20 Ma, lo que se interpreta como un período de intensa actividad de esta estructura (Hervé *et al.*, 1979).

En el sector de Aysén, la edad de la actividad de la falla es más difícil de establecer. Allí los valores radiométricos K-Ar obtenidos para muestras del batolito que aflora en este tramo, comprendidos entre 10 y 20 Ma, (Mioceno) se interpretan como producto de rejuvenecimiento por dicha actividad (Herve, F. 1984).

Por otra parte, a lo largo de toda la extensión de la MLO, existe una intensa actividad volcánica y geotermal. Además, recientemente, se ha podido establecer actividad microsísmica en la Laguna San Rafael (Fig. 1), que se supone relacionada con la zona de falla en este tramo (Nelson y Forsythe, 1984). De esta manera, la comprobada actividad de la MLO en el

Terciario Superior, se continúa probablemente atenuada hasta el presente.

En el presente estudio se analiza la MLO en su tramo de Reloncaví, entre la ensenada Cayutue, en el Lago Todos Los Santos, y el volcán Yate, al norte del volcán Hornopirén (Fig. 2). Los antecedentes que se exponen son producto del "Estudio Geológico-Estructural Regional y Tectónico del área Petrohué-Canutillar (entre los 41°00' y 41°45' Lat. S)", que los autores realizaron para ENDESA, con la coautoría del J. Varela y la participación de M. Araneda y C. Sepúlveda, bajo el contrato OICB-06C que esa empresa contrajo con el Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile en el segundo semestre de 1984.

MARCO GEOLOGICO DEL AREA DE RELONCAVI

Las rocas que predominan en el área son granitoídicas y volcánicas del cinturón plutovolcánico cenozoico superior en esta región andina.

Muy subordinadamente a las anteriores afloran rocas más antiguas, que corresponden a pequeños y aislados remanentes de rocas metamórficas incluidas en los granitoides. La edad de su protolito podría ser tan antigua como Paleozoico Superior, pero, por falta de una información más precisa, se les asigna una edad generalizada pre-miocena (Thiele *et al.*, 1985). Ellas presentan evidencias de deformación y metamorfismo, probablemente anteriores a la intrusión de los granitoides cenozoicos, la que les sobreimpuso un metamorfismo térmico.

Los granitoides constituyen un gran número de plutones individuales y filones, que conforman complejos plutónicos mayores. Dataciones K-Ar (en biotita) practicadas en muestras de granitoides de esta área, dieron valores comprendidos entre 10,3 y 12,2 Ma (Munizaga *et al.*, 1984, 1985). Tienen una composición predominantemente tonalítica-diorítica, pero con variaciones a granodioritas y granitos, por una parte, y a gabros por otra. Se han definido tres unidades plutónicas principales (Parada *et al.* 1986): Unidad Reloncaví (tonalitas y granodioritas de hornblenda y biotita), Unidad Cayutue (diorita de hornblenda) y Unidad Lago Chapo (granodiorita de biotita y muscovita). La intrusión epizonal de estos plutones estuvo, al parecer, controlada por fracturas regionales.

En discordancia de erosión sobre las rocas plutónicas miocenas se encuentran rocas volcánicas y volcano-sedimentarias estratificadas de escaso desarrollo areal. También se distribuyen en el área los estrato-volcanes cuaternarios Calbuco, Osorno y La Picada, y algunos centros eruptivos menores e independientes que caracterizan a esta región (volcanes Pichilaguna, Cayutue, Cabeza de Vaca, La Viguería, Rollizos y Pocihuén) (Fig. 2),

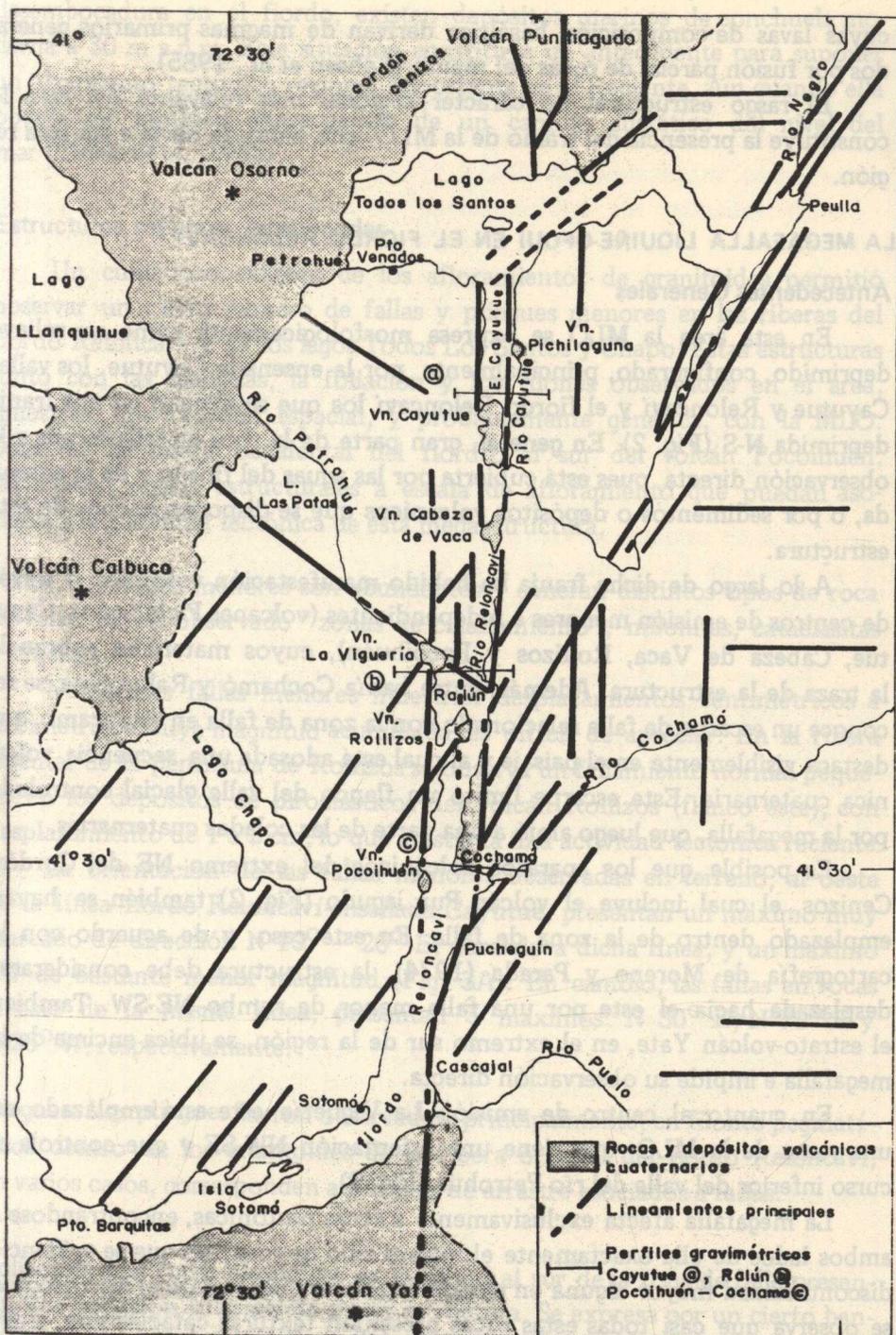


Fig.2. Mapa de la región de Reloncaví-Cayutué que muestra la distribución de las rocas volcánicas cuaternarias del área y de los lineamientos principales asociados a la megafalla Liquiñe-Ofqui en este tramo.

Fig.2. Map of the Reloncaví-Cayutué región illustrating the distribution of the Quaternary volcanic rocks and the main lineaments associated with the Liquiñe-Ofqui megafault.

cuyas lavas de composición basáltica derivan de magmas primarios generados por fusión parcial de rocas del manto (Lahsen *et al.*, 1985).

El rasgo estructural de carácter regional más relevante del área lo constituye la presencia del tramo de la MLO, que cruza de norte a sur esta región.

LA MEGAFALLA LIQUIÑE-OFQUI EN EL FIORDO RELONCAVI

Antecedentes Generales

En esta área la MLO se expresa morfológicamente como un relieve deprimido, configurado, principalmente por la ensenada Cayutue, los valles Cayutue y Reloncaví y el fiordo Reloncaví los que se alinean en una franja deprimida N-S (Fig. 2). En general, gran parte de la roca de falla escapa a la observación directa, pues está cubierta por las aguas del fiordo y de la ensenada, o por sedimentos o depósitos volcánicos que se disponen encima de esta estructura.

A lo largo de dicha franja ha habido manifestación volcánica, a través de centros de emisión menores e independientes (volcanes Pichilaguna, Cayutue, Cabeza de Vaca, Rollizos y Pcoihué), cuyos materiales cubren la traza de la estructura. Además, entre bahía Cochamó y Ralún Este, se reconoce un escarpe de falla relacionado con la zona de falla en este tramo, que destaca visiblemente en el paisaje y al cual está adosada una secuencia volcánica cuaternaria. Este escarpe limitó un flanco del valle glacial controlado por la megafalla, que luego alojó a una parte de las coladas cuaternarias.

Es posible que los aparatos volcánicos del extremo NE del Cordón Cenizos, el cual incluye el volcán Punjiagudo (Fig. 2) también se hayan emplazado dentro de la zona de falla. En este caso, y de acuerdo con la cartografía de Moreno y Parada (1974), la estructura debe considerarse desplazada hacia el este por una falla menor, de rumbo NE-SW. También el estrato-volcán Yate, en el extremo sur de la región, se ubica encima de la megafalla e impide su observación directa.

En cuanto al centro de emisión La Viguera este está emplazado en una rama de la MLO, que tiene una orientación NW-SE y que controla el curso inferior del valle del río Petrohué (Fig. 2).

La megafalla afecta exclusivamente a rocas plutónicas, encontrándose a ambos lados de ella exactamente el mismo tipo de roca, sin que se evidencie discontinuidad mayor alguna en el tipo de afloramiento. Bajo el microscopio se observa que casi todas estas rocas presentan texturas cataclásticas, entre las que se incluye granulación, extinción ondulosa en el cuarzo, fracturamiento y plegamiento de plagioclasa, mica y anfíbola.

En la ribera E del fiordo Reloncaví, a 4 km al norte del pueblo Cochamó y, también, en el valle del río homónimo, a 2 km aguas arriba de su

desembocadura en el fiordo, existen depósitos marinos de conchuela moderna a 30 m s.n.m. Esta situación constituye un antecedente para suponer un alzamiento tectónico regional importante en el Reciente, aún cuando ella podría ser también consecuencia de un cambio eustático del nivel del mar (Thiele *et al.*, 1985).

Estructuras menores relacionadas

Un cuidadoso exámen de los afloramientos de granitoides permitió observar un cierto número de fallas y pliegues menores en las riberas del fiordo Reloncaví y de los lagos Todos Los Santos y Chapo. Estas estructuras junto con las diaclasas, la foliación y los filones observados en el área, muestran una relación espacial, y probablemente genética, con la MLO. Sólo en la ribera occidental del fiordo, al sur del volcán Pocihuén, no existen rasgos estructurales a escala de afloramiento que puedan asociarse a la actividad tectónica de esta megaestructura.

Fallas: Las fallas menores son abundantes y generan distintos tipos de roca de falla. Se ha observado "zonas de cizallamiento", milonitas, cataclasitas y brechas.

Numerosas fallas menores muestran desplazamientos centimétricos a decimétricos, cuya magnitud acumulada es difícil de apreciar. En la ribera oriental de la península de Rollizos se observa un fallamiento normal pequeño en los depósitos de piroclásticos del volcán Rollizos (flanco este), con desplazamiento de 1 a 2 cm, lo que atestigua una actividad tectónica reciente.

La orientación de las fallas menores observadas en terreno, al oeste de la línea fiordo Reloncaví-ensenada Cayutue, presentan un máximo muy marcado de dirección N 10° - 20° E, paralelo a dicha línea, y un máximo EW de bastante menor magnitud (Fig. 3A). En cambio, las fallas en rocas al este de la misma línea, presentan 3 máximos: N 30° E; N 70° E y N 25° W, respectivamente.

Pliegues: Los pliegues fueron observados, principalmente, en filones pegmatíticos dentro de los granitoides de la ribera oriental del fiordo Reloncaví; en varios casos, corresponden a pliegues de arrastre asociados a fallas.

Foliación: Las rocas plutónicas en la mitad al sur de la zona de falla presentan una foliación subparalela a esta estructura. Se expresa por un cierto bandeamiento y orientación de los mineralés ferromagnesianos, principalmente biotita y anfíbola. Probablemente, coexisten orientaciones primarias o sin-plutónicas y secundarias o tectónicas (post-solidificación), aunque este estudio no permitió establecer su origen en algunos casos. En puerto Las Barqui-

tas, cerca de la entrada del fiordo de Reloncaví, se observó un filón pegmático plegado, en el cual el plano axial de los pliegues coinciden con la foliación N 15° E y subvertical de la tonalita a la que intruye. Este ejemplo indica que, en parte, la foliación de la roca plutónica es secundaria o tectónica y, en este caso, subparalela a la MLO.

La foliación en las plutonitas se manifiesta, localmente, como un "clivaje de fractura", que consiste en sistemas de fracturas espaciados de algunos mm o cm. Esta estructura tiene una distribución errática, pero parece ser más frecuente y penetrativa en las cercanías del tramo N-S del fiordo de Reloncaví.

Diaclasas: Las diaclasas son las estructuras más comunes y están presentes en todos los afloramientos estudiados. Cerca de la entrada del fiordo Reloncaví y en la mitad sur del lago Chapo las diaclasas tienen espaciamiento de algunos metros, con predominio de diaclasas aproximadamente NE y subverticales; en cambio, en las riberas del tramo norte-sur del fiordo Reloncaví y en parte de las riberas del lago Todos Los Santos, las rocas presentan sistemas de diaclasas más densos, en ciertos casos cada 5 a 50 cm, en diversas direcciones.

En las rocas al oeste de la MLO se observan direcciones preferenciales de diaclasas N-S, NE, E-W y NW, todas con aproximadamente la misma relevancia estadística (Fig. 3B). En el sector este se observa, en cambio, máximos bien definidos alrededor de N 15° E, N 25° W, N 65° E y otro N 70° W de menor importancia relativa.

Filones: La distribución espacial de los filones (Fig. 3C) es similar a ambos lados de la línea fiordo Reloncaví-ensenada Cayutue, con un marcado máximo próximo a NE.

Hay varias etapas de intrusión de filones, ya que algunos se observan cortados y desplazados por fallas que no afectan a otros vecinos. Algunos filones ubicados en la ribera E del fiordo Reloncaví aparecen plegados y presentan, en general, foliación de plano axial. Sin embargo, la mayoría de ellos parecen ser bastante tardíos en la historia geológica del área, habiendo intruido en un período en el cual la orientación de los esfuerzos era idéntica a ambos lados de la MLO.

Rocas de Falla observadas

Las rocas de falla se distribuyen en franjas, de espesores variables, en el seno de los granitoides adyacentes a la zona de falla. Existen brechas, cataclasitas y milonitas.

Brechas: Las brechas tectónicas de mayor extensión afloran en la ribera oriental del fiordo Reloncaví, en el sector de Pucheguín, aproximadamente 5 km

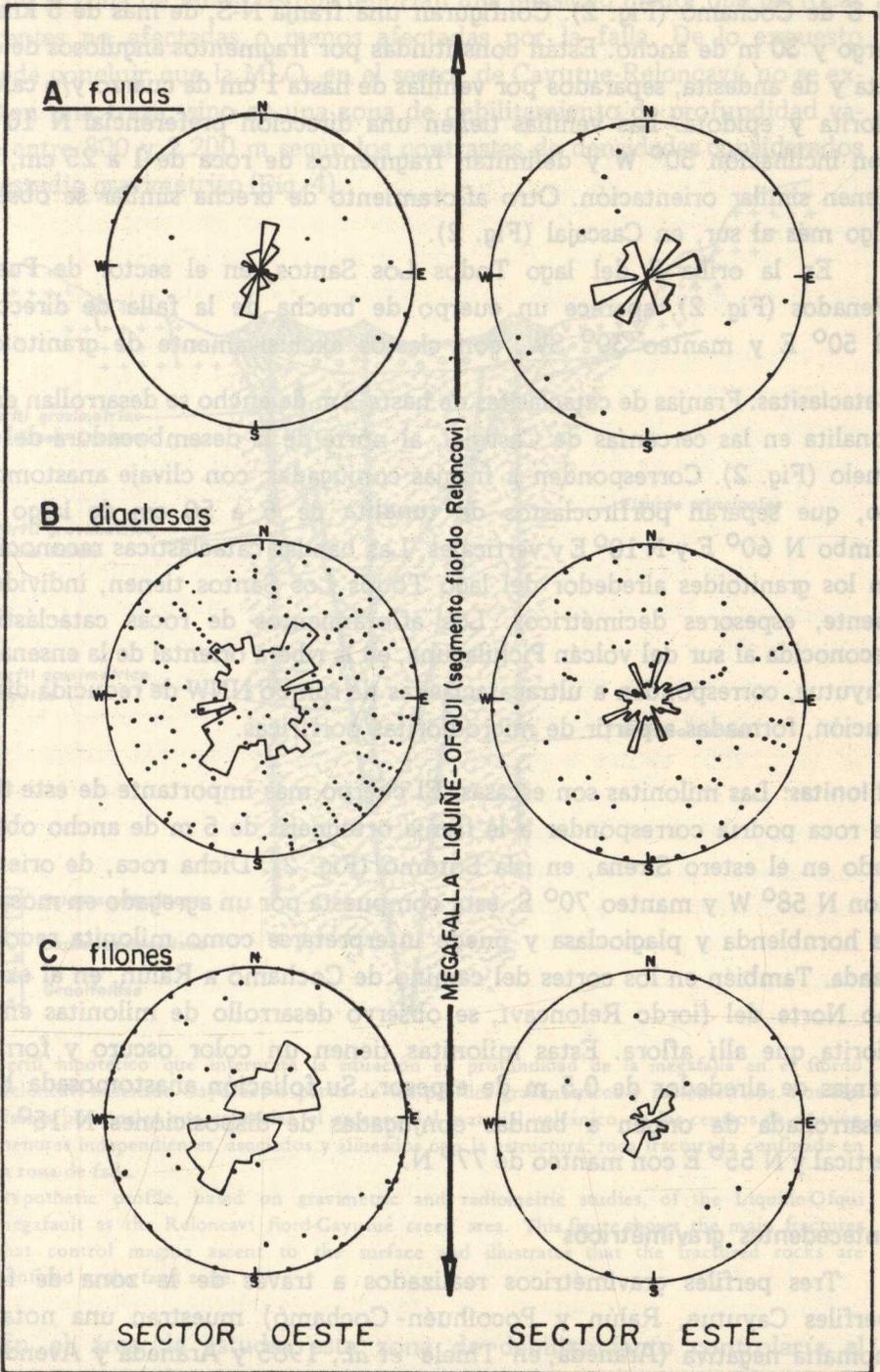


Fig.3. Diagrama de Cloos de distribución de los rumbos e inclinaciones de las fallas (A), diaclasas (B) y filones (C) medidos en las rocas plutónicas de los sectores oeste y este de la megafalla Liquiñe-Ofqui, en su tramo del fiordo Reloncaví.

Fig.3. Cloos distribution diagrams showing the strikes and slips of faults (A), joints (B) and the orientation of the dikes (C) cutting plutonic rocks from the eastern and western side of the Liquiñe-Ofqui megafault in the Reloncaví fiord.

al S de Cochamó (Fig. 2). Configuran una franja N-S, de más de 3 km de largo y 30 m de ancho. Están constituidas por fragmentos angulosos de diorita y de andesita, separados por venillas de hasta 1 cm de cuarzo y/o calcita, clorita y epidota. Las venillas tienen una dirección preferencial N 10° E con inclinación 50° W y delimitan fragmentos de roca de 1 a 25 cm, que tienen similar orientación. Otro afloramiento de brecha similar se observa algo más al sur, en Cascajal (Fig. 2).

En la orilla S del lago Todos Los Santos, en el sector de Puerto Venados (Fig. 2), aparece un cuerpo de brecha de la falla de dirección N 50° E y manteo 30° SW, con clastos exclusivamente de granitoides.

Cataclasitas: Franjas de cataclasitas de hasta 2 m de ancho se desarrollan en la tonalita en las cercanías de Cascajal, al norte de la desembocadura del río Puelo (Fig. 2). Corresponden a franjas conjugadas, con clivaje anastomosado, que separan porfiroclastos de tonalita de 5 a 50 cm de largo, de rumbo N 60° E y N 10° E y verticales. Las bandas cataclásticas reconocidas en los granitoides alrededor del lago Todos Los Santos tienen, individualmente, espesores decimétricos. Los afloramientos de rocas cataclásticas reconocida al sur del volcán Pichilaguna, en la ribera oriental de la ensenada Cayutue, corresponden a ultracataclasitas de rumbo NNW de reducida distribución, formadas a partir de microdioritas porfíricas.

Milonitas: Las milonitas son escasas. El cuerpo más importante de este tipo de roca podría corresponder a la franja ortogneiss de 5 m de ancho observado en el estero Sirena, en isla Sotomó (Fig. 2). Dicha roca, de orientación N 58° W y manteo 70° S, está compuesta por un agregado en mosaico de hornblenda y plagioclasa y puede interpretarse como milonita recristalizada. También en los cortes del camino de Cochamó a Ralún, en el extremo Norte del fiordo Reloncaví, se observó desarrollo de milonitas en la diorita que allí aflora. Estas milonitas tienen un color oscuro y forman franjas de alrededor de 0,5 m de espesor. Su foliación anastomosada bien desarrollada da origen a bandas conjugadas de disposiciones N 15° E y vertical y N 55° E con manteo de 77° N.

Antecedentes gravimétricos

Tres perfiles gravimétricos realizados a través de la zona de falla (perfiles Cayutue, Ralún y Pocolihuén-Cochamó) muestran una notable anomalía negativa (Araneda, en Thiele *et al.*, 1985 y Araneda y Avendaño 1985), de un ancho promedio de 1,5 km, determinado más bien por la longitud de los perfiles que por el ancho de la anomalía. El origen de esta anomalía negativa se atribuyó a la abundancia de roca fracturada, brechizada, confinada en la región deprimida y elongada que se extiende a lo

largo de la zona de fallas, las que tendrían una densidad menor que las rocas adyacentes no afectadas o menos afectadas por la falla. De lo expuesto se puede concluir que la MLO, en el sector de Cayutue-Reloncaví, no se expresa en una traza, sino en una zona de debilitamiento de profundidad variable entre 800 y 2.200 m según los contrastes de densidades considerados en el estudio gravimétrico (Fig. 4).

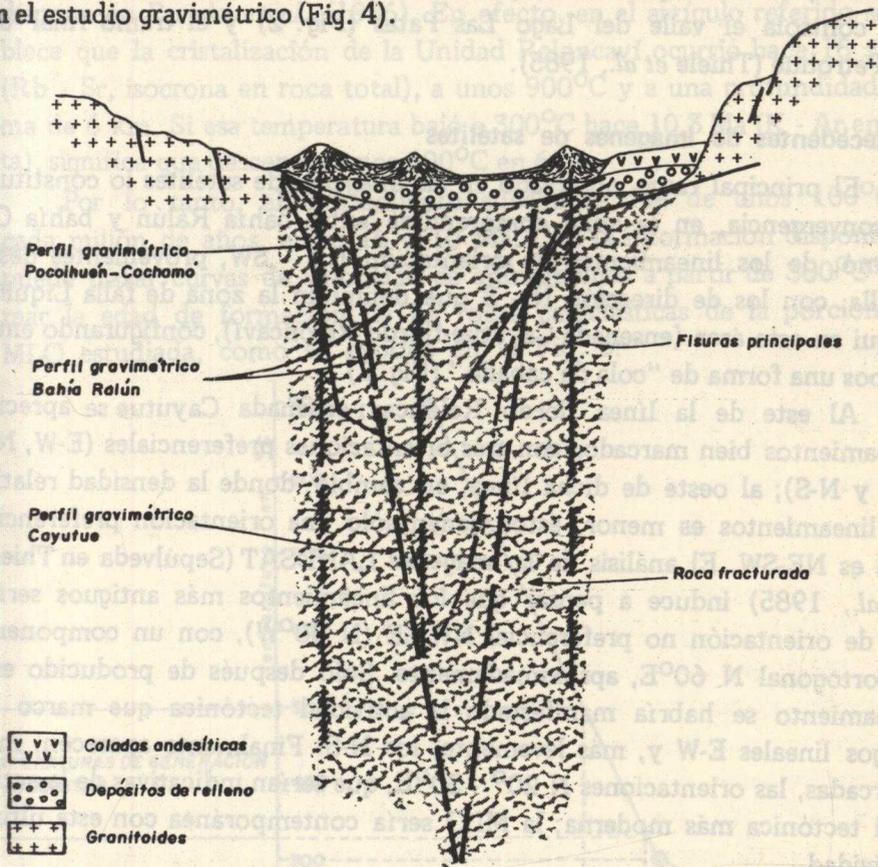


Fig.4. Perfil hipotético que interpreta la situación en profundidad de la megafalla en el fiordo Reloncaví-ensenada Cayutue, a partir de los perfiles gravimétricos y radiométricos. Posibles fisuras principales que controlan el ascenso del material volcánico de los centros de emisión menores independientes, asociados y alineados con la estructura; roca fracturada confinada en la zona de falla.

Fig.4. Hypothetic profile, based on gravimetric and radiometric studies, of the Lliquiñe-Ofqui megafault at the Reloncaví fiord-Cayutué creek area. This figure shows the main fractures that control magma ascent to the surface and illustrates that the fractured rocks are confined to the fault zone.

En el área de estudio esta zona de debilitamiento controlaría el relieve negativo de dirección N-S que configuran, principalmente, la ensenada Cayutue, los valles Cayutue y Reloncaví y el fiordo Reloncaví. Entre Cayutue y bahía Ralún, esta zona se encuentra cubierta por materiales piroclásticos, de baja densidad, producto de emisiones de los centros vol-

cánicos menores ligados a la MLO. En esta zona, la anomalía negativa sería producida por la suma de los materiales fracturados por la falla y los piroclásticos presentes.

En el perfil bahía Ralún se reconoce, además de la MLO, otra zona de debilidad, de correspondiente, probablemente, a la falla de rumbo NW que controla el valle del Lago Las Patas (Fig. 2) y el tramo final del río Petrohué (Thiele *et al.*, 1985).

Antecedentes de imágenes de satélites

El principal rasgo observado en las imágenes de satélites lo constituye la convergencia, en la zona comprendida entre bahía Ralún y bahía Cochamó, de los lineamientos de orientación NE - SW, provenientes desde Peulla, con los de dirección N - S que delimitan la zona de falla Liquiñe-Ofqui en esta área (ensenada Cayutue-fiordo Reloncaví), configurando entre ambos una forma de "cola de caballo" (Fig. 2).

Al este de la línea fiordo Reloncaví-ensenada Cayutue se aprecian lineamientos bien marcados, con tres orientaciones preferenciales (E-W, NE-SW y N-S); al oeste de dicha línea, en cambio, donde la densidad relativa de lineamientos es menor, éstos tienen sólo una orientación preferencial, que es NE-SW. El análisis de las imágenes LANDSAT (Sepúlveda en Thiele, *et al.*, 1985) induce a pensar que los lineamientos más antiguos serían los de orientación no preferencial NW-SE ($N 50^{\circ}W$), con un componente subortogonal $N 60^{\circ}E$, aproximadamente. Sólo después de producido este lineamiento se habría manifestado la actividad tectónica que marcó los rasgos lineales E-W y, más levemente, los N-S. Finalmente aparecen, muy marcadas, las orientaciones $N 20^{\circ} - 30^{\circ}E$, que serían indicativas de la actividad tectónica más moderna; la MLO sería contemporánea con esta última actividad.

RESTRICCIONES TEORICAS PARA LA EDAD Y CONDICIONES DE FORMACION DE LAS ESTRUCTURAS RELACIONADAS CON LA MLO

La edad del tectonismo regional y de las estructuras generadas se puede evaluar teóricamente, utilizando antecedentes del estudio de los granitoides realizado por Thiele *et al.*, (1985) y Parada *et al.* (1986). El análisis petrográfico y textural de las unidades plutónicas del área del estudio citado, sugiere que la intrusión epizonal de ellas fue, en parte, sincrónica con el proceso de deformación, el que continuó activo durante la historia de enfriamiento subsolidus de las mismas. Además, el primer

estudio estimó la profundidad más probable de emplazamiento de las unidades plutónicas en 6 km, y que la historia post-consolidacional (después de los 12,2 Ma) incluye un alzamiento y consecuente erosión de su cobertura.

Una cuantificación generalizada de la velocidad de enfriamiento puede hacerse entonces, utilizando los datos geocronológicos y petrológicos que se dispone en Parada *et al.* (1986). En efecto, en el artículo referido se establece que la cristalización de la Unidad Reloncaví ocurrió hace 16 ± 1 Ma (Rb - Sr, isocrona en roca total), a unos 900°C y a una profundidad mínima de 6 km. Si esa temperatura bajó a 300°C hace 10,3 Ma (K - Ar, en biotita), significa que descendió unos 600°C en 6 Ma.

Por lo tanto, el enfriamiento subsolidus fue de unos 100°C por cada millón de años, entre 16 a 10 Ma. Con la información disponible, se puede trazar curvas de velocidad de enfriamiento a partir de 300°C y estimar la edad de formación de las rocas cataclásticas de la porción de la MLO estudiada, como se expone en la Fig. 5.

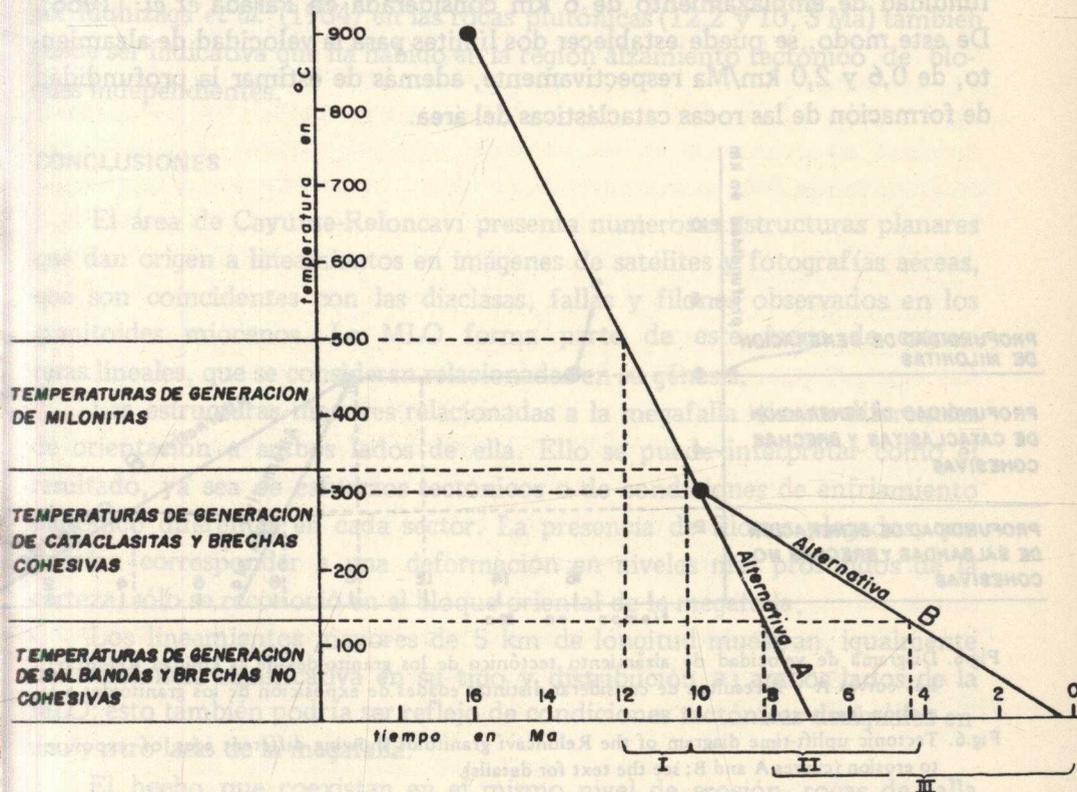


Fig.5. Diagramas de velocidad de enfriamiento de los granitoides de la Unidad Reloncaví. Temperaturas de formación de las rocas de falla según Sibson (1977). I, II, y III representan respectivamente, el rango de edad para la formación de las milonitas; (I), de las cataclásitas y brechas cohesivas (II) y de la salbanda y brechas no cohesivas (III).

Fig. 5. Temperature-time diagram of the Reloncaví granitoids, illustrating the age and formation temperature intervals of mylonites (I), cataclastic rocks and cohesive breccias (II) and non-cohesive breccias (III).

Una alternativa (A) es suponer que la tasa de enfriamiento de 100°C por cada millón de años, siguió constante hasta los 0°C , lo que significaría que los granitoides habrían aflorado hace unos 7 Ma. En este caso, si se consideran las temperaturas de formación de las rocas de falla según Sibson (1977), las cataclasitas y brechas cohesivas, que son las rocas de fallas más abundantes de la zona de falla Liquiñe-Ofqui, se habrían generado entre los 10 y los 8 Ma. La otra alternativa de enfriamiento (B) es suponer que los granitoides afloraron en épocas muy recientes (el caso extremo en la gama de posibilidades que ofrece el modelo teórico es 0 Ma), lo que amplía el rango de edad para la generación de cataclasitas y brechas cohesivas hasta los 4 Ma.

La Fig. 6 presenta las curvas de velocidad de alzamiento de los plutones del área, tomando en cuenta las edades alternativas de exposición de los granitoides a la erosión (7 y 0 Ma), estimadas a partir de la figura 5, y la profundidad de emplazamiento de 6 km considerada en Parada *et al.* (1986). De este modo, se puede establecer dos límites para la velocidad de alzamiento, de 0,6 y 2,0 km/Ma respectivamente, además de estimar la profundidad de formación de las rocas cataclásticas del área.

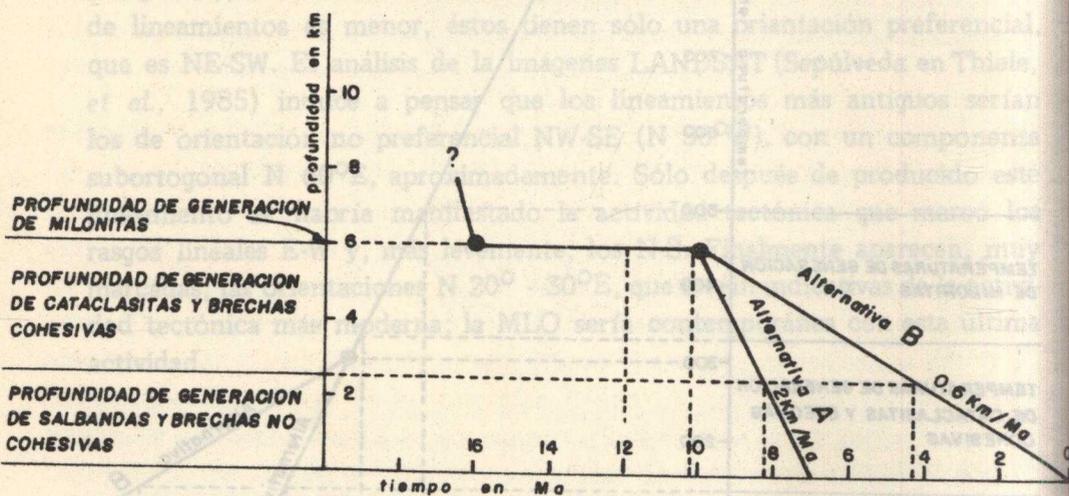


Fig.6. Diagrama de velocidad de alzamiento tectónico de los granitoides de la Unidad Reloncaví. Las curvas A y B resultan de considerar distintas edades de exposición de los granitoides a la erosión (ver texto).

Fig.6. Tectonic uplift-time diagram of the Reloncaví granitoids showing different ages of exposure to erosion (curves A and B; see the text for details).

De acuerdo a Sibson (1977), las milonitas, cataclasitas y brechas son rocas que resultan del fallamiento, a profundidades progresivamente más bajas. Este autor consideró probables profundidades de formación 10 a 15 km para las milonitas, 4 a 10 km para las cataclasitas y brechas cohesivas, y menos de 4 km para las brechas no cohesivas y salbandas, en áreas con gradientes geotérmico "normal", i.e. $33^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Sin embargo, es probable

que durante el emplazamiento y enfriamiento de los granitoides del área el gradiente geotérmico haya sido considerablemente mayor, tal vez del orden de $50^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (Parada *et al.*, 1986); si estas consideraciones son reales, las profundidades de generación de las rocas de fallas del área estudiada serían inferior que las indicadas por Sibson (i.e. la brecha cohesiva de Pucheguín se habría generado a una profundidad entre 6 y 2 km: Fig. 6).

Si se considera la velocidad media del alzamiento de $0,6\text{ km}/\text{Ma}$ (alternativa B, Fig. 6), los 30 m de altura (s.n.m.) actual de los depósitos de conchuelas modernas que existen en la ribera oriental del fiordo, indicarían una edad aproximada para ellos de 50.000 años. Sin embargo, como la conchuela es post-glacial (< 11.000 años), se infiere que, desde su depositación, el alzamiento debió ser más rápido que el promedio desde el Mioceno. Faltan antecedentes, sin embargo, para decidir si este alzamiento involucra a toda el área como un bloque o solamente al bloque al E de la traza de la MLO, donde se ubica el depósito de conchuela. La diferencia de edades detectada por Munizaga *et al.* (1984) en las rocas plutónicas (12,2 y 10,3 Ma) también puede ser indicativa que ha habido en la región alzamiento tectónico de bloques independientes.

CONCLUSIONES

El área de Cayutue-Reloncaví presenta numerosas estructuras planares que dan origen a lineamientos en imágenes de satélites y fotografías aéreas, que son coincidentes con las diaclasas, fallas y filones observados en los granitoides miocenos. La MLO forma parte de este juego de estructuras lineales, que se consideran relacionadas en su génesis.

Las estructuras menores relacionadas a la megafalla tienen diferencias de orientación a ambos lados de ella. Ello se puede interpretar como el resultado, ya sea de esfuerzos tectónicos o de condiciones de enfriamiento plutónico diferentes en cada sector. La presencia de filones plegados, que podrían corresponder a una deformación en niveles más profundos de la corteza, sólo se reconoció en el bloque oriental de la megafalla.

Los lineamientos mayores de 5 km de longitud muestran, igualmente una diferencia significativa en su tipo y distribución a ambos lados de la MLO; esto también podría ser reflejo de condiciones tectónicas desiguales en uno y otro lado de la megafalla.

El hecho que coexistan en el mismo nivel de erosión, rocas de falla que se generan a distintos niveles de profundidad, puede explicarse, ya sea suponiendo que las más superficiales (brechas) se generaron después y a expensas de las más profundas (milonitas), a medida que los granitoides, en ascenso tectónico, eran descubiertos por la erosión, o a movimientos de componente vertical diferenciado de los bloques. Los escasos efectos observados de

actividad superficial de la falla, tales como salbanda o brechas no cohesionadas, se explicaría por la alta actividad de la erosión habida hasta la actualidad.

Las observaciones resumidas aquí conducen a suponer que, en el área de estudio, el bloque oriental de la megafalla habría ascendido respecto al bloque occidental. A este ascenso diferenciado puede asociarse, tentativamente, la generación de las estructuras menores del área y de las cataclásitas y brechas cohesivas, lo que habría ocurrido entre hace 10 y 4 Ma. Este alzamiento regional del área puede continuar aún en la actualidad, aún cuando se ha observado sólo escasas evidencias de falla en los sedimentos o depósitos volcánicos del área de Cochamó, los que probablemente están depositados sobre los granitoides de la zona de falla.

Respecto a un posible movimiento transcurrente dextral anterior al movimiento vertical supuesto, tal como lo sugirió Hervé (1976 y 1977) para el área de Liquiñe, en el área de estudio no se observaron rasgos estructurales que lo demuestren, pero ello bien pudo haber ocurrido antes que las rocas intrusivas se emplazaran en la región de Reloncaví.

A este eventual movimiento transcurrente podría estar asociado el juego de fracturas N 20° - 30° E, que es el que aparece más marcado y con mayor densidad de ocurrencia en las imágenes satélites, además de controlar el emplazamiento de la mayor parte de los filones observados.

El hecho que en los granitoides del área de estudio no exista un desarrollo importante de milonitas a lo largo de la zona de falla, tal como se observa en Liquiñe y otros tramos de la megaestructura, se debería a que la intrusión de los plutones aquí ha sido posterior a dicha generación de milonitas, y no como en Liquiñe donde los granitoides son de edad aparentemente más antigua que Mioceno (Hervé, M., 1984).

También se puede considerar la existencia, en la zona de falla, de fisuras principales Fig. 4, que controlaron el ascenso del material ígneo de los centros volcánicos independientes edificadas a lo largo de la megafalla, y cuyas características geoquímicas insinúan que puede provenir directamente del manto (Lahsen *et al.*, 1985). En este caso la zona de falla, restringida a los límites del fiordo Reloncaví y de ensenada Cayutue, alcanzaría actualmente la profundidad del manto superior en esta latitud.

Agradecimientos

Se agradece a ENDESA, que permitió la publicación de estos resultados, que se presentan como una contribución al Proyecto P.I.C.G. N° 202 Megafallas de Sudamérica. Este artículo es también un aporte al programa de Investigación de los Grants E 2456 y 1702 de la Dirección de Investigación y Biblioteca (DIB) de la Universidad de Chile.

REFERENCIAS 37 (1986): 49-64

- Araneda, M. y Avendaño, M. 1985. Estudio Gravimétrico de la Falla Liquiñe-Ofqui, en los sectores Seno Cāyutue, Bahía Ralún y Cochamó Punta Pocolihúen. Actas 4^o Congr. Geol. Chileno, Antofagasta, I(2): 1-16.
- Fuenzalida, J.L. 1979. Estudio geológico preliminar de Península Huequi, X Región. Memoria de Título, Depto. de Geol., Universidad de Chile, Santiago.
- Hervé, F. 1984. Rejuvenecimiento de edades radiométricas en la zona de falla Liquiñe Ofqui en Aysén. Comunicaciones, 34: 107-115.
- Herve, F.; Moreno, H.; Parada, M.A. 1974. Granitoids of the Andean Range of Valdivia Province, Chile. Pacific Geology, 8: 39-45.
- Hervé, F.; Fuenzalida, J.; Araya, F. y Solano, A. 1979. Edades radiométricas y tectónicas neógena en el sector costero de Chiloé Continental, X Región. Actas 2^o Congr. Geol. Chileno, Arica. I(F): 1-18.
- Hervé, M. 1976. Estudio geológico de la Falla Liquiñe-Reloncaví en el área de Liquiñe: antecedentes de un movimiento transcurrente. Actas 1^{er} Congr. Geol. Chileno, Santiago, I(B): 39-56.
- Hervé, M. 1977. Geología del área al este de Liquiñe, Provincia de Valdivia, X Región. Memoria de Título, Depto. de Geol. Univ., de Chile, Santiago.
- Hervé, M. 1984. La zona de falla Liquiñe-Ofqui en Liquiñe. Comunicaciones, 34: 101-105.
- Klohn, C. 1960. Una zona de inestabilidad estructural con fracturas profundas en los Andes del Sur de Chile, reactivadas en el terremoto del 22 de Mayo de 1960. Informe inédito. Inst. Invest. Geol., Santiago.
- Lahsen, A.; Moreno, H.; Varela, J.; Munizaga, F. y López, L. 1985. Geología y Riesgo Volcánico del volcán Calbuco y Centros Eruptivos Menores, Proyecto Canutillar. Informe inédito, Convenio ENDESA-Depto de Geol. y Geofis. Univ. de Chile, Santiago.
- Moreno, H. y Parada, M., 1974. Geología del área de Liquiñe, Neltume y lago Pihueico, Proyecto Hidroeléctrico Neltume. Informe Inédito, Inst. de Invest. Geol, Santiago.
- Moreno, H. y Parada, M.A. 1976. Esquema geológico de la cordillera de los Andes entre los paralelos 39°00' y 41°30'S. Actas 1^{er} Congr. Geol. Chileno, Santiago, I(A): 213-226.
- Munizaga, F.; Hervé, F. y Drake, R. 1984. Geocronología K-Ar del extremo septentrional del Batolito Patagónico en la región de Los Lagos, Chile, Actas 9^o Congr. Geol. Argentino, Bariloche, III: 133-145.
- Munizaga, F.; Hervé, F.; Drake, R.; Brook, M. Pankhurst, R. y Snelling, N. 1985. Geochronology of the Granitoids: Chilean Lake Region (38° - 42° S.L.). Comunicaciones, 35: 167-170.
- Nelson, E. y Forsythe, R. 1984. Field report Taitao expedition, March 11-23. Informe inédito, Dep. of Geol. Sc., C.S. of M., Go., Colorado.
- Parada, M.A.; Hervé, F.; Godoy, E. y Thiele, R. 1968 (en prep). Miocene calc-alkaline plutonism in the Chilean Southern Andes (41°00' - 41°45'S). Resumen enviado al Int. Symp. on Granits and Assoc. Mineralization, Bahía.
- Saint Amand, P. 1961. Los terremotos de Mayo - Chile 1960. Tech. Article 14 Michelsen Lab. US Naval Ordenance Test Station, China Lake, California.
- Sibson, R.H. 1977. Fault rocks and fault mechanism. J. Geol. Soc. Lond. 133: 191-213.
- Thiele, R.; Godoy, E.; Hervé, F.; Parada, M.A. y Varela, J. 1985. Estudio Geológico Estructural Regional y Tectónico del área Petrohué Canutillar, Proyecto Canutillar. Informe inédito, Convenio ENDESA-Depto. de Geol. y Geofis. Univ. de Chile, Santiago.

