



REOLOGIA DE LA LITOSFERA EN NORTE CHICO Y REGION DE LOS LAGOS (CHILE)

M. Muñoz

INTRODUCCION

Se expondrán aquí resultados de la reología litosférica en el Norte Chico y en la Región de Los Lagos. La metodología seguida ha sido expuesta en el estudio de la reología de Chile Central en estas Actas. Finalizando este resumen, se presenta una breve discusión que abarca las tres regiones.

NORTE CHICO (27° - 32°S)

En esta región se han observado valores de flujo de calor extremadamente bajos entre las latitudes 26.5°S y 29°S ¹, aun cuando la tasa de denudación es similar a la de Chile Central ². Las observaciones de flujo de calor están localizadas en el batolito Jurásico-Cretácico, no conociéndose la extensión de la anomalía de flujo de calor en la dirección Este-Oeste. Debido a que el flujo de calor es extremadamente bajo, los perfiles reológicos obtenidos para distintos modelos no muestran diferencias acentuadas en la corteza (Figs.1 y 2). Para la descripción reológica se han adoptado las estructuras de gravedad de las áreas próximas ^{3,4}.

Las temperaturas obtenidas en la frontera corteza-manto son: 360°C (N1-Fig.1) y 227°C (N3-Fig.2). Las líneas verticales junto a los perfiles reológicos (Figs.1 y 2) indican rangos de zonas sísmógenas en el régimen frágil. Las curvas a trazos en los perfiles reológicos denotan régimen frágil en el manto superior. Las profundidades computadas se conforman con la profundidad de la zona de Wadati-Benioff en esta región - que es de aproximadamente 75-85 Km ⁵. Se observa que el régimen frágil domina a través de casi toda la corteza y se reinicia en el manto superior luego de una corta transición al

régimen dúctil (N1-Fig.1), o bien que la sección completa hasta 75 Km de profundidad es frágil (N3-Fig.2). En cualquier caso, la corteza inferior puede ser considerada como una zona sísmógena. No lejos de esta región, al SE (Argentina), existe evidencia sísmica de una corteza inferior sísmógena ⁶. En el Norte Chico es necesario realizar un detallado estudio sísmico local para determinar las zonas sísmógenas de la corteza.

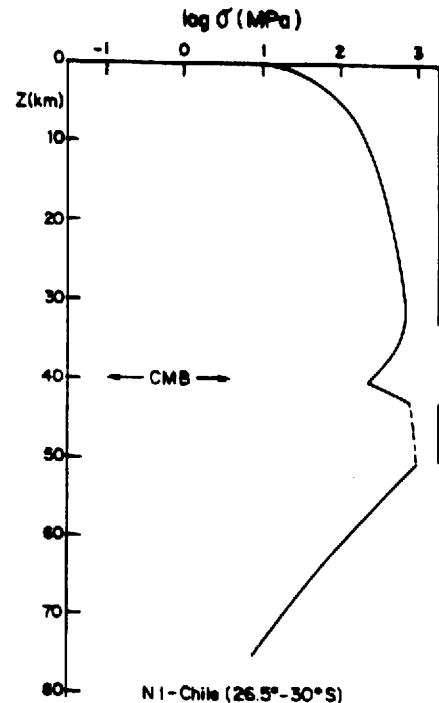


FIG. 1 Norte Chico - N1. Resistencia de la litósfera en función de la profundidad en base a una geoterma máxima. Se observa una breve transición al régimen dúctil en torno a la frontera corteza-manto (CMB).

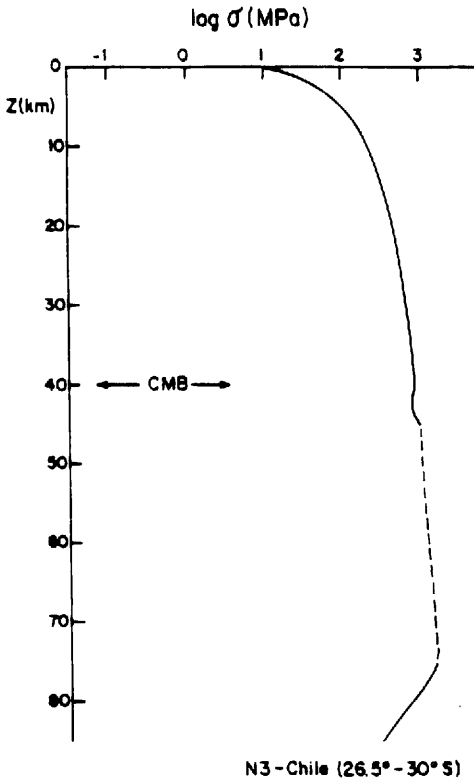


FIG 2. Norte Chico -N3. Resistencia de la litósfera en función de la profundidad en base a una geoterma mínima. No se observa transición al régimen dúctil. CMB: frontera corteza-manto. (Ver texto para explicación del trazado)

REGION DE LOS LAGOS (39° - 41°S)

En la descripción del flujo de calor de esta región se han considerado los resultados de la representación en armónicos esféricos del flujo de calor global ⁷, gradientes geotermales en zonas contiguas ⁸ y relaciones empíricas entre el flujo de calor y la primera capa conductora eléctrica obtenida por estudios geoelectromagnéticos ⁹. Como resultado de un extenso muestreo de los granitoides de la Región de Los Lagos, se han obtenido hasta ahora (análisis en

curso) valores muy diversos de producción radiógena de calor, en general menores que los de la Cordillera de los Andes de Chile Central (33° - 34°S). En la zona volcánica de los Andes de la Región de Los Lagos, aun cuando en muchos casos los granitoides son más recientes que en Chile Central ^{10, 11}, estos han sufrido una denudación mucho más intensa que en los Andes de esta última región ². En los granitoides de la costa de la Región de Los Lagos, en general más antiguos, la tasa de denudación ha sido similar a la de los de Chile Central. La estructura de gravedad se ha adoptado según un modelo de inversión de compensación no-completa bajo la hipótesis de Airy ^{12, 9}.

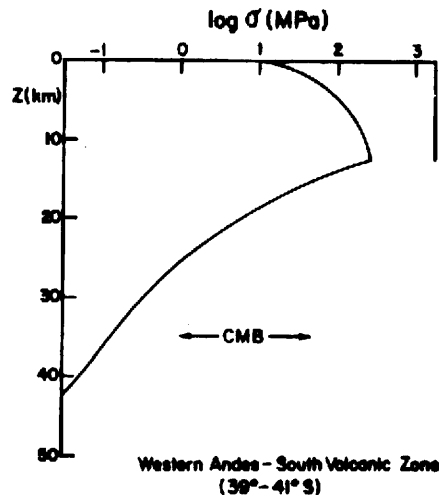


FIG. 3 Región de Los Lagos -Zona Volcánica. Resistencia de la litósfera en función de la profundidad. La línea vertical a la derecha indica el rango de la zona sísmógena en el régimen frágil. El restante espesor litosférico está en régimen dúctil. CMB: frontera corteza-manto.

ZONA VOLCANICA - REGION DE LOS LAGOS (39° - 41°S)-FIG. 3

El régimen frágil domina en los 12.5 Km superiores de la corteza. La corteza media e inferior es dúctil. La resistencia litosférica total

es mucho menor que en los Andes de Chile Central, no pudiendo haber actividad sísmica cortical de magnitud intermedia en esta zona de la Región de Los Lagos. La temperatura en la frontera corteza-manto puede alcanzar hasta los 1000°C, decreciendo en la dirección Este-Oeste de la zona volcánica.

ZONA DE LA COSTA - REGION DE LOS LAGOS (39° - 41°S)-FIG. 4

El régimen frágil domina a través de los 17.5 Km superiores de la corteza. Este espesor es mayor que los encontrados para la Cordillera de la Costa y Valle Central en Chile Central (33° - 34°S). Si el perfil reológico de la zona de la costa de la Región de Los Lagos es válido, y si las regiones al norte y al sur se caracterizan por una reología similar, la zona costera y las adyacentes a ésta en el centro-sur de Chile podrían ser consideradas como canales eficaces para el transporte de energía sísmica de grandes terremotos.

En esta zona, la temperatura de la frontera corteza-manto (en régimen dúctil) es de aproximadamente 485°C.

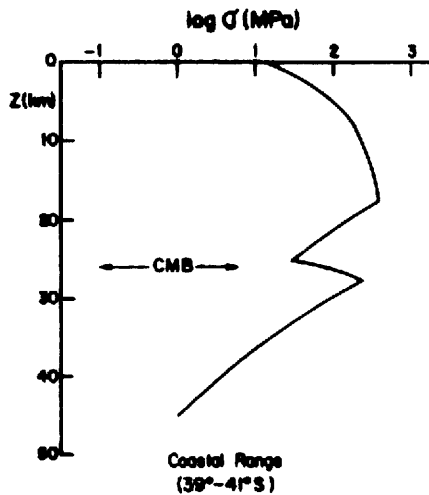


FIG. 4 Región de Los Lagos - Zona de la Costa. Resistencia de la litósfera en función de la profundidad. (Ver también leyenda de Fig. 3)

DISCUSION

La reología de Chile Central (33° - 34°S) y de los Andes de la Región de Los Lagos corresponde a zonas de extensión. Esto se confirma en los Andes de Chile Central donde el tectonismo y los mecanismos de foco de sismos corticales sugieren un proceso de deformación debido a una extensión de dirección SE que actúa desde después del Mioceno ^{13, 14}.

En Chile Central la temperatura en la frontera corteza-manto es de 700° - 730°C, pudiendo quizás alcanzar hasta 900°C en inhomogeneidades de la corteza inferior del Valle Central. En el pasado geológico, las temperaturas de la corteza en Chile Central pueden haber sobrepasado los 1100°C. El tipo de roca dominante en el batolito de la Cordillera de la Costa es la tonalita ¹⁵, y granodioritas, tonalitas y dioritas son abundantes en los batolitos Central y de los Andes ¹⁶. El líquido de la granodiorita es el producto de metamorfismo regional de la corteza continental, y el líquido de la tonalita puede ser producido sólo si la temperatura de la corteza es elevada al menos a 1100°C; el líquido del granito no puede ser producido a profundidades superiores de alrededor de 30 Km ¹⁷. En Chile Central se desconoce el grado en que la perturbación que causó la fusión de la corteza continental debe su origen a procesos en el manto, y también, el grado de incidencia que pudieron tener en la fusión los procesos en la corteza misma.

En el Norte Chico se ha obtenido una geoterma anómalamente baja, en una región que durante el Cretácico estuvo sometida a una tectónica extensional ¹⁸. Se desconoce el rango de validez de tal geoterma, en consideración de argumentos surgidos en una región de características tectónicas similares (Sierra Nevada, EE.UU.), relativos a transientes tectónicos asociados a procesos de subsidencia ^{19, 20}.

Estudios preliminares de los procesos tectónicos en relación al volcanismo en Chile sugirieron la búsqueda de variables más sofisticadas que distinguieran las zonas de actividad e inactividad volcánica ²¹. Los presentes resultados de reología litosférica y la descripción global de flujo de calor en Chile ⁷, concuerdan con las crecientes razones isotópicas

87 Sr/ 86 Sr cuando se comparan productos volcánicos de la Región de Los Lagos con los de Chile Central y del extremo norte de Chile **22, 23**. Las propiedades del régimen reológico se manifiestan en el control del paso y del tiempo de residencia de los materiales del manto en la corteza, originándose diverso grado de contaminación cortical de los productos volcánicos. También, la reología de la litósfera en zonas de volcanismo activo (regiones del centro y sur de Chile) es diferente, al parecer, a la de zonas de inactividad volcánica (Norte Chico). Complejos procesos interactivos pueden estar envueltos en la manifestación del volcanismo: morfología de la zona de Wadati-Benioff, nivel de la "línea de agua" en el manto **24**, distribución de elementos radiógenos y producción radiógena de calor, grado de denudación de la corteza. Una "misteriosa" anomalía de gravedad ha sido también descrita como influenciando la posición de los volcanes recientes del presente arco magmático entre la Cordillera Domeyko y zonas cercanas a la región del Norte Chico **4**.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Trevor Lewis por los análisis de producción radiógena de calor en rocas de Chile realizados en el Pacific Geoscience (Sidney, Canadá). Esta colaboración fue iniciada en el ámbito de las actividades de la Comisión Internacional de Flujo de Calor de la Asociación Internacional de Sismología y Física de Interior de la Tierra.

Este trabajo corresponde a un proyecto financiado parcialmente por el Departamento Técnico de Investigación de la Universidad de Chile.

REFERENCIAS

- (1) Uyeda, S., Watanabe, T., Kausel, E., Kubo, M. and Yashiro, Y. (1978) Report of heat-flow measurements in Chile. *Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo*, **53**: 131-163.
- (2) Scholl, D. W., Christensen M. N., Von Huene, R. and Marlow M. S. (1970) Peru-Chile trench: sediments and sea-floor spreading. *Geol. Soc. America Bull.*, **81**: 1339-1360.
- (3) Introcaso, A., Pacino, M. C. and Fraga, H. (1992) Gravity, isostasy and Andean shortening between latitudes 30 and 35°S. *Tectonophysics*, **205**: 31-48.
- (4) Götze, H. J., Lahmeyer, B., Schmidt, S. and Strunk, S. (1994) The lithospheric structure of the Central Andes (20-26°S) as inferred from interpretation of regional gravity. In: *Tectonics of the Southern Central Andes* (Editors: K. J. Reutter, E. Scheuber and P. Wigger), Springer, Berlin, 7-21.
- (5) Cahill, T. and Isacks, B. L. (1992) Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. *J. Geophys. Res.* **97**: 17503-17529.
- (6) Smalley, R. and Isacks, B. L. (1990) Seismotectonics of thin- and thick-skinned deformation in the Andean foreland from local network data: evidence for a seismogenic lower crust. *J. Geophys. Res.*, **95**: 12487-12498.
- (7) Pollack, H. N., Hurter, S. J. and Johnson, J. R. (1993) Heat flow from the Earth's interior: analysis of the global data set. *Rev. Geophys.*, **31**: 267-280.
- (8) Muñoz, M. and Hamza, V. (1993) Heat flow and temperature gradients in Chile. In: *Proc. Int. Meeting on Terrestrial Heat Flow and Lithosphere Structure*, Bechyně Castle, (Editor: V. Cermák). *Special Issue Studia Geoph. et Geod.*, Prague, **37**: 315-348.
- (9) Muñoz, M., Fournier, H., Mamani, M., Febrer, J., Borzotta, E. and Maidana, A. (1990) A comparative study of results obtained in magnetotelluric deep soundings in Villarrica active volcano zone (Chile) with gravity investigations, distribution of earthquake foci, heat flow empirical relationships, isotopic geochemistry 87 Sr/ 86 Sr and SB systematics. *Phys. Earth Planet. Int.*, **60**: 195-211.
- (10) López-Escobar, L. (1974) Plutonic and Volcanic Rocks from Central Chile (33°-42°S): Geochemical evidence regarding their petrogenesis. Ph. D. Thesis, Dept. Earth and Planetary Sciences, MIT, 270 pp.
- (11) Munizaga, F., Hervé, F., Drake, R., Pankhurst, R. J., Brook, M. and Snelling, N. (1988) Geochronology of the Lake Region of south-central Chile (39° - 42°S): preliminary results. *Journal of South American Earth Sciences*, **1**: 309-316.

- (12) Diez, A. and Introcaso, A. (1986) Perfil transcontinental sudamericano en el paralelo 39°S. *Geoacta*, **2**: 179-201.
- (13) Welkner, P. and Thiele, R. (1988) Evidencias de neotectonismo en la alta Cordillera de la región metropolitana. *Actas V Congreso Geológico Chileno*, Tomo II: F305-F318.
- (14) Pardo, M. and Acevedo, P. (1984) Mecanismos de foco en la zona de Chile Central. *Tralka*, Depto. Geofísica, Univ. de Chile, **2**: 279-293.
- (15) Muñoz-Cristi, J. (1963-64) Estudios petrográficos y petrológicos sobre el Batolito de la Costa de las provincias de Santiago y Valparaíso. *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*, Univ. de Chile, **20-21**: 5-93, 29 Lám.
- (16) Aguirre, L., Charrier, R., Davidson J., Mpodozis, A., Rivano, S., Thiele, R., Tidy, E., Vergara, M. and Vicente, J. C. (1974) Andean magmatism: its paleographic and structural setting in the central part (30° - 35°S) of southern Andes. *Pac. Geol.*, **8**: 1-38.
- (17) Wyllie, P. J. (1984) Constraints imposed by experimental petrology on possible and impossible magma sources and products. *Phil. Trans. R. Soc. London*, A **310**: 439-456.
- (18) Mpodozis, C. and Allmendinger, R. W. (1993) Extensional tectonics, Cretaceous Andes, northern Chile (27°S). *Geol. Soc. America Bull.*, **105**: 1462-1477.
- (19) Roy, R. F., Blackwell, D. D. and Decker, E. R. (1972) Continental heat flow. In: *The Nature of the Solid Earth* (Editor: E. C. Robertson), McGraw-Hill, New York, 506-543.
- (20) Pollack, H. N. and Sass, J. H. (1988) Thermal regime of the lithosphere. In: *Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determinations* (Editors: R. Haenel, L. Rybach and L. Stegena), Kluwer Academic Publ., 301-308.
- (21) Honda, S. and Uyeda, S. (1983) Thermal process in subduction zone -A review and preliminary approach on the origin of arc volcanism. In: *Arc Volcanism- Physics and Tectonics* (Editors: D. Shimosuru and I. Yokoyama), Terra Scientific Publ. Co., Tokyo, 117-140.
- (22) López-Escobar, L. (1983) Petrology and geochemistry of volcanic rocks of the southern Andes. In: *Andean Magmatism: Chemical and Isotopic Constraints* (Editors: R. S. Harmon and B. A. Barreiro), Shiva, Geology Series. 47-71.
- (23) Déruelle, B., Harmon, R. and Moorbath, S. (1983) Combined Sr-0 isotope relationships and petrogenesis of Andean volcanics of South America. *Nature*, **302**: 814-816.
- (24) Liu, L. G. (1989) Water, low-velocity zone and the descending lithosphere. *Tectonophysics*, **164**: 41-48.