

## ACTIVIDAD CRETACICA DE LA FALLA ATACAMA AL ESTE DE CHAÑARAL: MILONITIZACION Y PLUTONISMO.

J. A. NARANJO\*, F. HERVE\*\*, X. PRIETO\*\*, F. MUNIZAGA\*\*

\*Servicio Nacional de Geología y Minería, Casilla 10465, Santiago.

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

### RESUMEN

En la Quebrada Saladito afloran rocas miloníticas que se han desarrollado en el contacto entre los batolitos Sierra Minillas (Jurásico) y Sierra Pastenes (Cretácico inferior). Las milonitas están situadas a lo largo de la traza más occidental del segmento Salado de la Zona de fallas Atacama (ZFA).

Edades radiométricas K-Ar de minerales de las milonitas dan edades neocomianas similares a las de un apófisis no deformado del Batolito Sierra Pastene que las intruye. Esto indica que el mencionado Batolito intruyó sintectónicamente con los movimientos que originaron las milonitas, y que éstas no han experimentado calentamiento por encima de la temperatura de retención de Ar de la hornblenda y de la biotita con posterioridad al Cretácico Inferior.

Se postula que en el Cretácico Inferior existieron algunos elementos similares a los que configuran un borde continental activo de tipo Mariana i.e. un bloque costero con un arco volcánico separado de una zona de extensión tras arco por una falla transcurrente: la ZFA.

### ABSTRACT

At Saladito Gulch, a strip of mylonitic rocks has developed in the contact between the Jurassic Sierra Minillas and the Neocomian Sierra Pastenes Batholiths. The mylonites are located along the westernmost trace of the Salado segment of the Atacama fault zone (ZFA).

K Ar ages on minerals of the mylonites and of an undeformed apophysis of the Sierra Pastenes Batholith which intrudes them give concordant neocomian ages. This is interpreted as indicative of a syntectonic emplacement of the Sierra Pastenes Batholith along the ZFA, during the generation of the mylonites, which were not heated afterwards over the Ar retention temperature of biotite and hornblende.

The geologic setting during the neocomian in the area has some elements in common with the Mariana type of active continental margin, i.e. a coastal block with a volcanic arc separated from a back arc extension zone by a transcurrent fault: the ZFA.

### INTRODUCCION

Uno de los principales rasgos tectónicos del norte de Chile es la Zona de Falla Atacama (ZFA), la cual se extiende con una dirección general norte-sur, por unos 1000 km. Esta zona de falla ha sido estudiada con algún detalle por St. Amand y Allen (1960) y Arabasz (1968 y 1971), en relación al tipo, edad y cantidad de los movimientos a lo largo de sus trazas. St Amand y Allen (1960) sugirieron que la falla era activa con un movimiento

paralelo al rumbo y que en su extremo norte estaba truncada con un desplazamiento sinistral por la falla Taltal de rumbo noroeste. Arabasz (1968 y 1971) subdivide la ZFA en diversos segmentos y trazas (Fig. 1) que al sur de Taltal limitan a las volcanitas jurásicas de la Formación La Negra por el este. Además, sugiere que se mantuvo activa desde antes del Cretácico Superior hasta el Cuaternario.

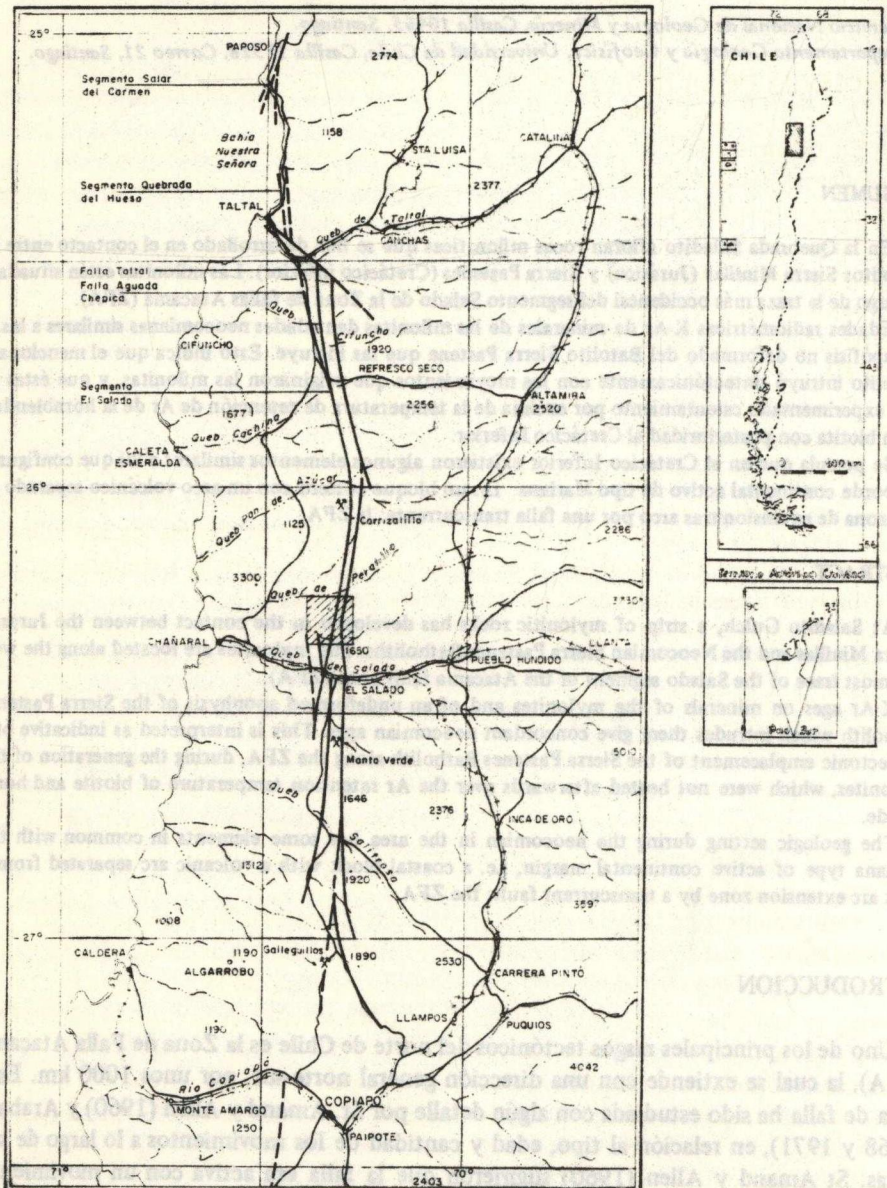


Fig. 1. La Zona de Falla Aconcagua entre los 25° y 27°30'S (modificado de Arabasz, 1971) y ubicación del área de estudio.

Levantamientos geológicos recientes a la latitud de 26° sur (Mercado, 1978a; Naranjo, 1978), han permitido la identificación de buenos afloramientos de rocas de falla a lo largo de la ZFA formadas principalmente a partir de cuerpos graníticos, como es el caso en Quebrada Saladito (Fig. 2) que se describe en este trabajo.

Los objetivos de este trabajo son presentar nuevos antecedentes petrográficos y de terreno, así como edades radio isotópicas K-Ar de rocas de la ZFA del sector antes mencionado, que permiten establecer la edad del movimiento a lo largo de una de sus trazas, y evaluar su relación con el emplazamiento del Batolito Sierra Pastenes.

## GEOLOGIA DE LA ZONA DE FALLA ATACAMA EN QUEBRADA SALADITO

En Quebrada Saladito (26°19'S) hay bandas de rocas de falla a lo largo de la traza más occidental de la ZFA, generada a partir de rocas plutónicas que intruyen a volcanitas jurásicas y cretácicas.

En el área se distinguen dos unidades de rocas volcánicas y volcanoclásticas: la Formación La Negra (Jurásico Medio a Superior) que aflora al oeste de la zona de falla y los Estratos de los Cerros Florida (Cretácico Inferior, Naranjo, 1978), al este de ella (Fig. 2). Estas unidades no están directamente afectadas por la franja principal de rocas de falla de la ZFA.

Al oeste de la ZFA, el Batolito Sierra Minillas (Naranjo, 1978) intruye a las volcanitas de la Formación La Negra

Este plutón consiste de granitos de feldespato alcalino de grano medio (Índice de Color = 11), tipo sien y monzogranitos, constituidos principalmente de feldespato potásico micropertítico, oligoclasa-andesina y cuarzo, con biotita y hornblenda subordinada. Se observa una marcada alteración de los minerales máficos a clorita y epidota. Localmente se distinguen variedades granodioríticas y monzodioríticas.

El Batolito Sierra Minillas está en continuidad areal, al sur de Quebrada del Salado (26°25'S, Fig. 3) con los plutones Las Animas y Guamanga (Berg y Breikreuz, 1983). En base a sus características geoquímicas e isotópicas estos autores infieren un carácter tipo I para esos plutones.

El Batolito Sierra Pastenes (Naranjo, 1978) se ubica al este de la traza más occidental de la ZFA y constituye un cuerpo alargado paralelamente a ella. Fuera del área específica de este trabajo, intruye a los Estratos de los Cerros Florida (Cretácico Inferior) y en Quebrada Saladito está en contacto con el Batolito Sierra Minillas por el oeste y con los Estratos de los Cerros Florida por el este.

Este batolito está formado por monzodioritas cuarcíferas de grano medio (IC = 13), tonalitas (IC = 11) y granodioritas (IC = 9), compuestas por andesina, cuarzo, feldespato potásico micropertítico biotita y hornblenda. Apófisis del Plutón Sierra Pastenes consisten en cuerpos monzograníticos y granodioríticos macizos de cientos de metros cuadrados y filones aplíticos de hasta más de un metro de ancho (Fig. 4). Las apófisis intruyen a las rocas de falla desarrolladas a partir de ambos plutones (Sierra Minillas y Sierra Pastenes) y muestran una variación gradada entre cuerpos y diques sin deformación hasta otros con claras evidencias de deformación. Este hecho podría indicar un emplazamiento sintectónico de las apófisis.

El Batolito Sierra Pastenes continua, hacia el sur de Quebrada Salado (Fig. 3), formando una franja angosta de 5 km de ancho, a lo largo de la ZFA. Allí ha sido denominado

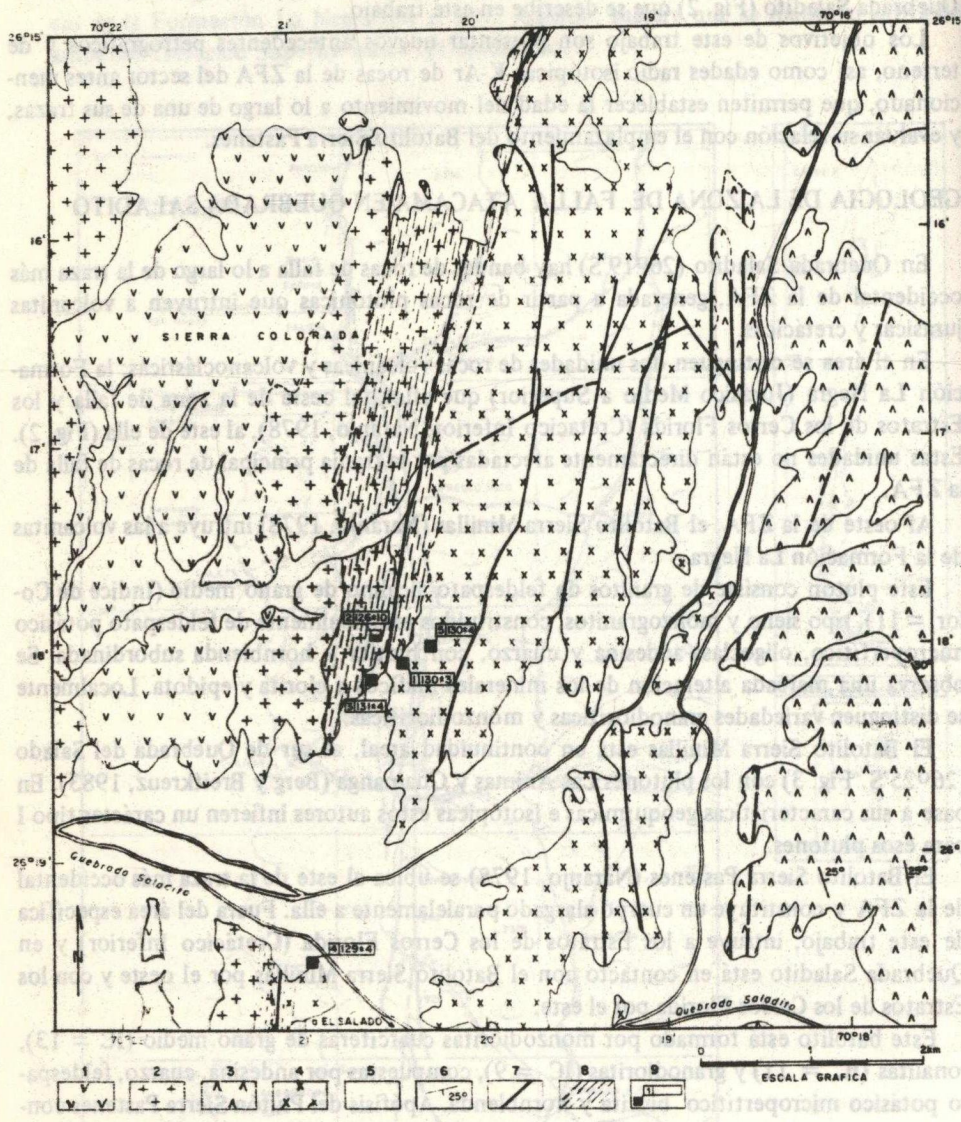


Fig. 2. La Zona de Falla Atacama en Quebrada Saladito.

1: Lavas andesíticas alteradas gris oscuro a verde y rocas piroclásticas; afloramientos macizos parcialmente con metamorfismo de contacto (Formación La Negra); 2: Sieno y monzogranitos con variedades granodioríticas y monzodioríticas, grano medio (Batolito Sierra Minillas); 3: Andesitas porfíricas y afaníticas con estratificación maciza y parcialmente amigdaloides; brechas de color pardo-violetáceo (Estratos de los Cerros Florida); 4: Monzodioritas cuarcíferas, tonalitas y granodioritas, grano medio y aptitas (Batolito Sierra Pastenes). 5: Depósitos aluviales y coluviales modernos (Cuaternario); 6: Rumbo y manteo de los estratos. 7: Fallas y fracturas; 8: Rocas de falla; 9: Edad K-Ar (biotita; anfíbola); número correlativo ver Tablas I y II.

Plutón Granodiorítico El Salado por Berg y Breitreuz (1983). Esto autores han sostenido que estas rocas ígneas provienen de magmas originados predominantemente en el manto, sin contaminación cortical significativa.

## LA ZONA DE FALLA ATACAMA EN QUEBRADA SALADITO

Los afloramientos de Quebrada Saladito forman parte del segmento de la ZFA denominado El Salado por Arabasz (1971) (Fig. 1) el que ha tenido una atención particular, pues constituye un sector en el cual hay numerosas áreas mineralizadas asociadas. Este segmento se extiende en forma más o menos continua a lo largo de unos 190 km entre Quebrada Taltal (25°30'S), y Sierra Pajonales (27°S), 40 km al norte de Copiapó. En Quebrada Saladito la ZFA tiene 4 km de ancho e incluye numerosas fallas entrecruzadas.

La expresión superficial de estas fallas es variada. La rama más oriental es una zona angosta de diferentes fallas paralelas norte-sur, separadas entre sí por 100 a 25 m; ésta yuxtapone rocas del Batolito Sierra Pastenes con volcanoclastitas de los Estratos de los Cerros Florida por el este. A lo largo de la rama oriental afloran discontinuamente bloques elongados de calizas muy deformadas; se vinculan también a esta falla, zonas de alteración hidrotermal en rocas mesozoicas reflejadas también en el aluvio moderno. Los rasgos morfológicos lineales desarrollados en los depósitos no consolidados son canales o valles ciegos originados por sufusión debida a la corrosión de sedimentos por aguas subterráneas, y no son de origen tectónico.

La rama más occidental tiene una traza simple de rumbo N10°E y vertical, con una expresión segmentada y sinuosa al norte y sur de Quebrada Saladito. En ella se yuxtaponen rocas del Batolito Sierra Minillas al oeste con rocas del Batolito Sierra Pastenes. Se observan franjas de rocas de falla en ambos intrusivos siendo más ancha (500 mts) aquella que se desarrolla en el intrusivo Sierra Minillas, más antiguo, que la que se desarrolla en el intrusivo Sierra Pastenes más joven (150 m).

Estas rocas pertenecen principalmente a la serie milonítica (Sibson, 1977) y tienen una marcada foliación paralela a la traza de la falla. Se distinguen bandas de ancho variable no determinado, de milonitas, protomilonitas y protocataclasitas. Hay apófisis del batolito más joven de hasta 0.5 km<sup>2</sup>, casi sin deformación, que intruyen a las bandas de rocas de falla (Fig. 4). Estas apófisis incluyen xenolitos (1 cm hasta 7 m de diámetro) de protomilonitas y milonitas.

Se observan venas y diques aplíticos de 0.5 cm hasta 1 m de ancho que se desprende de las apófisis, y también otros sin relación espacial aparente con ellos, y que intruyen a los milonitas tanto concordantemente o discordantemente a la foliación.

## GEOCRONOLOGIA

Se presentan tres nuevas edades K-Ar de rocas plutónicas y de rocas de falla derivadas (Tabla I), las cuales se agregan a datos K-Ar previamente publicados (Zentilli, 1974; Ulrikson, 1979) y a varias edades Rb-Sr y Pb-U (Berg y Breitreuz, 1983) (Tabla II).

Las determinaciones fueron realizadas en el Institute of Geological Sciences (Gran Bretaña) y en el laboratorio de Geocronología del Servicio Nacional de Geología y Minería. Las edades fueron calculadas con las nuevas constantes presentadas por Steiger y Jaeger (1977).

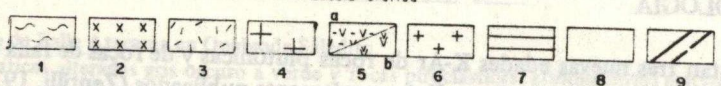
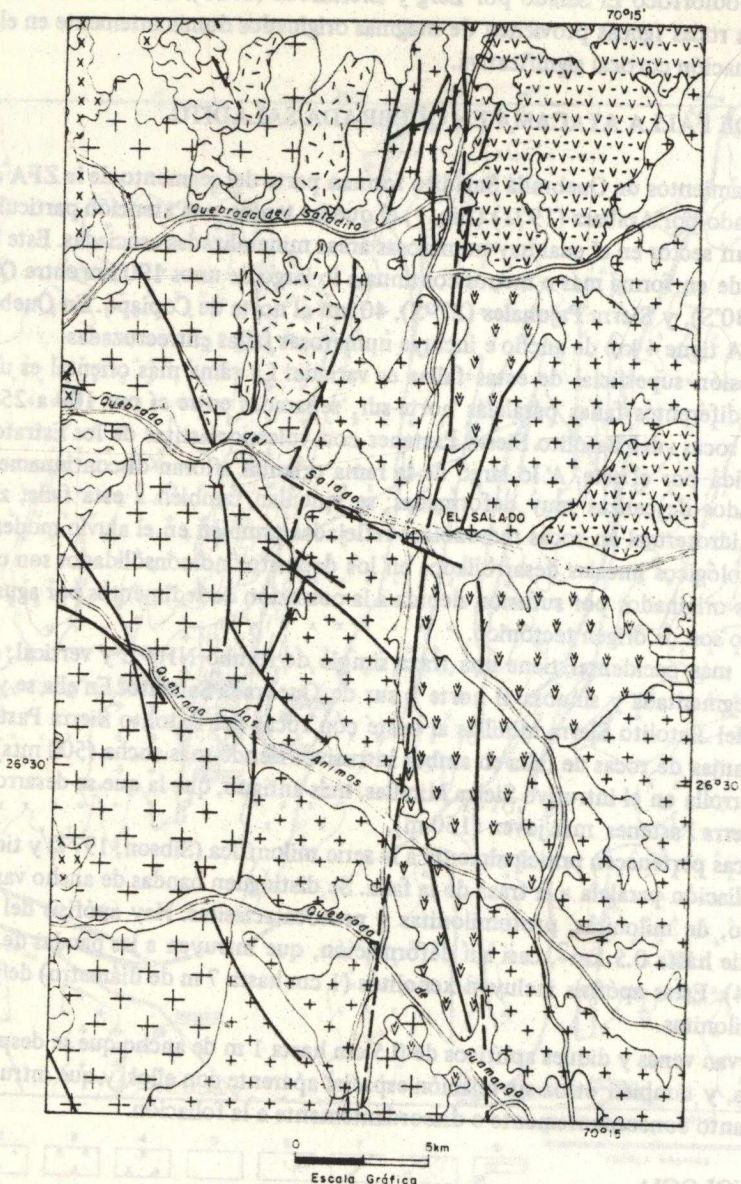


Fig. 3. Mapa geológico entre las quebradas Saladero y Guamanga, según Mercado (1978b) modificado.  
 1: Basamento Metasedimentario (Ordovícico-Devónico); 2: Batolito Cerros del Vetado (Paleozoico);  
 3: Formación La Negra (Jurásico); 4: Batolito Sierra Minillas - plutones Las Animas - Guamanga  
 (Jurásico-Cretácico); 5: a) Estratos de los Cerros Florida (Cretácico Inferior), b) Formación Bandurrias  
 (Cretácico Inferior); 6) Batolito Sierra Pastenes-Plutón El Salado (Cretácico Inferior); 7) Gravas de  
 Atacama (Mioceno); 8: Cuaternario aluvial y coluvial; 9: Fallas.

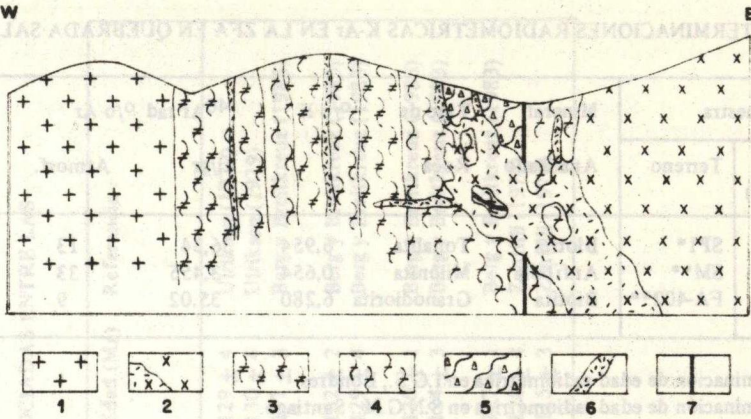


Fig. 4. Perfil esquemático no a escala. a través de la traza más occidental de la ZFA en Quebrada Saladito.

1: Monzodiorita cuarcífera, Batolito Sierra Minillas; 2. Granodiorita-monzogranito, Batolito Sierra Pastenes y Apófisis. 3: Milonitas con orientación de anfíbola y biotita; porfiroclastos de plagioclasa, matriz de textura poligonal granoblastica 4: Protomilonitas con orientación de anfíbola y biotita (clorita); porfiroclastos de plagioclasa y feldespatos potásico, matriz de textura poligonal granoblastica cataclástica; 5: Protocataclasitas con orientación de biotita y anfíbola; 6: Aplitas; 7: Traza de falla.

## DISCUSION

El Batolito Sierra Minillas que aflora en continuidad con el Plutón Guamanga-Las Animas (Fig. 3) de edad jurásica ( $\sim 160$  Ma; Berg y Breitreuz, 1983), fue milonitizado en la falla más occidental de la ZFA. Esas rocas de falla están intruidas por apófisis del Batolito Sierra Pastene ( $131 \pm 4$  Ma.. K-Ar biotita, N° 3, Tabla 1). Edades K-Ar de rocas de falla derivadas de ambos batolitos, Sierra Minillas y Sierra Pastenes, son de  $126 \pm 10$  Ma y  $130 \pm 3$  Ma, en anfíbola y biotita, respectivamente (Nos 2 y 1, Tabla I), las que son concordantes y coincidentes con las edades K-Ar en el último batolito (Tabla II).

Estas relaciones y edades indican que la zona de falla de Quebrada Saladito estaba activa durante el Cretácico Inferior. Esta también parece ser la edad de intrusión del Batolito Sierra Pastenes (o Plutón El Salado) como lo indican las edades K-Ar (Nos 4 y 5, Tabla II) indicadas por Ulriksen (1979) y Rb-Sr y U-Pb en zircones (Nos 8 y 9, Tabla II), publicadas por Berg y Breitreuz (1983) y es razonable pensar que este plutón fue emplazado a lo largo de la ZFA.

Las edades K-Ar indican que las rocas intrusivas y de falla asociadas a esta rama de la ZFA no han sido recalentadas, sobre la temperatura crítica de retención de Ar de biotita y anfíbola, después del Cretácico Inferior. Probablemente, la actividad tectónica de ZFA ha disminuido en forma paulatina desde ese tiempo. Localmente, se han desarrollado brechas de falla que evidencian movimientos esporádicos en un ambiente más cercano a la superficie.

Se ha sugerido que los grandes cinturones de rocas de falla se formarían en la parte central de arcos volcano plutonicos donde la corteza perdería gran parte de su rigidez, debido a la actividad magmática ampliamente distribuida y asociada a un elevado flujo

TABLA I

DETERMINACIONES RADIOMETRICAS K-Ar EN LA ZFA EN QUEBRADA SALADITO

Nº Muestra		Mineral	Tipo de	o/o K	<sup>40</sup> Ar rad	o/o Ar	Edad y
Correl.	Terreno	Analizado	Roca		nl/gr	Atmosf.	error (Ma)
1	SP1*	Biotita	Tonalita	6,954	36,34	13	130 ± 3
2	SM**	Anfíbola	Milonita	0,654	3,455	33	126 ± 10
3	FA-402**	Biotita	Granodiorita	6,280	35,02	9	131 ± 4

\*Determinación de edad radiométrica en I.G.S., Londres

\*\*Determinación de edad radiométrica en S.N.G.M., Santiago.

calórico. Este podría ser el caso de la ZFA, la cual en el área, se extiende entre medio de plutones contemporáneos.

Al este de la ZFA y principalmente cerca de Copiapó, se habría desarrollado una cuenca marina ensiálica de trasarco durante el Cretácico Inferior y algunos autores (por ejemplo, Levi y Aguirre, 1981) han postulado la existencia de un régimen tectónico tensional para esa época. En forma análoga, estos rasgos tectónicos pueden ser relacionados al modelo propuesto por Uyeda (1982), interpretándose para ese tiempo una zona de subducción posiblemente del tipo bajo "stress" semejante al tipo Mariana (Fig. 5).

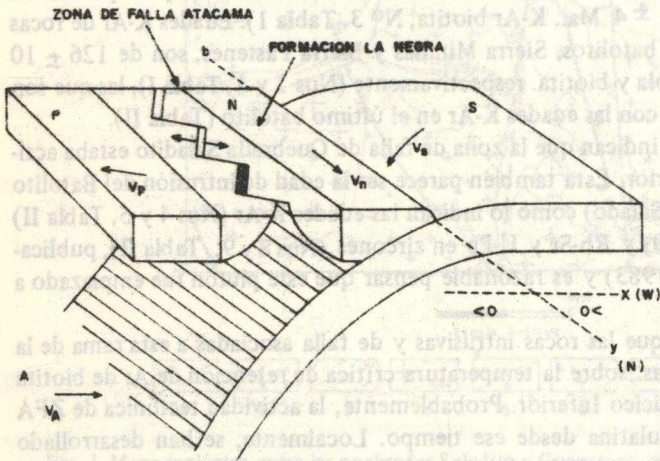


Fig. 5. Diagrama esquemático de geometría de subducción según Uyeda (1983) aplicado a la Zona de Falla Atacama, durante el Cretácico Inferior. P- placa pendiente con velocidad  $V_p$ ; S- placa subductada con velocidad  $V_s$ ; N- microplaca arco volcánico La Negra con velocidad  $V_n$ ; A- astenófera con velocidad  $V_a$ ; b- línea de máxima curvatura (bisagra) de la fosa. Si  $V_p < 0$ , sucede la situación de bajo "stress" tipo Mariana, con extensión tras arco.



TABLA II

DETERMINACIONES RADIOMETRICAS DE LA ZFA Y ROCAS PLUTONICAS ASOCIADAS ENTRE LAS QUEBRADAS SALADITO Y GUAMANGA

No de Muestra		Unidad Datada	Método	Material	Edad (Ma)	Referencia
Correlativo (Figs. 2 y 3)	Terreno					
4	JN-348	Batolito Sierra Pastenes	K-Ar	Biotita	129 ± 4	Ulinksen (1979)
5	JN-322	Batolito Sierra Pastenes	K-Ar	Biotita	130 ± 4	Ulinksen (1979)
6	CH <sub>10</sub>	Plutón Las Animas	Rb-Sr	Isocrona en Biotita y roca total	157 ± 3	Berg y Breitzkreuz (1983)
7	CH <sub>10</sub>	Plutón Las Animas	U-Pb	Circón	162 ± 2	Berg y Breitzkreuz (1983)
8	6 muestras	Plutón Cuesta El Salado	Rb-Sr	Isocrona en vocatotal	129 ± 4	Berg y Breitzkreuz (1983)
9	DH <sub>10</sub>	Plutón Cuesta El Salado	U-Pb	Circón	130 ± 1	Berg y Breitzkreuz (1983)
10	GI <sub>0</sub>	Plutón Cuesta Dieciocho	Rb-Sr	Isocrona en Biotita y roca total	124 ± 3	Berg y Breitzkreuz (1983)
11	GI <sub>0</sub>	Plutón Cuesta Dieciocho	U-Pb	Circón	127 ± 1	Berg y Breitzkreuz (1983)
12	SH-518	Plutón Cuesta Dieciocho	K-Ar	Biotita	120 ± 4	Zentilli (1974)
13	SH-518	Plutón Cuesta Dieciocho	K-Ar	Biotita	115 ± 3	Zentilli (1974)

## AGRADECIMIENTOS

El Servicio Nacional de Geología y Minería financió el mapeo regional del área considerada. El Grant E 083 de la Dirección de Investigación y Bibliotecas financió parte del trabajo de terreno y laboratorio. El Dr. E. Nelson, Colorado School of Mines, contribuyó en una visita al área estudiada. Los colegas M. Hervé y A. Puig realizaron una de las dataciones K-Ar.

## REFERENCIAS

- Arabasz, W.J., 1968. Geologic structure of the Taltal area, northern Chile, in relation to the earthquake of December 28, 1966. *Seismol. Soc. Amer. Bull.*, 58: 835-842.
- Arabasz, W.J., 1971. Geological and Geophysical studies of the Atacama Fault zone in northern Chile, Ph. D. Thesis. Calif. Inst. Technology, Pasadena, U.S.A.
- Berg, K., Breitzkreuz, C. 1983. Mesozoische Plutone in der Nord-Chilenischen Küstengebiet: Petrogenese, Geochronologie, Geochemie und Geodynamik mantelbernter Magmatite. *Geotect. Forsch.*, 66: 1-107.
- Levi, B., Aguirre, L., 1981. Enslialic spreading-subsidence in the Mesozoic and Paleogene Andes of Central Chile. *J. Geol. Soc. London*, 138: 75-81.
- Mercado, M., 1978a. Cordillera de la Costa entre Chañaral y Caldera Región de Atacama, Carta Geológica de Chile, escala 1:100.000, Inst. Invest. Geol., 27.
- Mercado, M., 1978b, Hojas Chañaral y Potrerillos, escala 1:250.000, Región de Atacama. Mapas Geol. Preliminares de Chile Inst. Invest. Geol., 2.
- Naranjo, A., 1978. Geología de la zona interior de la Cordillera de la Costa entre los 26° y los 26°20' Lat. Sur, Carta Geológica de Chile, escala 1:250.000, Inst. Invest. Geol., 34.
- Naranjo, J.A., Puig, A., (en preparación). Geología de las Hojas Taltal y Chañaral, escala 1:250.000 Serv. Nac. de Geol. y Min.
- Sibson, R.H., 1977. Fault rocks and fault mechanism. *J. Geol. Soc. London*, 133: 191-213.
- St. Amand, P., Allen C.R., 1960. Strike-slip faulting in the Northern Chile, (abstr.). *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 71: 1965.
- Steiger, R.H., Jaeger, E., 1977. Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo and cosmochronology. *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 36: 359-362
- Ulriksen, C., 1979. Regional geology and Geochronology and Metallogeny of the Coastal Cordillera of Chile between 25°30' and 26°S. M. Sc. Thesis, Dalhousie Univ., Canadá.
- Uyeda, S., 1982. Subduction zones: An introduction to comparative subductology. *Tectonophysics*, 81: 133-159.
- Zentilli, M., 1974. Geological evolution and metallogenic relationships in the Andes of Northern Chile between 26° and 29° south. Ph. D. Thesis, Queens' Univ., Canadá.