



**UN MODELO PRELIMINAR DE DEFORMACION TRANSPRESIONAL MESOZOICA Y GRAN DESPLAZAMIENTO HACIA EL NORTE DE PARTE DE LA SERIE OCCIDENTAL, COMPLEJO ACREACIONARIO (38°S A 43°S), CORDILLERA DE LA COSTA, CHILE**

**Terence Kato<sup>1</sup>, Estanislao Godoy<sup>2</sup>, Michael Mc Donough<sup>3</sup>, Paul Duhart<sup>3</sup>,  
Mark Martin<sup>4</sup> y Warren Sharp<sup>5</sup>**

**INTRODUCCION**

Relaciones de terreno en la Cordillera de la Costa chilena sugieren que esta parte del margen gondwánico puede haber sido afectada, entre el Triásico medio al Jurásico tardío, por deformación transpresional que involucró cizalle dextral a gran escala. Se propone que, entre los 38°S y 43°S (Figura 1), el complejo acrecionario (Serie Occidental) se comportó como un bloque relativamente coherente, pero soportó translación hacia el norte de fragmentos de su margen oeste. El margen oriental de este bloque también puede haber estado sometido a translación y compresión (transpresión) dextral a lo largo del contacto entre las series Occidental y Oriental del basamento metamórfico<sup>1</sup>.

**EL MODELO**

Los rasgos básicos del modelo, ilustrados en la Figura 2, involucran desplazamiento dextral del bloque de la Cordillera de la Costa, el cual consiste de volcanitas y sedimentitas de afinidad oceánica (Serie Occidental), acrecionadas al margen continental y solevantadas a niveles corticales más altos durante una orogénesis Pérmica a Triásica media<sup>2</sup>. El modelo supone translaciones de cuerpo rígido, pero es posible que una apreciable deformación dúctil haya modificado parte de los márgenes de los bloques. Los segmentos norte-sur del modelo representarían zonas de transpresión, mientras que las zonas de rumbo NW-SE corresponden a codos constrictionales ("jogs" de falla compresional) asociados a plegamiento y corrimientos. Si bien la sucesión temporal de eventos es todavía preliminar, proponemos el modelo para explicar las siguientes observaciones :

**(1) Estructuras WNW-ESE de gran escala asociadas a esquistosidad inclinada y diseños a gran escala de anomalías magnéticas son truncadas por el actual margen continental de rumbo N-S.**

El consistente rumbo de la esquistosidad dominante (S<sub>2</sub>) y las direcciones principales de las anomalías aeromagnéticas<sup>3,4,5</sup>, en especial en la Cordillera de la Costa entre Valdivia (40°S) y Puerto Montt (41°S) se relaciona a pliegues más abiertos, cilíndricos (F<sub>3</sub>) de los más dúctiles planos S<sub>2</sub>. Observaciones recientes a lo largo de los excelentes afloramientos costeros entre los 40°S y 42°S sugieren que las consistentes anomalías de rumbo NW-SE se asocian a las alas de pliegues F<sub>3</sub>, los cuales incluyen esquistos máficos ricos en magnetita, similares a los responsables de la gran anomalía magnética de Bahía Mansa<sup>3</sup>. No está claro si, además del plegamiento, haya corrimientos que sean responsables del diseño de las anomalías magnéticas. En todo caso, ambos tipos de estructuras serían

<sup>1</sup>Department of Geosciences, California State University, Chico CA 95929

<sup>2</sup>Servicio Nacional de Geología y Minería, Avenida Santa María 0104, Santiago, Chile

<sup>3</sup>Servicio Nacional de Geología y Minería, Avenida La Paz 406, Puerto Varas, Chile

<sup>4</sup>Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139-4307

<sup>5</sup>Berkeley Geochronology Center, 2455 Ridge Rd., Berkeley, CA 94709

coaxiales con los anteriores pliegues isoclinales F<sub>2</sub>. Esta transición desde condiciones de plegamiento dúctiles a otras, más frágiles, de plegamiento abierto, puede coincidir con las edades triásicas tempranas K-Ar de enfriamiento disponibles<sup>6</sup>, las cuales definirían entonces la máxima edad de F<sub>3</sub>. La edad mínima de F<sub>3</sub>, por otra parte, esta dada por la intrusión de pequeños plutones granodioríticos cretácicos, tal como el de Chaihuín, al SW de Corral<sup>6</sup>. En el piedemonte andino, entre los lagos Calafquén y Ranco, pliegues abiertos a apretados de rumbo NW-SE, llamados F<sub>2</sub> en ese sector, involucran tanto rocas de la triásica tardía Formación Panguipulli como de la subyacente Serie Oriental<sup>6</sup>. Estos pliegues son paralelos a los F<sub>3</sub> de la Serie Occidental y pueden ser de la misma generación.

Las estructuras más tempranas D<sub>2</sub> fueron formadas durante un extenso metamorfismo de grado esquistos verdes bajo, asociado a edades radiométricas que sugieren un rango entre Carbonífero y Triásico medio<sup>6</sup>. Considerando que la culminante orogénesis D<sub>2</sub>, sobre la base de relaciones de terreno, ocurrió con posterioridad a la intrusión del carbonífero a pérmico batolito de Nahuelbuta y precede a la depositación de las unidades sedimentarias del Triásico tardío, marginales a la Cordillera de la Costa, se supone que la orogénesis principal ocurrió durante el Permo-Triásico<sup>2</sup>. Poco se sabe de la primera deformación D<sub>1</sub>, la cual es evidente como foliación mineral (S<sub>1</sub>), plegada y transpuesta a una posición paralela con la foliación principal S<sub>2</sub>.

**(2) Secciones E-W a través del contacto entre las Series Occidental y Oriental muestran la ausencia de una brecha arco-fosa entre el complejo de subducción, portador de esquistos azules y el contemporáneo arco magmático, Pennsylvaniano-Pérmico. El batolito de esta edad, por otra parte, tiene un desplazamiento dextral N-S de ~160 km.**

El protolito del basamento metamórfico de la Cordillera de la Costa entre Purén (38°S) y Castro (43°S) consiste de sedimentos terrígenos clásticos, volcanitas oceánicas y sedimentos hemipelágicos. Están dispuestos en zonas de rumbo aproximado NW - SE, ya que el porcentaje de material oceánico acrecionado aumenta regionalmente hacia el SE<sup>8</sup>. Una significativa separación entre los esquistos azules asociados a subducción carbonífera tardía en Los Pabilos<sup>9</sup> y el contemporáneo arco magmático en una dirección Norte-Sur sugiere la presencia de una brecha arco-fosa paleozoica tardía (normal a la estructura) de aproximadamente 300 km, sin embargo, yuxtaposición contra el batolito Paleozoico en una sección Este - Oeste (50 km) indica una falta relativa de zona antearco. Esto puede explicarse por desplazamiento N-S dextral del complejo acrecionario de rumbo NW-SE (Figura 2). Más al norte, cerca de Pichilemu (34°30'S), esquistos azules (en gran parte retrogradados a verdes) están directamente yuxtapuestos contra granitoides Paleozoicos, sugiriendo también la falta de una brecha arco-fosa en una sección Este-Oeste. En esta misma localidad, un melange tectónico de rumbo N-S pasa a través del barrio Infiernillo<sup>8</sup>. Este melange puede representar zonas de cizallamiento lateral o transpresión que han fuertemente atenuado el prisma de acreción de antearco. Es posible que otras zonas de deformación transpresional hayan sido incluidas previamente en la Serie Occidental, la cual se separa en terreno de la Serie Oriental principalmente por su mayor grado de deformación penetrativa.

**(3) Se aprecia una marcada semejanza textural y mineralógica entre los esquistos máficos portadores de glaucofano relicto de dos partes muy separadas del complejo metamórfico de la Serie Occidental, Pichilemu (34°30'S) y Los Pabilos (41°S).**

Las ocurrencias de anfíbola sódica son raras entre estas dos localidades. Ambas están pobremente datadas, pero las edades K-Ar disponibles en ambas áreas son compatibles y van desde el Carbonífero al Triásico<sup>10,6</sup>. Abundantes anfíbolos sódicos de la serie glaucofano/crossita ocurren en esquistos máficos asociados al melange de Pichilemu. Coexisten allí, rodeadas por actinolita, con epidota, además de magnetita y stilpnomelano postcinemáticos. Sus edades Rb-Sr y K-Ar varían desde 328 a 220 Ma<sup>11,12</sup>.

Esquistos máficos que contienen relictos de anfíbola sódica, junto con magnetita y stilpnomelano tardío, recientemente encontrados en Los Pabilos (41°S), tienen marcada semejanza textural y mineralógica con algunos de los esquistos máficos de Pichilemu. Muy parecidos en su foliación a los

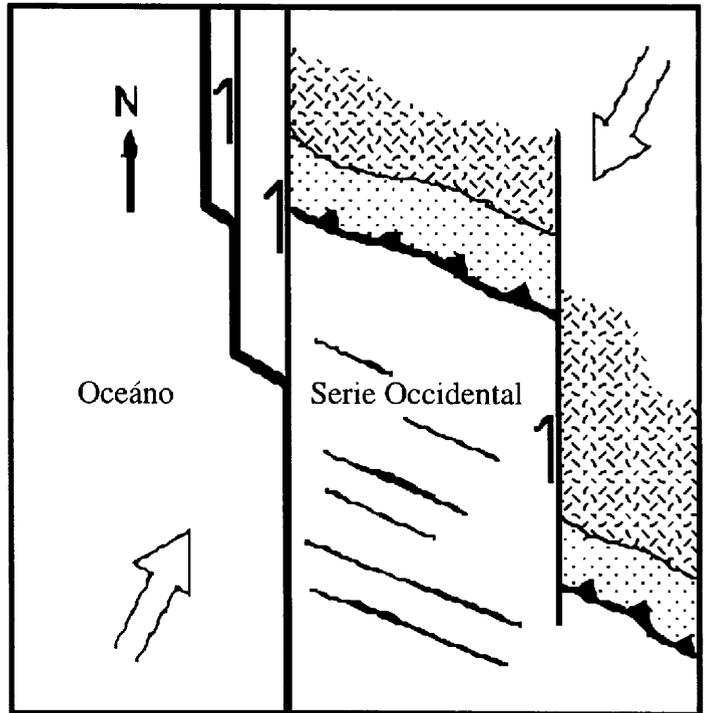
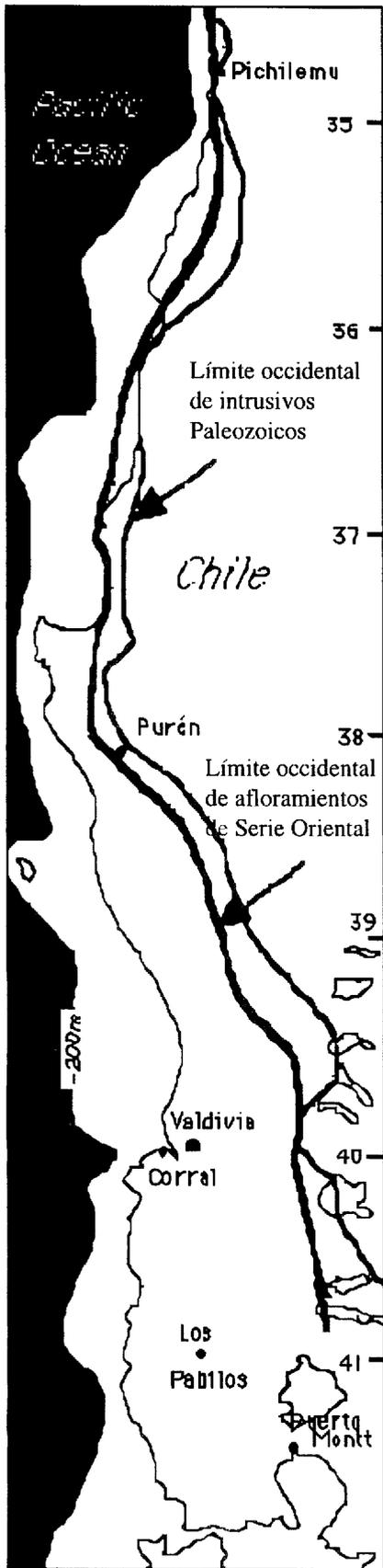


Figura 2. Modelo para subducción oblicua en el Triásico tardío.

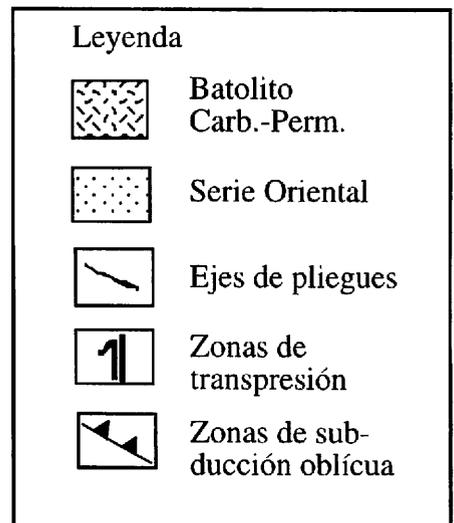


Figura 1. Mapa de ubicación de la Cordillera de la Costa chilena. Se muestra el límite occidental de tanto la Serie Oriental como de los afloramientos del Batolito Paleozoico.

abundantes esquistos máficos de grado esquistos verdes de la Serie Occidental, difieren de los esquistos azules que afloran como bolones de till a 5 km de ellos.

Un detallado análisis  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  de calentamiento por pasos (20 pasos) en mica blanca de esquisto azul de bloque tectónico en Cuesta Brava, al oeste de Los Pabilos, da una edad de meseta de  $323 \pm 2$  Ma. La muscovita de grano grueso tiene una temperatura de cierre de  $350^\circ\text{C}$ , cercana a la temperatura del metamorfismo de esquistos azules. Una edad convencional K-Ar, menos confiable, de  $304 \pm 9$  Ma, se obtuvo en mica blanca de otro bloque<sup>9</sup>. Si bien se piensa que los esquistos azules de grano grueso fueron erosionados desde la subyacente Serie Occidental, no se les ha encontrado aflorando y difieren texturalmente de los esquistos azules relictos de Pichilemu. La cercana semejanza en edades, sin embargo, sugiere un tiempo semejante de metamorfismo de tipo esquistos azules para ambas áreas.

No se ha datado aún el esquisto máfico de Los Pabilos, portador de anfíbola sódica. La anfíbola sódica de los bloques tectónicos es texturalmente estable, a menudo no-foliada y engloba hornblenda pargasítica. Puede asociarse a abundante granate pero no lo hace con magnetita. Composicionalmente, los esquistos azules de grano grueso son muy semejantes, tanto en contenidos de elementos mayores como menores, a otros esquistos máficos de grado esquistos verdes más corrientes<sup>9</sup>. Las relaciones observadas entre los bloques tectónicos y los esquistos azules relictos de Los Pabilos son, al menos, compatibles con la conversión de los primeros a esquistos máficos con glaucofano relictos y grado esquistos verdes durante su acreción y solevantamiento a lo largo del margen gondwánico del Paleozoico tardío a Mesozoico temprano.

## IMPLICANCIAS REGIONALES

Ninguna de las evidencias aquí presentadas es concluyente. Consideradas en su conjunto, sin embargo, sugieren la posibilidad que fallamiento transcurrente dextral haya modificado esta parte del margen gondwánico durante el Triásico tardío-Jurásico temprano.

Si los esquistos azules de Pichilemu estuvieron ubicados cerca de Los Pabilos se necesita unos 6 grados de desplazamiento hacia el norte para explicar su actual separación. Este valor es menor que los 15 grados sugeridos por estudios paleomagnéticos para la triásica Formación Pichidanguí durante el Triásico tardío a Jurásico temprano<sup>13</sup>. Este modelo y su sucesión de eventos guarda similitud con el modelo de colisión y posterior remoción del Terreno Equis, por transurrencia jurásica, postulado para los  $28^\circ\text{S}$  a  $31^\circ\text{S}$ <sup>14</sup>.

La historia del desplazamiento a lo largo de megafallas transcurrentes post-jurásicas en Chile es incierta. Se ha descrito tanto movimientos sinestrales durante el Cretácico inferior para el Sistema de Fallas Atacama<sup>15</sup> como dextrales eocenos a pliocenos (sobrepuestos sobre sinestrales mesozoicos en el Sistema Liquiñe-Ofqui<sup>16</sup>. Estas estructuras de más de 1000 km de largo han mayoritariamente favorecido el emplazamiento sintectónico de plutones<sup>17</sup> y el desarrollo de cuencas transtensionales<sup>18</sup>. Fallas normales frágiles de manteo al oeste y edad Terciario tardío a Reciente, visibles a lo largo de exposiciones costeras, se asocian a erosión por subducción del margen continental a lo largo de la fosa de Chile - Perú<sup>19,20</sup> y, en menor grado, en Península Taitao<sup>21</sup>. Estimamos, sin embargo, que este proceso no es responsable, por sí solo, de la remoción de grandes volúmenes de corteza al sur de los  $38^\circ\text{S}$ , como indica el truncamiento de las estructuras de gran escala de la Serie Occidental. En el modelo aquí presentado se requiere la actuación de desplazamientos laterales más antiguos, durante el Triásico tardío o Jurásico temprano. Esperamos que futuros estudios pongan a prueba el modelo conceptual aquí avanzado.

Los autores desean agradecer a J. Muñoz y P. Crignola por valiosas discusiones en el terreno. SERNAGEOMIN (Proyecto Décima Región Norte) financió las campañas de terreno más recientes. E. Godoy reconoce apoyo del proyecto FONDECYT 1950544.

## REFERENCIAS

1. Aguirre, L., Hervé, F., Godoy, E., 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile-An outline: *Krystalinikum*, v. 9, p. 7-19.
2. Kato, T., 1985. Pre-andean orogenesis in the Coast Ranges of central Chile : *Geological Society of America Bulletin*, v.96, p.918-924.

3. Godoy, E., and Kato, T., 1990, Late Paleozoic serpentinites and mafic schists from the Coast Range accretionary complex, central Chile: their relation to aeromagnetic anomalies: *Geologische Rundschau*, v. 70, p. 121-130.
4. Ugalde H., Yañez, G. y Muñoz, J., 1967, Dominios magnéticos en la Región de Los Lagos, 39°-42°, Chile. Este congreso.
5. McDonough, Ugalde, H., Duhart, P. y Crignola, P., 1997, Nuevos antecedentes estructurales de la Cordillera de la Costa y el adyacente valle central en la parte norte de la Xa región, Chile : su relación con el patrón magnético. Este congreso.
6. Munizaga, F., Hervé, F., Drake, R., Pankhurst, R., Brook, M., and Snelling, N., 1988, Geochronology of the Lake Region of south-central Chile (39°-42°S): Preliminary results, *Jour. S. Am. Earth Sc.*, 309-316
7. Martin, M., Kato, T., Campos, A., and Moreno, H, en prensa, Stratigraphic, structural, metamorphic, and timing constraints for the assembly of late Paleozoic to Triassic rocks in the Lake District, Chile
8. Kato, T., 1976, The relationship between low grade metamorphism and tectonics in the Coast Ranges of central Chile [PhD thesis], U. of California, Los Angeles.
9. Kato, T. and E. Godoy, 1995, Petrogenesis and Tectonic Significance of Late Paleozoic Coarse-Crystalline Blueschist and Amphibolite Boulders in the Coastal Range of Chile; *International Geology Review*, V. 37, p. 992-1006
10. Munizaga, Fdo., Aguirre, L. and Hervé, F., 1973, Rb/Sr ages of rocks from the Chilean metamorphic basement. *Earth Planet. Sci. Lett.* 18, 1, 87-91.
11. Hervé, F., Munizaga, F., Godoy, E., and Aguirre, L., 1974, Late Paleozoic K/Ar ages of blueschists from Pichilemu, central Chile. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 23, 261-264
12. Hervé, F., Kawashita, K., Munizaga, F., Bassei, M., 1982, Edades Rb-Sr de los cinturones metamórficos pareados de Chile Central: III Congreso Geológico Chileno, Concepción, p. D116-D135
13. Forsythe, R., Kent, D., Mpodozis, C., and Davidson, J., 1987, Paleomagnetism of Permian and Triassic rocks, central Chilean Andes, *in* McKenzie, G. D., ed. *Gondwana Six: Structure, tectonics, and geophysics: AGU Geophysical Monograph* 40, p. 241-255
14. Mpodozis, C. y Kay, S., 1990, Provincias magmáticas ácidas y evolución tectónica de Gondwana : Andes chilenos (28°-31°S). *Rev. Geol. de Chile*, 17, 2, 153-180.
15. Hervé, M., 1987, Movimiento sinistral en el Cretácico Inferior de la Zona de Falla Atacama al norte de Paposo (24° S), Chile. *Rev. Geol. de Chile*, 31, 37-42.
16. Cembrano, J., Hervé, F. and Lavenu, A., 1996, The Liquiñe-Ofqui fault zone : a long lived intra-arc fault system in southern Chile. *Tectonophy.*, 259, 55-66.
17. Brown, M., Dallmeyer, R., Diaz, F. and Grocott, J., 1991, Atacama Fault System : History of displacement and tectonic significance for the Mesozoic-Recent evolution of northern Chile. 6° Cong. Geol. Chileno, Actas, 129-132, Viña del Mar.
18. Hervé, F., Pankhurst, R., Suarez, M. and De La Cruz, R., 1993, Basic magmatism in a mid-Tertiary transtensional basin, isla Magdalena, Aysén, Chile. *Second ISAG, Oxford ORSTOM*, 367-369.
19. Hussong, D. M., and Wipperfurth, L. M., 1981, Vertical movement and tectonic erosion of the continental wall of the Peru-Chile Trench near 11°30' S Latitude, *in Nazca Plate: Crustal Formation and Andean Convergence*, edited by L.D. Kulm, J. Dymond, E.J. Dasch, and D.M. Hussong, *Mem. Geol. Soc. Am.*, 154, p. 509-524.
20. Sosson, M., Bourgois J., and Mercier de Lepinay B., 1994, SeaBeam and deep-sea submersible Nautila surveys in the Chiclayo canyon off Peru (7° S): Subsidence and subduction-erosion of an Andean Type convergent margin since Pliocene time. *Mar. Geol.* v. 118, p. 237-256
21. Bourgois, J., Martin, H., Lagabrielle, Y., Le Moigne, J., and Frutos, J., 1996, Subduction erosion related to spreading-ridge subduction: Taitao peninsula (Chile margin triple junction area): *Geology*, v. 24, p. 723-726.