

EL HORST DE SIERRA CASTILLO EN LA CORDILLERA DE DOMEYKO, AL OCCIDENTE DEL SALAR DE PEDERNALES: SUS FALLAS LIMITES BARRANCAS Y SIERRA CASTILLO

JOSE PERELLO L.*; GUILLERMO MULLER M.**

*Minera Utah de Chile. Casilla 648, Antofagasta.

**Departamento de Geología, Codelco-Chile. División El Salvador.

RESUMEN

La Sierra Castillo, ubicada al occidente del Salar de Pedernales, en la Región de Atacama, corresponde a un horst de zócalo plutónico paleozoico que ha sido sollevado mediante un sistema de fallamiento inverso submeridiano, de varias decenas de kilómetros de longitud. Las fallas límites de este horst corresponden a la Falla Sierra Castillo, occidental, y a la Falla Barrancas, oriental, y a ellas se asocia un conjunto de rocas generadas por procesos de metamorfismo dinámico, que incluye esquistos y rocas néisicas.

De acuerdo con los espesores de las unidades litoestratigráficas afectadas por estas estructuras, ellas habrían experimentado un rechazo aproximado de unos 3000 a 3500 m. La edad del fallamiento es esencialmente terciaria (pre-Mioceno Superior), aún cuando no se descarta la posibilidad que ellas sean más antiguas, en favor de lo cual se entregan algunos antecedentes.

ABSTRACT

The Sierra Castillo is located on the western side of the Salar de Pedernales, in the Atacama Region, and corresponds to a Paleozoic plutonic basement horst, which has been uplifted by a subparallel north-south trending fault system, several tens of kilometers long. The border faults of this horst include the western Sierra Castillo Fault and the eastern Barrancas Fault. Related to both faults, rocks of dynamic metamorphism are exposed, with dynamic schists and less "gneisses"

The amount of displacement of these structures, as indicated from the thickness of the units affected by the movement, is of the order of 3000 - 3500 m. A predominantly Tertiary (pre Upper Miocene) age is inferred for the faulting, but some evidence is presented that a reactivation of older structures may have occurred.

INTRODUCCION

El ámbito geológico de la región precordillerana ubicada al occidente del Salar de Pedernales (26°15' Lat. S - 69°16' Long. W; Fig. 1), se caracteriza por poseer un conjunto de unidades rocosas que, en edad, se extienden desde el Paleozoico superior al Terciario Superior.

La geología del área ha sido estudiada por diferentes autores, entre los que destacan, por el detalle alcanzado en sus trabajos, Harrington (1961), García (1960 y 1967), Tobar (1977), Pérez (1978 y 1982) y, Müller y Perelló (1982). Según estos últimos autores, se

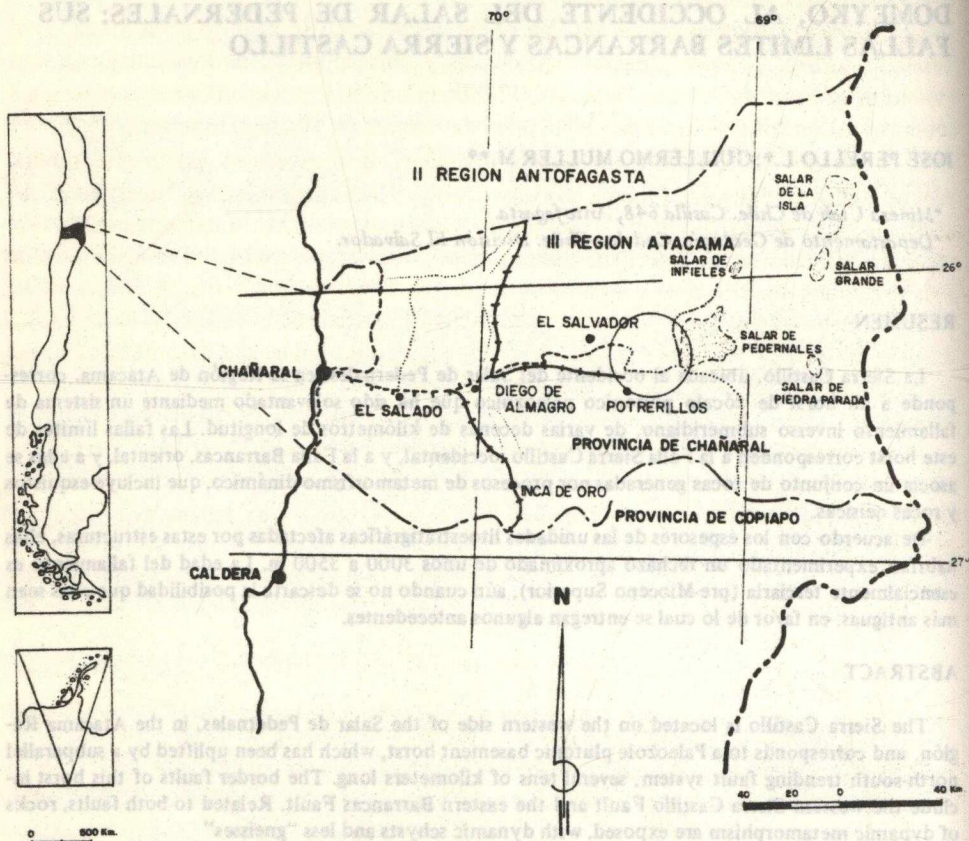


Fig. 1. Mapa de ubicación.

distinguen en este sector terrenos del zócalo preandino (Paleozoico superior - Triásico) y terrenos de la cobertura andina (Mesozoico - Cenozoico) (Fig. 2). Los terrenos del zócalo corresponde a :

- Una secuencia volcánica riolítica de edad permo-triásica inferior (Formación La Tabla) y,
- Un complejo de rocas graníticas del Paleozoico superior-Triásico, que actualmente afloran separadas en dos bloques: al occidente el Bloque de Sierra Castillo y al oriente el Bloque de Sierra Bórax.

Los terrenos de la cobertura incluyen una secuencia sedimentaria marina del Jurásico Inferior-Neocomiano inferior, en partes, con abundante material volcánico. De acuerdo con Müller y Perrelló (*op. cit.*), ellas se agrupan en las siguientes unidades, de más antiguo

a más moderno: Estratos de San Juan (Sinemuriano); Formación Montandón (Pliensbachiano - Bajociano medio); Formación Asientos (Bajociano medio - Caloviano) y, Formación Pedernales (Titoniano - Berriasiano).

Los depósitos restantes, que abarcan desde el Cretácico Inferior (post-Berriasiano) al Terciario superior, tienen carácter continental y corresponden, de más antiguo a más moderno, a: Formación Agua Helada (Cretácico Inferior); Formación Cerrillos (Cretácico Superior) y Depósitos de Gravas (= "Gravas de Atacama"; Mioceno superior).

La estructura del área es compleja. Se distinguen dos elementos morfoestructurales mayores, correspondientes a lo que Müller y Perelló (1982) denominaron "Horst de Zócalo de Sierra Castillo" (limitado al oeste y este por fallas inversas submeridianas de alto ángulo) y, al "Bloque de Zócalo de Sierra Bórax-Cerros de Pedernales". Entre ambos bloques se dispone una franja de cobertura, muy plegada y fallada inversamente, constituyendo una serie de escamas tectónicas con vergencia al este. En todo el sector, las rocas paleozoicas y las formaciones marinas mesozoicas han sido intensamente deformadas en respuesta a una compresión general, que según Tobar (1977) tendría una dirección oeste-este.

En la presente nota se caracteriza petrográficamente el Horst de Zócalo de Sierra Castillo y se analizan sus relaciones estructurales con las rocas que lo limitan, tanto al occidente mediante la Falla Sierra Castillo como al oriente mediante la Falla Barrancas.

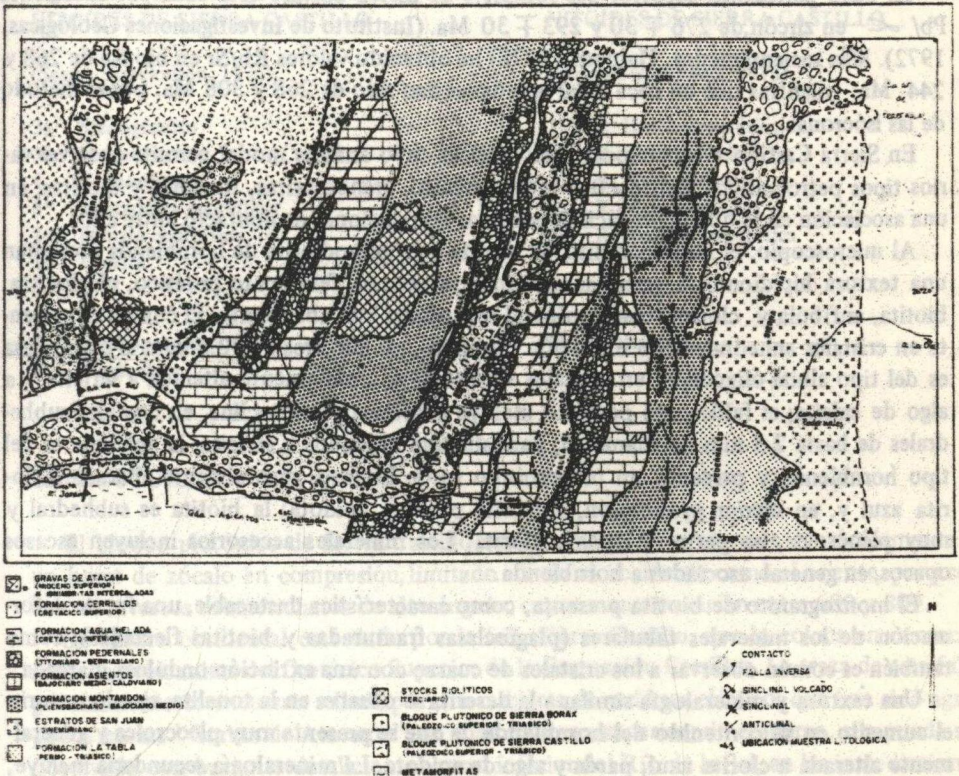


Fig. 2. Mapa Geológico del área al occidente del Salar de Pedernales (simplificado de Müller y Perelló, 1982).

EL HORST DE ZOCALO DE SIERRA CASTILLO

Corresponde a un complejo intrusivo que aflora a lo largo de la Sierra Castillo, abarcando en el área estudiada una superficie de aproximadamente 60 km², y extendiéndose desde las nacientes de la Quebrada San Juan por el norte hasta la Quebrada Asientos por el sur. Regionalmente se lo ha podido reconocer hacia el norte hasta, por lo menos, una distancia de 50 km desde el sector analizado (Godoy y Davidson, 1976). Imágenes Landsat a escala 1:200.000 permiten apreciar claramente su continuidad regional.

Geomorfológicamente la Sierra Castillo contrasta en forma notoria con los cordones adyacentes, quedando caracterizada por cerros de suaves pendientes, con alturas no superiores a los 3.200 m s.n.m. que tienen una tonalidad pardo verdosa que los hace claramente distinguibles en terreno y una textura muy característica en las fotografías aéreas.

Al occidente se dispone en contacto por falla inversa (Falla Sierra Castillo) sobre las volcanitas del Cretácico Superior, mientras que al oriente lo hace, también por falla inversa (Falla Barrancas), sobre rocas sedimentarias marinas de edad sinemuriana - caloviana. Godoy y Davidson (1976) consideran que estos afloramientos corresponderían a la prolongación meridional de aquellos que se reconocen en la Quebrada La Perra (26° Lat. S), a unos 30 km al norte del mineral El Salvador.

La edad paleozoica superior del complejo de Sierra Castillo está dada por dataciones Pb/ ∞ en zircón, de 276 \pm 30 y 293 \pm 30 Ma. (Instituto de Investigaciones Geológicas, 1972). Más recientemente, Halpern (1978) ha obtenido valores Rb/Sr en biotita de 268 y 244. Ma. mientras que en roca total las edades han sido de 268 y 308 Ma. por el método de las isócronas.

En Sierra Castillo afloran rocas mesocráticas cuyo análisis modal permite observar varios tipos petrográficos. Entre éstos monzogranito, granodioritas, tonalitas y dioritas, en una asociación en la que no es fácil determinar las relaciones de contacto entre ellos.

Al microscopio, el monzogranito de biotita y la granodiorita de hornblenda presentan una textura hipidiomorfa granular que incluye cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita, anfíbola y clorita como mineral secundario más abundante. El cuarzo se presenta en cristales anhedrales con extinción ondulosa, no mayores que 2.5 mm; la plagioclasa es del tipo albita-oligoclasa en cristales subhedrales, comúnmente alterada a sericita y a algo de calcita; el feldespato potásico incluye ortoclasa y microclina, en cristales subhedrales de hasta 2.5 mm de diámetro, parcialmente alterados a sericita; la anfíbola es del tipo hornblenda y presenta un pleocroismo verde intenso, generalmente alterada a clorita azul y, en menor proporción, a clorita parda y epidota; la biotita es subhedral y muy pleocroica, en parte alterada a clorita. Los minerales accesorios incluyen escasos opacos, en general asociados a hornblenda.

El monzogranito de biotita presenta, como característica destacable, una fuerte deformación de los minerales tabulares (plagioclasas fracturadas y biotitas flectadas), como también es común observar a los cristales de cuarzo con una extinción ondulosa marcada.

Una textura y mineralogía similar a la descrita se observa en la tonalita, siendo notorio el aumento en su contenido del hornblenda, la que se presenta muy pleocroica y generalmente alterada a clorita azul, parda y algo de epidota. La mineralogía secundaria incluye, además, delgadas vetillas de calcita y sericita.

La diorita posee una textura hipidiomorfa granular, con cristales anhedrales de cuarzo intersticial con extinción ondulosa; cristales de plagioclasa albitizada y muy alterada a sericita; abundante hornblenda y biotita, generalmente alteradas a clorita. Los opacos son escasos y se asocian predominantemente a los minerales máficos.

El detalle cuantitativo de las observaciones realizadas al microscopio se puede apreciar en la Tabla I, mientras que el ploteo de dichos valores se observan en las figuras 3a y 3b.

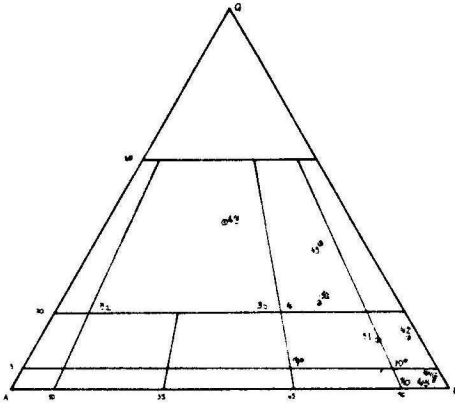


Fig. 3a. DIAGRAMA Q.A.P. PARA LOS GRANITOIDES DE SIERRA CASTILLO

(Según Streckeisen, 1973)

- 3a Sienogranito
- 3b Monzogranito
- 4 Granodiorita
- 9* Monzonita cuarcifera
- 10* Diorita cuarcifera
- 10 Diorita
- Q Cuarzo
- A Feldespato alcalino
- P Plagioclasa

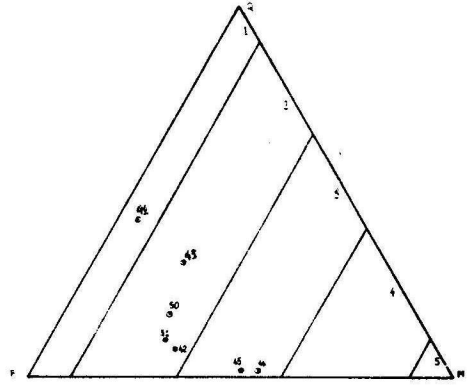


Fig. 3. DIAGRAMA Q.F.M. PARA LOS GRANITOIDES DE SIERRA CASTILLO

(Según Streckeisen, 1973)

- 1. R. Hololeucocrática
- 2. R. Leucocrática
- 3. R. Mesocrática
- 4. R. Melanocrática
- 5. R. Holomelanocrática
- Q Cuarzo
- F Feldespatos
- M Máficos

ESTRUCTURA

El bloque plutónico de Sierra Castillo aquí analizado, corresponde tectónicamente a un horst de zócalo en compresión, limitado tanto al occidente como al oriente por accidentes inversos submeridianos de alto ángulo, cuyos manteos varían entre 60° y 80°.

Su límite occidental está dado por la falla Sierra Castillo, que lo coloca en contacto sobre las volcanitas del Cretácico Superior de la Formación Cerrillos. La traza de esta falla generalmente se encuentra sellada por una cubierta de residuos clásticos que han sido agrupados en las "Gravas de Atacama", de edad miocena superior; sin embargo, ella puede ser observada con bastante detalle en el curso inferior del Río de la Sal, en las inmediaciones del antiguo aeropuerto de Potrerillos.

TABLA I

ANÁLISIS MODALES DE LOS GRANITOIDES PREANDINOS DE LA SIERRA CASTILLO
(Ubicación de Muestras en Fig. 2)

MUESTRA	MINERALOGÍA (%o)						DIAGRAMA				DIAGRAMA		
	Cuarzo	Plagioclasa	K-Feld.	Biotita	Anfíbola	Opaco	Q	A	P	Q	F	F	
41	41,5	25,2	28,3	5,0	—	—	43,5	29,9	26,6	41,3	53,6	5,1	
42	7,4	46,8	1,1	16,9	26,9	0,9	13,4	2,0	84,7	7,0	51,6	41,4	
43	30,3	40,7	7,9	9,0	12,1	—	38,4	10,0	51,6	30,3	48,6	21,1	
44	1,6	43,3	0,4	5,3	46,2	3,1	3,5	0,9	95,6	1,7	45,1	53,2	
45	1,6	46,9	0,5	14,0	34,4	2,5	3,3	1,1	95,6	1,7	48,7	49,7	
50	16,6	44,0	13,7	12,3	12,9	0,4	22,3	18,4	59,2	16,7	58,0	25,3	
51	9,0	53,2	6,0	7,5	19,1	0,9	13,2	8,8	78,0	9,5	62,5	28,0	

Q: Cuarzo

A: Feldespato Alcalino

P: Plagioclasa

F: Feldespato

M: Máficos

1500 puntos contados

En este sector, se aprecia una zona de falla de unos 20 a 30 m de espesor, donde las rocas volcánicas se encuentran intensamente silicificadas, argilizadas y limonitizadas, con colores violáceo rojizos, habiendo perdido éstas todo vestigio de la estratificación original. Los granitoides por su parte, han resistido en forma distinta los efectos del cizalle. Su textura original ha variado, observándose un bandeamiento incipiente de los componentes cristalinos (textura "néisica"); han desarrollado además, algunas rocas propiamente de falla, tales como esquistos, de ocurrencia local en el macizo granítico. Estos esquistos se pueden observar en el Río de la Sal, pero su mejor exposición está en la Quebrada Asientos al este inmediato de la cuesta El Jardín, donde afloran en un tramo aproximado de 500 a 600 m.

El límite oriental del Horst de Zócalo de Sierra Castillo está dado por la Falla Barrancas, accidente inverso que los hace cabalgar sobre un conjunto sedimentario marino sinemuriano-caloviano (Estratos de San Juan y formaciones Montandón y Asientos). Parte de la traza de esta falla controla el curso de la Quebrada Barrancas, mientras que hacia el norte se la prolonga hasta las nacientes de Quebrada San Juan. Precisamente en la Quebrada San Juan aflora el cuerpo de monzogranito que, al microscopio, presenta evidencias texturales de cataclasis, como son cristales de cuarzo fracturados y con intensa extinción ondulosa, las plagioclasas quebradas y desarrollo de "kink-bands" en biotitas. En las nacientes de esta misma quebrada se han observado además, distintas zonas mineralizadas que constituyen yacimientos de hierro en vetas (especularita), de pequeña escala y que, posiblemente, guardan algún tipo de relación genética con la falla descrita.

De acuerdo con los antecedentes estratigráficos aportados por diversos autores (Tobar, 1977, Pérez, 1978, 1982, Müller y Perelló, 1982), el espesor de los depósitos de la cobertura, entre el Sinemuriano y el Cretácico Superior, varía entre 300 y 3500 m, de modo que, en forma aproximada, este debería ser el rechazo de las fallas para poner a las rocas de Sierra Castillo encima de las volcanitas de la Formación Cerrillos.

Las Metaforfitas asociadas a las Fallas. Las fallas límites del horst de Sierra Castillo, en especial la Falla Barrancas al oriente, se presentan en asociación con un conjunto de metamorfitas que incluyen esquistos dinámicos y rocas de apariencia néisica. Este conjunto metamórfico, que no está bien expuesto a lo largo de la traza de estas estructuras, puede sin embargo apreciarse con detalle en los relieves más profundos, como sucede en el Río de la Sal y con la Quebrada Asientos. Especialmente destacable es el caso de esta última, que ha dejado bien expuesto un afloramiento de unos 500 a 600 m de largo, en las inmediaciones al este de la cuesta El Jardín.

En general las rocas metamórficas observadas comprenden esquistos de cuarzo y muscovita, que al microscopio incluyen, además, algunos granos de albita y una textura granoblástica a lepidoblástica. Tanto en Quebrada Asientos como en el Río de la Sal, el conjunto muestra una foliación aproximada N20°E con inclinación entre 30° y 70°W. El conjunto comprende también, esquistos micáceos de muscovita y clorita y, rocas néisicas en las que se observa una orientación moderada de los componentes ferromagnesianos.

Este tipo de antecedentes llevó a Pérez (1978 y 1982) a incluir estas rocas en su "Complejo Metamórfico", el que estaría intruido por cuerpos de tonalita, diorita y monzonita que petrográfica y composicionalmente son similares a los descritos anteriormente para la Sierra Castillo. Sin embargo, esta relación de intrusión no es tan evidente en los afloramientos del Río de la Sal, donde más bien se insinúa una gradación desde rocas

con texturas ígneas plutónicas hasta rocas con texturas metamórficas (néisicas y esquisto-sas) propiamente tales. Esta relación gradacional se ve apoyada por los antecedentes aportados por Tobar (1977), quien señala que la foliación (aproximadamente N200E) ha penetrado a las rocas intrusivas.

De acuerdo con lo planteado, se sugiere que tanto plutonitas como metamorfitas correspondieron, originalmente, a un sólo complejo plutónico y que, parte de este complejo habría sido afectado por procesos de metamorfismo dinámico, directamente ligados con las fallas límites del Horst de Sierra Castillo. Se sugiere además, que los procesos que dieron origen a estas rocas metamórficas habrían tenido lugar en niveles estructurales relativamente profundos en la corteza.

Edad de las Fallas. La edad máxima de las fallas analizadas es posterior al Cretácico Superior, puesto que se encuentran desplazando a las rocas de la Formación Cerrillos. Por otra parte, ellas cesaron sus movimientos con anterioridad a la deposición de las "Gravas de Atacama" que la cubren. Dado que estas últimas son de edad miocena superior (en el sector de Quebrada Asientos) incluyen flujos ignimbríticos intercalados que ha dado valores K-Ar en biotita de 11.5 ± 0.5 Ma., (Clark *et al.*, 1967; Mortimer, 1973), se concluye que las fallas se conservaron activas entre el Cretácico Superior y el Mioceno Inferior a Medio. En este sentido, la edad reconocida en Sierra Castillo es congruente con la plateada para situaciones similares en otros lugares del Norte de Chile, donde el fallamiento que empla-za a los pilares en compresión se relaciona con esfuerzos compresivos ocurridos en el Mioceno (Godoy y Davidson, 1976).

COMENTARIOS FINALES

La edad de las estructuras analizadas es esencialmente terciaria, aún cuando se desea plantear la posibilidad de que ellas sean más antiguas. Algunas ideas en favor de esto último serían:

-en la zona analizada al occidente del Salar de Pedernales, se han reconocido con anterioridad una falla inversa que coloca el Lías marino de la Formación Montandón sobre las gravas terciarias en el borde occidental de la Sierra Bórax (Müller y Perelló, 1982).

-la Sierra Castillo constituía, a principios del Jurásico, una topografía positiva que jugaba un papel paleogeográfico importante en la región, puesto que sobre ella se habría producido la transgresión del mar sinemuriano. Es posible entonces, que en esa época el bloque de Sierra Castillo ya estuviera controlado tectónicamente.

-las rocas metamórficas asociadas directamente a la falla, que se ha sugerido fueron formadas en profundidad, se encuentran en la actualidad intensamente fracturadas y tectonizadas, tal como se observa en la Quebrada Asientos. Por otro lado, las plutonitas asociadas presentan evidencias texturales de cataclasis, fenómeno que se encuentra más bien ligado a un fracturamiento rígido por parte de los cuerpos, es decir, en un ambiente cortical mucho menos profundo que el que originó a las metamorfitas. En este sentido, la idea va en favor de un fallamiento inicial profundo y de una reactivación posterior, en niveles corticales más someros.

Para el área de Pedernales, se puede señalar que este fallamiento global del zócalo constituiría el mecanismo responsable del intenso plegamiento y fallamiento inverso que se observa en las rocas de la cobertura mesozoica (formaciones Montandón, Asientos, Pedernales y Agua Helada), con generación de sucesivas escamas tectónicas de vergencia este, despegadas del zócalo, que tendrían sus raíces en el fracturamiento rígido de este último.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la lectura crítica de los borradores y las sugerencias del profesor H. Niemeyer. En la etapa de terreno se contó con la colaboración de los señores C. Mpodozis, S. Rivano y E. Perez, a quienes expresamos nuestro agradecimiento. Los señores R. Maita y D. Alvarez tipearon con diligencia los borradores y texto final del presente trabajo. El Departamento de Geología de Codelco - Chile, División El Salvador, financió los gastos de terreno y laboratorio. El señor G. Zúñiga realizó parte del trabajo de dibujo.

REFERENCIAS

- Clark, A., Mortimer, C., Sillitoe, R., Cooke, R., Snelling, H., 1967. Implications of the isotopic ages of ignimbrite flows. Southern Atacama Desert, Chile. *Nature*, 215: 723-724.
- García, F. (inédito). Informe geológico de avance sobre el área de Pedernales. ENAP, 1960, Santiago.
- García, F. 1967. Geología del Norte Grande de Chile. Symp. Geosinclinal Andino, Soc. Geol. de Chile. (ENAP), 13: 1-138.
- Godoy, E., Davidson, J. 1976. Pilares tectónicos en compresión de edad Mioceno Superior en los Andes del Norte de Chile (22° - 30° Latitud Sur). Primer Congr. Geol. Chileno, Santiago, I: B87-B103.
- Halpern, M., 1978. Geological significance of Rb-Sr isotopic data of northern Chile crystalline rocks of the andean orogen between latitudes 23° and 27°S. *Geol. Soc. Am., Bull.*, 89: 522-532.
- Harrington, H., 1961. Geology of parts of Antofagasta and Atacama provinces of northern Chile. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 45: 169-197.
- Instituto de Investigaciones Geológicas. (inédito). Edades radiométricas de rocas chilenas. En: Jornadas de Trabajo, 1972, Antofagasta, 2: 132-145.
- Mortimer, C., 1973. The Cenozoic history of the southern Atacama Desert, Chile. *J. Geol. Soc. Lond.*, 129: 505 - 526.
- Müller, G., Perelló, J., 1982. Geología Regional y Bioestratigrafía del Jurásico marino al occidente del Salar de Pedernales (26°15' - 26°24' Lat. S; 69°15' - 69°30' Long. W), Región de Atacama, Chile. Memoria de Título. Departamento Geología y Geofísica. Universidad de Chile, Santiago.
- Pérez, E., 1978. Bioestratigrafía del Jurásico de Quebrada Asientos, Norte de Potrerillos. Memoria de Título. Departamento Geología. Universidad de Chile, Santiago.
- Pérez, E., 1982. Bioestratigrafía del Jurásico de Quebrada Asientos, Norte de Potrerillos. Región de Atacama. *Serv. Nac. Geol. y Min. Bol.*, 37: 1-149.
- Streckeisen, A., 1973. Classification and Nomenclature recommended by the IUGS Subcomission on the Systematics of Ingeous Rocks. *Geotimes*, 18: 28-30.
- Tobar, A., 1977. Stratigraphy and Structure of the El Salvador - Potrerillos región, Atacama, Chile. Ph. D. Thesis, Univ. California, Berkeley.