



## EVOLUCION GEOTECTÓNICA DE LA CORDILLERA DE LA COSTA DE CHILE CENTRAL (33-34 °S): CONTROL GEOLÓGICO Y GEOFÍSICO

Paulina Gana<sup>1</sup>, Gonzalo Yañez<sup>1</sup>, Renate Wall<sup>1</sup>

### Introducción

Una de las principales zonas de transición en la geología del margen activo de Sudamérica se ubica entre los 33 y 34° S. Rasgos distintivos de la evolución meso-cenozoica observados hacia el norte y sur de esta zona, y que trascienden a las condicionantes tectónicas imperantes comprenden, entre otros: a) migración continua del eje magmático en el segmento norte versus una cuasi-estacionariedad del mismo hacia el sur; b) cambio en el rumbo del eje magmático, desde una dirección N-S (norte) a N-NE (sur); c) desarrollo de la Depresión Central en el segmento sur; d) subducción de elementos de cronología de volcanismo cuaternario en el segmento norte en contraposición a una subducción normal y abundante volcanismo de la misma edad en el segmento sur. Esta serie de elementos de cronología diversa y correlación discutible configuran un marco de referencia que sugiere una evolución retroalimentada por eventos geológicos distintivos de cada segmento. Bajo esta hipótesis de trabajo, la evolución geológica de la zona de transición tiene sin duda un rol relevante en el entendimiento del marco global en que se ha desarrollado el Círculo Andino en la zona central de Chile.

Para el análisis de esta zona de transición, a fin de proponer una evolución geotectónica de la misma, se integra en el presente trabajo la información proveniente de los programas geológicos regionales y geofísicos de potencial que está efectuando el Sermapgeomin en la franja costera de la Quinta Región y Metropolitana.

### Marco Geológico

Este sector de la Cordillera de la Costa se caracteriza por un predominio plutónico desde el Paleozoico Superior hasta el Cretácico. Su margen oriental muestra el desarrollo de una cuenca (triásica?) jurásica-neocomiana restringida, de intraarco, con aporte sedimentario marino y continental esporádico. Terrazas marinas del Mioceno-Plioceno, se disponen paralelas a la línea de costa actual, sin sobrepasar los 230 m s.n.m. (Fig. 1).

Las rocas paleozoicas forman un complejo magmático-metamórfico de orientación general NW a N-S, compuesto por tonalitas de anfíbola y biotita, granitos de microclina, pegmatitas de microclina, granodioritas, paragneises y ortogneises. Los granitoides contienen inclusiones máficas orientadas y poseen una foliación sinmagmática. Constituyen rocas calcoalcalinas, metaluminosas a moderadamente peraluminosas, de tipo I, con contenidos de SiO<sub>2</sub> entre 65 y 80%, afectados por una microclinización tardía. Proviene de magmas generados en el límite corteza inferior-manto superior, con cierta contaminación cortical durante su emplazamiento<sup>8</sup>. Estos intrusivos han sido

datados por K-Ar en 250-292 ma<sup>2,5,11</sup> y en 269-309 por U-Pb<sup>6</sup>. Enclaves paragneísicos distribuidos a lo largo de la costa han sido datados en 330, y 172 ma por Rb-Sr<sup>2</sup>. La mayor parte de las rocas metamórficas consisten en ortogneises graníticos y tonalíticos de biotita, ocasionalmente con granate y mica blanca. Sus características petrográficas y químicas son compatibles con las de intrusivos paleozoicos no deformados, con cierta tendencia de oeste a este, a una mayor peraluminosidad, contenido de sílice y K<sub>2</sub>O. Su deformación es comparativamente más dúctil en los afloramientos de la costa, donde se encuentran interdigitados con gneises anfibolíticos, indicando la presencia de un nivel cortical de deformación más profundo hacia el occidente. Determinación de edades en estas rocas indican que fueron afectadas por un evento térmico jurásico, probablemente causado por el magmatismo básico y deformación dinámica asociada<sup>8,15</sup>. Sin embargo una edad K-Ar de 278±6 ma<sup>5</sup> en ortogneises con granate, señala al menos dos eventos deformativos.

Subparalelo a la línea de costa afloran, en forma discontinua, cuerpos básicos de textura gnéisica, interpretada como sinplutónica<sup>6</sup>. Estas rocas denominadas anfibolitas, ortoanfibolitas y gneises anfibolíticos por diferentes autores<sup>3,6,15</sup>, intruyen rocas paleozoicas produciendo hibridación en distinto grado, expresado como inclusiones máficas, migmatitas y formación de términos tonalíticos. Su química es compatible con magmas originados en el manto, intruidos a nivel de corteza inferior con resultado de mezcla de magmas<sup>10,18</sup>. Poseen edades K-Ar de 159-169 ma<sup>2,5,9</sup> y U-Pb de 161-164 ma<sup>6</sup>.

El magmatismo jurásico muestra una polaridad composicional tendiente a un aumento de su grado de diferenciación hacia el oriente. En este sentido afloran unidades con predominio de dioritas y monzonitas cuarcefíeras, tonalitas de anfíbola y biotita, granodioritas y granitos de biotita. Los términos más básicos presentan abundante mezcla con cuerpos diorítico-gábricos, traduciendo éstos en inclusiones máficas orientadas y filones en los términos félsicos. Químicamente son granitos calcoalcalinos, de tipo I, evolucionados por un proceso de diferenciación magmática típicamente asociado a un margen continental activo<sup>5,7</sup>. Edades K-Ar de 150-162 ma<sup>5</sup> se han obtenido para estos granitoides, concordante con las relaciones de intrusión en estratos de las formaciones Ajial, Cerro Calera y Horqueta. Estas edades obtenidas para todo el rango composicional es consistente con la presencia de distintos niveles de exposición de una cámara magmática diferenciada.

Los intrusivos del Cretácico siguen una disposición N-S, variando a NE al sur de los 33°40' S. Intruyen estratos del Valanginiano-Barremiano (formaciones Lo Prado y Veta Negra). Se componen de granodioritas, gabros, dioritas, tonalitas, leucogranitos y pórfidos en forma subordinada. Su composición química es compatible con productos calcoalcalinos tipo I. Han sido datados en 85-96 ma por K-Ar<sup>5,4</sup>, representando ésta una

(1): Servicio Nacional de Geología y Minería  
Santa María 0104, Santiago-Chile

edad mínima cercana al límite Cretácico Inferior-Cretácico Superior.

La tectónica del área está caracterizada por un sistema de bloques, limitados por fallas NW, con movimiento de rumbo, rotación y alzamiento de bloques, que en parte afecta al arco magmático cretácico. Estas fallas, y sus conjugadas de dirección NE, se activaron con movimientos de tipo normal del post-

Plioceno. En el sector de San Antonio- Melipilla se observa una estructura de dirección E-W tendiendo a W-NW en su margen occidental, concordante con la foliación de ortogneises y ortoanfibolitas. Su movimiento dextral está evidenciado por el desplazamiento de granitoides del paleozoico y cretácico, del trend magmático Cretácico al sur de la estructura y del desplazamiento de las secuencias estratificadas jurásicas-neocomianas (Fig. 1)

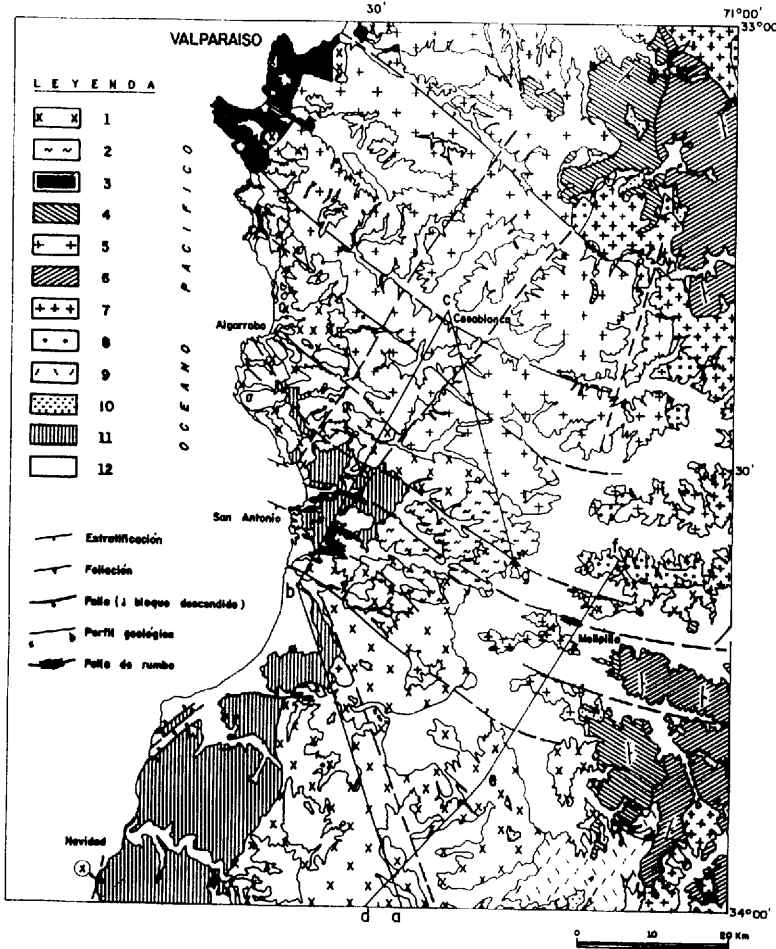


Figura 1: Geología simplificada de la Cordillera de la Costa, entre los 33-34° S. 1. Granitoides del Perno-Carbonífero; 2. Ortogneises y pargneises del Paleozoico-Jurásico; 3. Anfibolitas y gneises anfibólicos del Jurásico; 4. Secuencia volcano-sedimentaria jurásica; 5. Granitoides del Jurásico; 6. Secuencia volcano-sedimentaria neo-comiana; 7. Granitoides del Cretácico; 8. Zona de mezclas intrusivas; 9. Granitoides del Jurásico- Cretácico indiferenciados; 10. Alteración hidrotermal; 11. Terciario Superior indiferenciado; 12. Cuaternario indiferenciado. Basado en trabajos de Gana *et al.*<sup>6</sup>, Corvalán y Munizaga<sup>7</sup>.

### Marco Geofísico

El mapa de campo magnético y gravimétrico se presenta en figuras 2a y 2b. Destaca en ambos mapas una estructura o lineamiento magnético de dirección W-NW coincidente en algunos tramos con el río Maipo y que ha sido denominada como la Anomalia Melipilla. En el mapa magnético (Fig. 2a), la Anomalia Melipilla se compone de un positivo de mediana a gran amplitud y gran longitud de onda. En el mapa gravimétrico (Fig. 2b), la misma estructura es caracterizada por una anomalía positiva de similares características, si bien en este caso la información disponible permite extender la estructura a la plataforma continental, en forma coincidente con el cañón

submarino del río Maipo. En el mapa magnético destacan al menos otros dos lineamientos magnéticos de dirección NW que se sitúan al norte de la Anomalia Melipilla, pero manteniendo cierta angularidad con la dirección de esta última. Cabe hacer notar que estos lineamientos son coincidentes con las fallas normales trazadas en el mapa geológico de figura 1. Completa el cuadro de rasgos predominantes en el mapa magnético una secuencia de anomalías de mediana a gran intensidad que se alinean en dirección N-S en el flanco oriental del área en estudio, y que se interpretan como cuerpos intrusivos pertenecientes a las raíces del arco cretácico superior en la Cordillera de la Costa<sup>12</sup>. La falta de resolución en el mapa gravimétrico en áreas alejadas de la Anomalia Melipilla impide

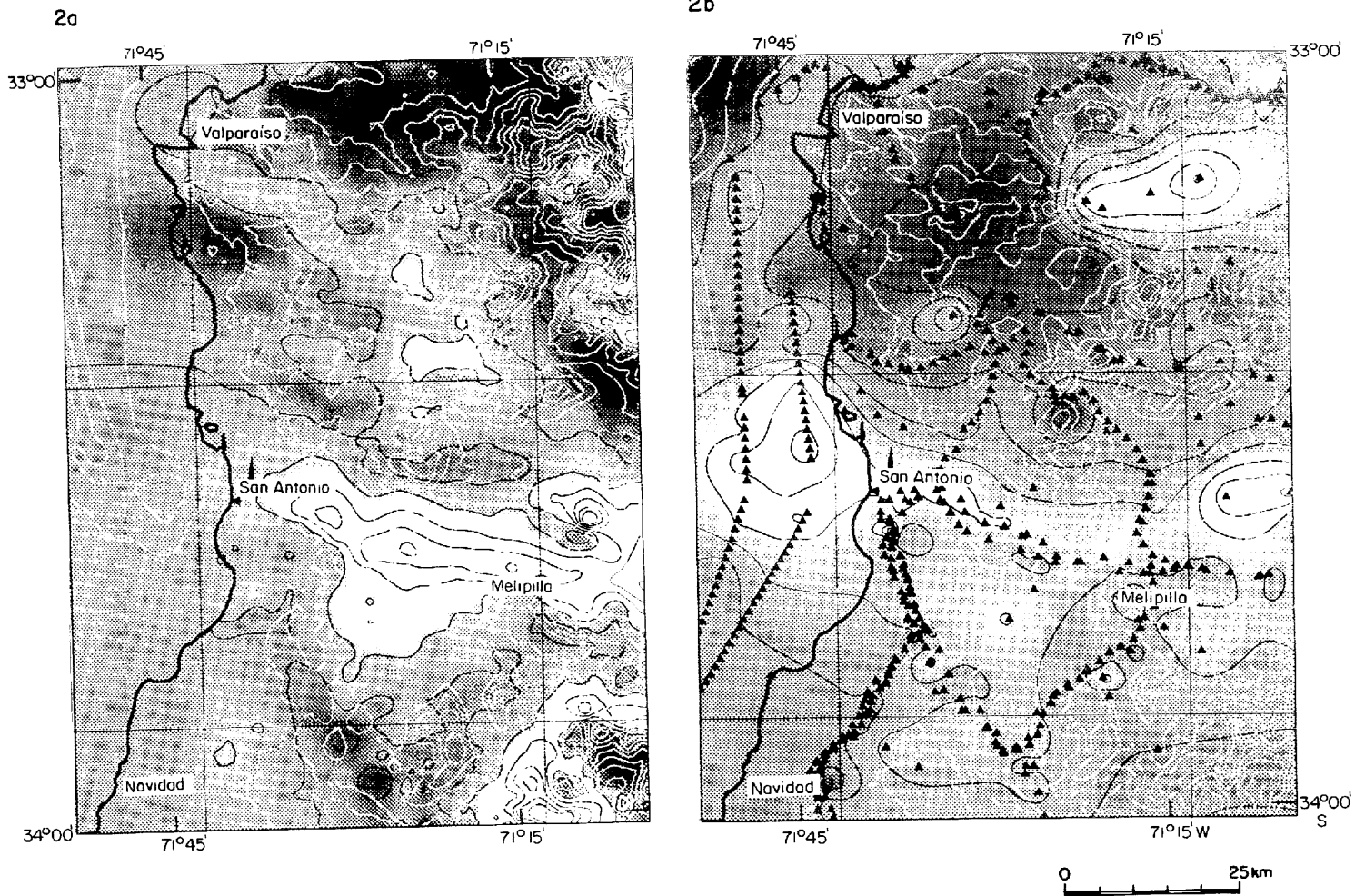


Figura 2: Mapas de anomalía magnética y gravimétrica residual (figuras 2a y 2b, respectivamente). El levantamiento aeromagnético presenta un diseño técnico que comprende líneas de vuelo a un espaciamiento de 2.5-3 km y altura de vuelo de 600 m sobre el relieve. La base de datos gravimétrica (▲ : estación) incluye información de la base de datos de la U. de Cornell, y nueva información en perfiles de dirección N-S en la región de Melipilla. Se superpone a ambas figuras una base topográfica y batimétrica en contornos de color blanco. En la representación de los campos de potencial se ha utilizado una imagen en tonalidades de gris con saturación negra y blanca para mínimos y máximos respectivamente. En forma superpuesta se incluyen las curvas de contorno cada 50 nT (magnetismo) y 10 mgal (gravedad). La saturación en magnetismo corresponde a  $\pm 200$  nT, y en gravedad a  $\pm 20$  mgal.

discriminar estructuras de menor dimensión, sin embargo es posible distinguir sendos mínimos que flanquean la anomalía positiva de dirección W-NW.

Una modelación simultánea de las anomalías magnéticas y gravimétricas en los perfiles descritos en figura 1 se presenta en figuras 3a y 3b. Las particulares características de la Anomalía Melipilla, especialmente en lo relativo a su patrón magnético, en el cual no se advierte el característico sistema de anomalía dipolar, requiere un cuerpo tabular de un espesor medio de 2 km y manto suave al sur. La combinación de intensidad y longitud de onda permite, a su vez, constreñir la profundidad a la fuente y la correspondiente susceptibilidad magnética. Profundidades en un rango entre 2 y 5 km comprenden la ubicación actual del cuerpo tabular, con una susceptibilidad magnética asociada de 0.01 emu. Valores de esta magnitud comprometen la presencia de una fuente máfica a ultramáfica<sup>14,16</sup>. Pequeños bloques de similar contenido magnético se sitúan al norte de la Anomalía Melipilla, si bien su mayor profundidad atenua su relevancia en la anomalía de campo total. La modelación gravimétrica contribuye en la definición de una anomalía positiva que se asocia fundamentalmente a los afloramientos de gneises que se distribuyen inmediatamente al norte del cuerpo máfico principal. La anomalía gravimétrica negativa que compromete una superficie areal de aproximadamente 2500 km<sup>2</sup> en el sector norte del área en estudio (Fig. 2a), es modelada con un contraste negativo de -120 kg/m<sup>3</sup>. Este cuerpo puede asociarse al núcleo félsico de una cámara magmática zonada cuya gradación composicional es claramente evidente en la geología de superficie (Fig. 1). Comparando la modelación de los perfiles costa e interior, es posible advertir que en general las estructuras emplazadas en profundidad tienden a ser más someras en dirección oeste, sugiriendo niveles de erosión o denudación más intensos en los sectores costeros.

### Discusión y Conclusiones

Los distintos aspectos geológico-geofísicos permiten proponer la siguiente evolución geotectónica para el segmento de corteza entre los 33-34° S:

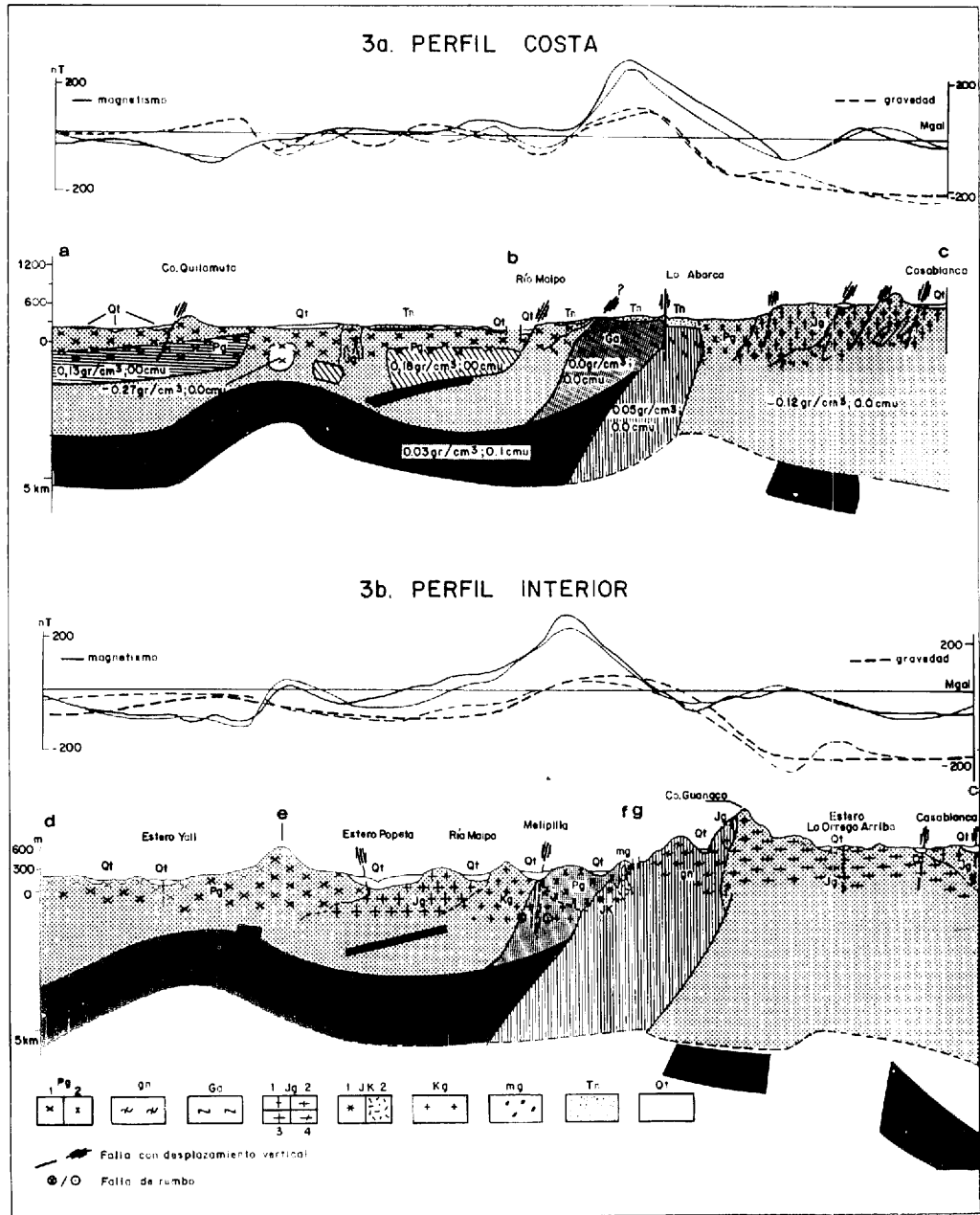
1. Desarrollo de un magmatismo permo-carbonífero que comprometió niveles de corteza superior durante su emplazamiento.
2. Alzamiento del basamento y posterior relleno de una cuenca volcánico-sedimentaria con aporte marino restringido, de edad triásica?-jurásica. Posterior desarrollo de un magmatismo jurásico asociado a margen convergente de placas, producto de la intrusión de magmas básicos en la base de la corteza, seguido por un proceso de diferenciación.
3. Formación de una cuenca volcánico-sedimentaria neocomiana, en un ambiente extensivo, y
4. Evolución de un magmatismo cretácico asociado a tectónica compresiva posiblemente relacionada a la apertura atlántica, de acuerdo al modelo propuesto por Pitcher<sup>13</sup> para el Batolito de la Costa de Perú.
5. La disposición y forma del cuerpo tabular básico que se asocia a la Anomalía Melipilla, el paralelismo entre su techo y base, y su correlación con la tectónica que afecta a rocas paleozoicas (Fig. 3), sugieren la existencia de una deformación que habría comprometido una sección cortical de al menos 5 km de potencia. Las actuales observaciones geológicas y geofísicas dan a entender que esta tectónica estaría acotada en una ventana temporal entre el Cretácico Medio a Superior, tanto por

relaciones estratigráficas como por el término de las estructuras en el núcleo del arco cretácico en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa. Por otra parte, la relación espacial de un cuerpo básico en profundidad que tiende a emerger en contacto con un núcleo metamórfico profundo, sugieren: a) Presencia de un sistema extensional de bajo ángulo. Un mecanismo de estas características es particularmente apropiado para un periodo geológico como el Cretácico Medio a Superior, que muestra a escala global, una de las producciones magmáticas de mayor volumen<sup>19</sup>, facilitando, en consecuencia, la presencia de planos de despegue someros y el flujo de la corteza y/o litósfera dúctil, tal cual ha sido propuesto para la tectónica extensional del "basin and range" en Norteamérica<sup>1</sup>. Este mismo plano de despegue puede haber sido reutilizado posteriormente en una tectónica compresiva con una componente de rumbo dextral controlada por una falla maestra N-S, concordante con una convergencia oblicua y probables diferencias de competencia en ambos flancos de la zona de transición<sup>17</sup>; b) Presencia de un sistema compresivo con movimiento inverso controlado por tectónica transpresiva, la cual produjo un conjunto de estructuras de rumbo NW con componente oblicua que permitió la rotación y exposición de porciones profundas de la corteza.

**Agradecimientos** : A J. Cañuta, H. Zúñiga, C. Bello, S. Alvarez, J.M. Capó, A. Gutiérrez, I. Lazo, F. Morales, y G. Ardiles por la recolección y procesamiento de información geofísica, geológica, y su representación gráfica.

### Referencias

1. Block, L. and Royden, L. H. 1990. Tectonics, V.9, N°4, 557-567.
2. Cordani, U., Munizaga, F., Hervé, F., Hervé, M., 1976. Edades radiométricas provenientes del basamento cristalino de la Cordillera de la Costa entre las provincias de Valparaíso y Santiago, Chile. In Congreso Geológico Chileno, N°1, Actas, V.2, F213-F222, Santiago, Chile.
3. Corvalán, J. y Munizaga, F., 1972. Edades radiométricas de rocas intrusivas y metamórficas de la Hoja Valparaíso-San Antonio. Boletín N°28, 40 p., IIG, Chile.
4. Dávila, A., Hervé, F., Munizaga, F., 1979. Edades K/Ar en granitoides de la Cordillera de la Costa de la Provincia de Colchagua, VI Región, Chile central. In Congreso Geológico Chileno, N°2, Actas, V.1, F109-F120, Arica, Chile.
5. Gana, P., Wall, R., Gutiérrez, A., (en prep.) Geología de la Cordillera de la Costa, regiones de Valparaíso y Metropolitana (33-34°S). Serie Documentos de Trabajo, SERNAGEOMIN, Chile.
6. Godoy, E. y Loske, W., 1988. Tectonismo simpléctico de dioritas jurásicas al sur de Valparaíso: datos U-Pb sobre la "Fase Quimay". Revista Geológica de Chile, V.15, 2, 119-127.
7. Gutiérrez, A., (en prep.) Geología de los cuadrángulos Casablanca y Puangue. Tesis. Dpto. Geología y Geofísica, U. de Chile, Santiago, Chile.
8. Hervé, F., Munizaga, F., Parada, M.A., Brook, M., Pankhurst, R., Snelling, N., Drake, R., 1985. Granitoids of the Coast Range of Central Chile: geochronology and geologic setting. Comunicaciones, 35, 105-108.
9. Irwin, J., Sharp, W., Spangler, R., Drake, R., 1987. Some paleomagnetic constraints of the tectonic evolution of the Coastal Cordillera of central Chile. Journal of Geophysical Research, V.92, 3603-3614.
10. Kouchi, A. and Sunagawa, I. 1983. Mixing basaltic and dacitic magmas by forced convection. Nature, V. 304, 527-528.
11. Muñoz Cristi, J. 1964. Estudios petrográficos y petrologicos sobre el Batolito de la Costa de las provincias de Santiago y Valparaíso. Inst. Geología, U. de Chile, Public. N°25, 93 p.
12. Parra, J.C., Yáñez, G., 1988. Provincias Magnéticas del Chile Central. Revista Geológica de Chile, V.15, 2, 101-117.
13. Pitcher, W.P., 1993. The nature and origin of granite. Chapman & Hall, 321 p.
14. Shive, P.N., Blakely, R.J., Frost, B.R., Fountain, D.M., 1992. Magnetic properties of the lower continental crust. In: Continental Lower Crust, D.M. Fountain, R. Arkulus, and R.W. Kay, editors. Chapter 5, 145-170, Elsevier.
15. Sifa, A., 1987. Geología y petrogenesis de rocas plutónicas del Batolito de la Costa entre Algarrobo y Rocas de Santo Domingo (Chile Central, 33°30' S). Región de Valparaíso, Tesis, Dpto Geología y Geofísica, U. de Chile, 139 p., Santiago, Chile.
16. Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1990. Applied Geophysics (second edition), Cambridge University Press, 770 p.
17. Yáñez, G., (en prep.) A thermo-viscous model for the long-lived segmentation of the Southern Andes geological evolution. Submitted to JGR.
18. Zorpi, M.J., Coulton, C., Ostini, J.H., Cvechina, C., 1989. Magma mingling zoning and emplacement in calc-alkaline granitoid plutons. Tectonophysics, 157, 315-329.
19. Coffin M. F. and Eldholm, O., 1994. Large igneous provinces: crustal structure, dimensions, and external consequences. Reviews of Geophysics, 32, 1, 1-36.



**Figura 3:** Secciones geológicas y geofísicas. a) Costa; b) Interior. Cada sección incluye perfil geológico y curvas de anomalías magnéticas (línea sólida) y gravimétricas (línea segmentada). Se incluye además las curvas de gravedad y magnetismo que son producto de la modelación geofísica combinada. Los cuerpos asociados a esta modelación se superponen a las secciones geológicas en tonalidades de gris y achurado. Los valores de susceptibilidad magnética [cgs] y contraste en densidad [gr/cm<sup>3</sup>] (con respecto a un valor medio de 2.7 gr/cm<sup>3</sup>) se incluyen al interior de cada cuerpo. Nomenclatura geológica: Pg. Granitoides paleozoicos: 1. granitos de microclina, tonalitas de anfíbola y biotita grano grueso. 2. granitos de microclina, tonalitas con inclusiones máficas, leucogranitos de biotita, grano medio; gn. Ortogneis del Paleozoico-Jurásico; Ga. Anfibolitas y gneises anfibólicos del Jurásico; Jg. Granitoides jurásicos: 1. tonalitas, granitos y monzodioritas cuarcíferas 2. granodioritas de biotita 3. tonalitas 4. microdioritas; JK. Intrusivos del Jurásico-Cretácico: 1. gabro 2. pórfido andesítico; Kg. Granitoides cretácicos: granodiotitas, tonalitas de anfíbola y biotita; mg. Mezcla intrusiva ácida-básica; Tn. Secuencia marina del Terciario Superior; Qt. Depósitos cuaternarios.