

LA CUENCA DE VALPARAISO: ANTECEDENTES MORFOTECTONICOS Y SEDIMENTOLOGICOS.

HERNAN VERGARA¹

ABSTRACT: H. Vergara. 1996. The Valparaíso Basin: a morphotectonic and sedimentological background. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 31(1): 45-63.

Multi-beam side scan mapping (Hydrosweep), sediments (piston core) and magnetic data from the Valparaíso Basin were studied and allowed an excellent coverage over 2,790 km². This part of the Central Chile forearc has an average depth of 2,450 m. Punta Salinas Ridge borders it to the north and San Antonio Canyon to the south. Two main submarine canyons, La Ligua and Montemar, discharge their sediments into the basin's head and control structurally the upper forearc.

This complex morphology is strongly controlled by vertical tectonic processes, related to the eastward displacement of the Juan Fernández Volcanic Chain (JFVC). Its collision with the overriding South American plate compresses the lower forearc and originate a dome by compression; its later subduction increases the uplift, generating seismicity.

Basin's sediments are a mixture of pleistocenian marine pelagic and terrigenous clastic materials, mainly transported as bedload that have an average thickness of 2 km of compacted upper strata including a high amount of organic material.

Key words: submarine morphology, submarine canyons, turbidites, seismic reflection, piston core, Hydrosweep.

RESUMEN: H. Vergara. 1996. La Cuenca de Valparaíso: antecedentes morfotectónicos y sedimentológicos. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 31(1): 45-63.

Información batimétrica de alta resolución (Hydrosweep), sedimentológica (piston core y reflexión sísmica) y magnética, de la Cuenca de Valparaíso, establecen que su profundidad promedio es 2.450 m y su superficie 2.790 km². Al norte la limita el Cordón Punta Salinas y al sur el Cañón Submarino de San Antonio. En la cabecera descargan sus sedimentos dos cañones submarinos principales, La Ligua y Montemar, que controlan estructuralmente los bordes del arco frontal superior.

Esta compleja morfología se vincula a un tectonismo vertical inducido por el desplazamiento hacia el Este del Cordón Volcánico de Juan Fernández (CVJF), que al colisionar con la Placa Sudamericana que sobreyace, comprime su arco frontal inferior, generando un domo por compresión. Su posterior subducción acentúa el alzamiento, ocasionando sismicidad.

Los sedimentos pleistocénicos depositados en la cuenca tienen una potencia promedio de 2 km. Su composición es una combinación de material pelágico y terrígeno. Los últimos fueron transportados principalmente como carga de fondo, lo que otorga a los estratos superficiales un alto grado de compactación.

Palabras claves: morfología submarina, cañones submarinos, turbiditas, reflexión sísmica, piston core, Hydrosweep.

1) Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, Casilla 13-D, Viña del Mar, Chile.

INTRODUCCION

La mayor parte del territorio marítimo chileno (88,39%) forma parte de dos placas, la de Nazca (44,21%) y la Antártica (44,18%) que colisionan con la placa Sudamericana (11,61%) a la velocidad

de 100 y 20 mm/año, respectivamente. Esta configuración (Fig. 1) significa que el Cordón Volcánico Juan Fernández (CVJF), al desplazarse pasivamente hacia el este sobre la Placa Nazca, afecta al margen continental de Valparaíso, especialmente a la latitud 32°30'S.

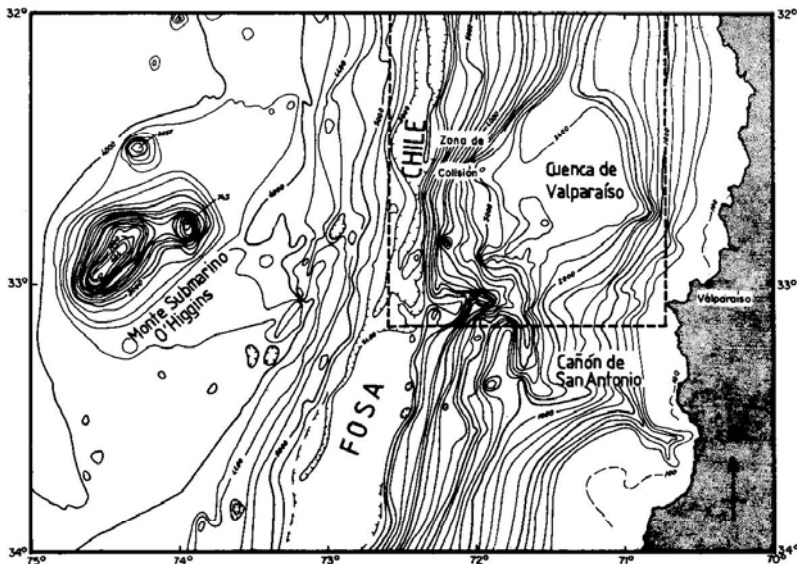


Figura 1. Ubicación del área de estudio (en recuadro) y vista general, de acuerdo a la batimetría convencional, según Schweller & Prince (1977).

Producto de esta interacción resultan procesos como la sismicidad, el volcanismo y la morfología tripartita de Chile, donde cada 82 ± 6 años ocurren sismos generados en planos de ruptura de alrededor de 150 km de longitud, ubicados en y bajo el margen continental (Barrientos & Kausel 1990). Durante el presente siglo, la región de Valparaíso fue afectada por los terremotos de

1906, 1965, 1971 y 1985, que han ocasionado gran cantidad de víctimas y daños materiales. Entre los 27° y 33° Lat. S, la distribución de los focos sísmicos indican que la dirección de convergencia de placas es N90°E (Cande 1986) y que la zona de Benioff es de poca inclinación ($< 30^\circ$) (Barzangi & Isacks 1976; Pilger 1981).

En el presente trabajo se presentan antecedentes batimétricos, morfológicos, de reflexión sísmica y sedimentológicos que fundamentan la hipótesis del desplazamiento hacia el este y la colisión del CVJF con el margen continental de la región de Valparaíso. Los antecedentes fueron obtenidos durante el crucero CONDOR (SO-101 del R/V "Sonne"), realizado entre el 23 marzo y el 7 de mayo de 1995, y en el cual colaboraron investigadores alemanes, chilenos, daneses, franceses, españoles y estadounidenses, en las especialidades de geofísica, magnetismo, petrología, geoquímica y paleontología. El crucero CONDOR (Chilean Offshore Natural Disasters and Ocean environmental Research) tuvo como finalidad investigar el riesgo natural asociado al tectonismo del margen convergente chileno, mediante una detallada prospección de la batimetría y estructuras existentes en la zona de convergencia frente a la región de Valparaíso.

Los antecedentes geológicos previos al crucero SO-101 del R/V "Sonne" consistían en:

* La información batimétrica obtenida durante el Proyecto "Placa Nazca" que se muestra en la Fig. 1 (Schweller 1976, Schweller & Prince 1977, Kulm *et al.* 1979, Thornburg *et al.* 1990).

* Un perfil de reflexión sísmica (Scholl *et al.* 1970) entre Valparaíso y los 32°20' S - 73°47' W (Fig. 2) que muestra la cuenca sedimentaria de Valparaíso (40 km de ancho) rellena con 2 km de sedimentos, de edad Mioceno al Reciente (Mordojovich 1981).

* Un perfil de reflexión sísmica realizado por el crucero SO-80a del R/V Sonne (Stoffers *et al.* 1992) (Fig. 3).

MATERIALES Y METODOS

Mediante el posicionamiento satelital GPS de la nave, complementado con el Hydrosweep o ecosonda de barrido lateral de alta resolución (con un haz de 120° de apertura) y el programa computacional GMT (Wessel & Smith 1993) se confeccionó la carta batimétrica del área (Fig. 4) y el diagrama tridimensional que ilustra la figura 5.

El espesor de los sedimentos se midió con el Sub-Bottom Profiler (Atlas Parascound), trabajando en una frecuencia de 4 KHz, en una línea de orientación E - W (32°44.91'S - 72°01.95'W a 32°44.51'S - 72°19.89'W).

La estructura y composición de los sedimentos (G.S.A. 1975) se estudió en cuatro submuestras de un piston core de 10m de longitud, que se extrajo del borde externo de la Cuenca de Valparaíso, a los 2.545m en 32°45'S - 72°02'W (Fig. 3). La mineralogía y el contenido de materia orgánica de las submuestras se analizaron bajo un microscopio estereoscópico Leitz de luz transmitida y reflejada. Cada descripción incluye una estimación de los componentes presentes según el método porcentual para muestras aleatorias de Terry & Chillingar (1955).

El marco conceptual aplicado al sector consistió en dividir el margen continental en arco frontal inferior, medio y superior de acuerdo a las características morfotectónicas y estructurales de la cuenca, siguiendo la metodología de Hagen & Moberly (1994).

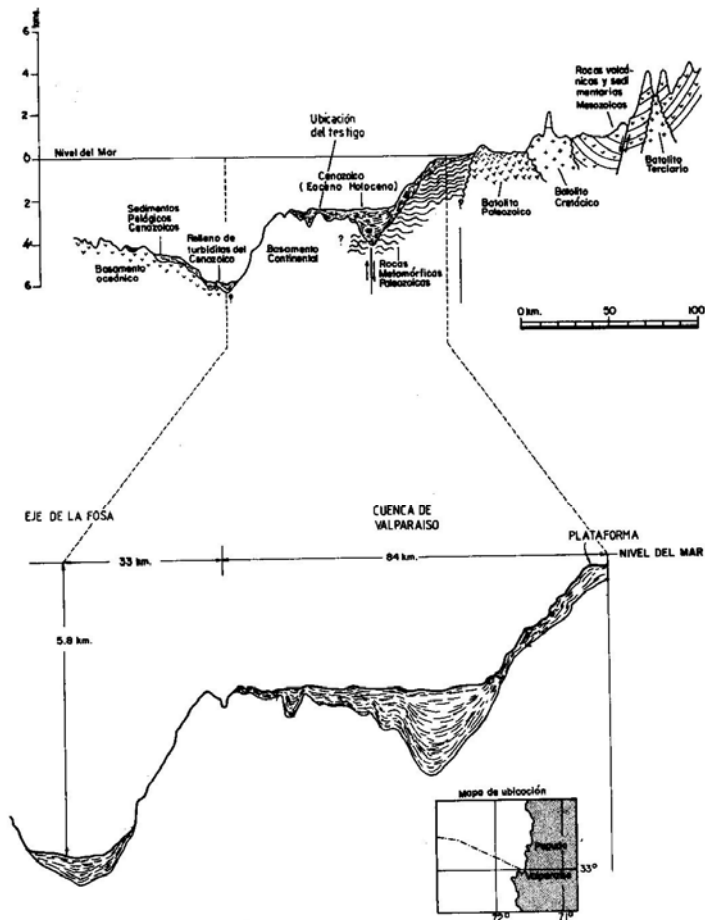
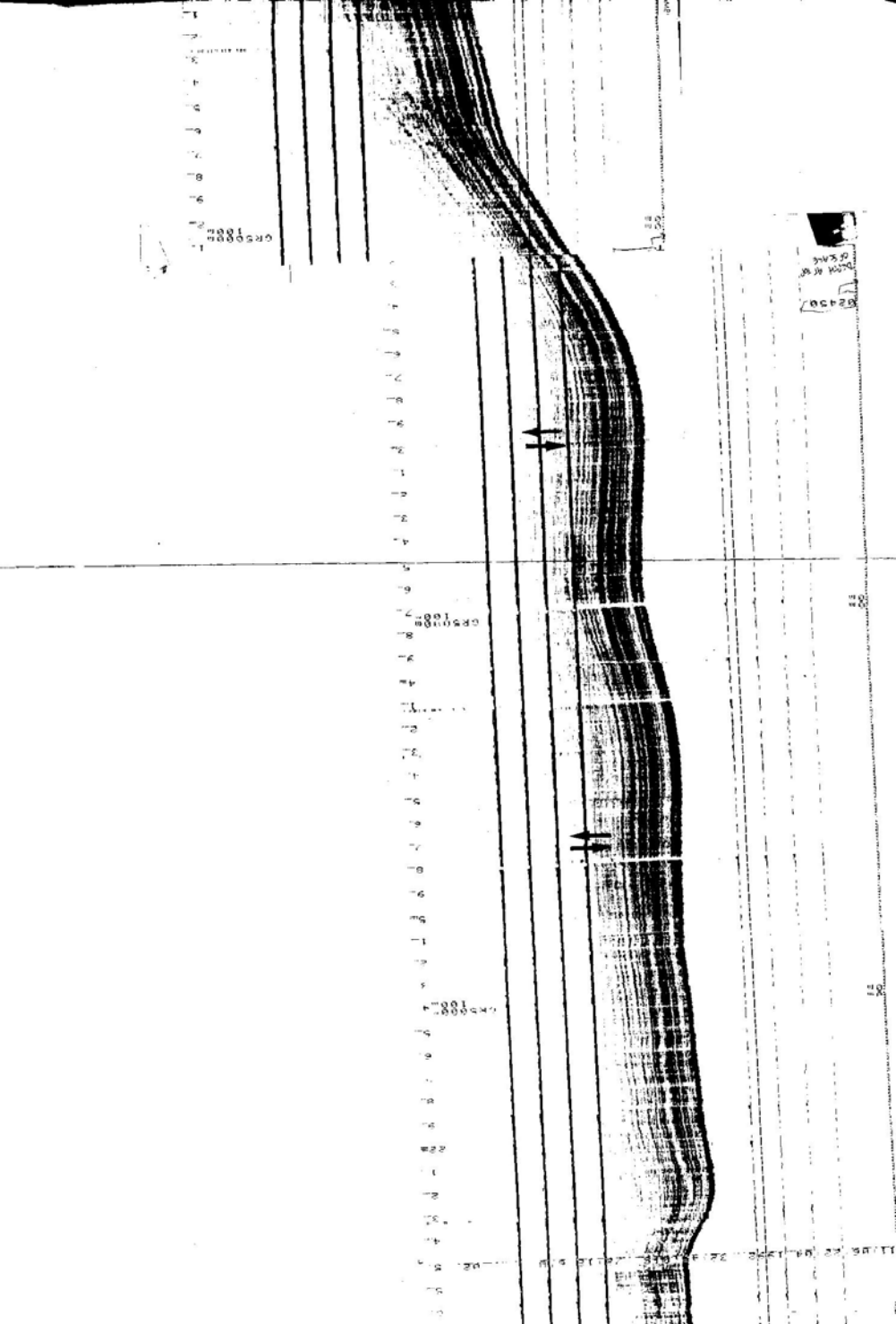


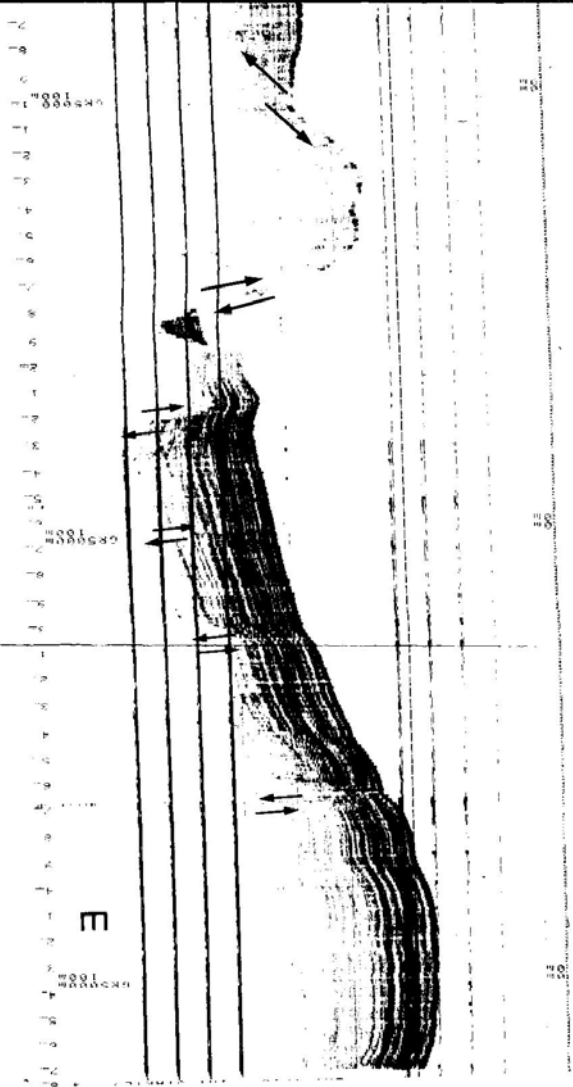
Figura 2. Interpretación geológica del registro de reflexión sísmica, según Scholl *et al.* (1970).

005000
1000
1

005000
1000
1

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100





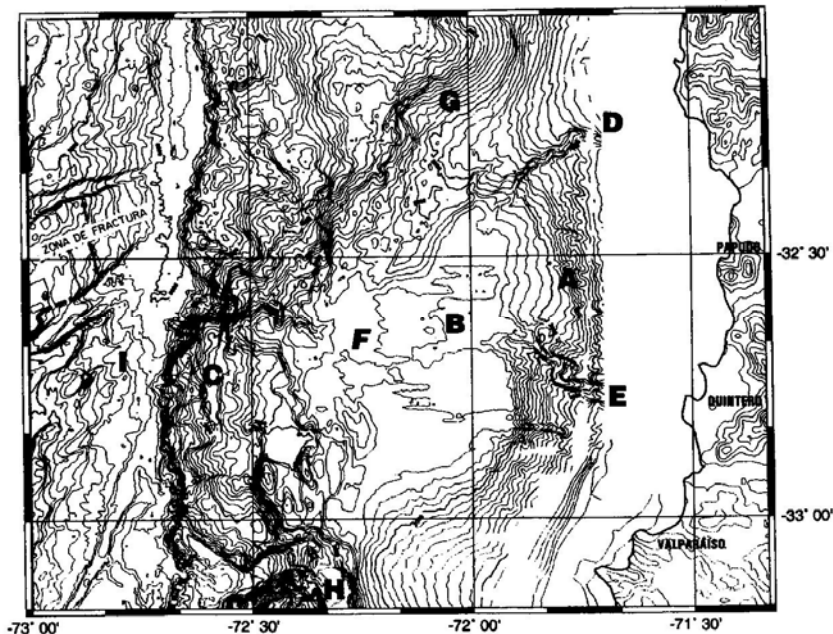


Figura 4. Mapa batimétrico con Hydrosweep de la Cuenca de Valparaíso. Toponimia: (A) Arco Frontal Superior; (B) Arco Frontal Medio; (C) Arco Frontal Inferior; (D) Cañón Submarino La Ligua; (E) Cabecera Cañón Submarino Montemar; (F) Cuenca de Valparaíso; (G) Cordón de Punta Salinas; (H) Cañón Submarino de San Antonio; (I) Fosa Chile.

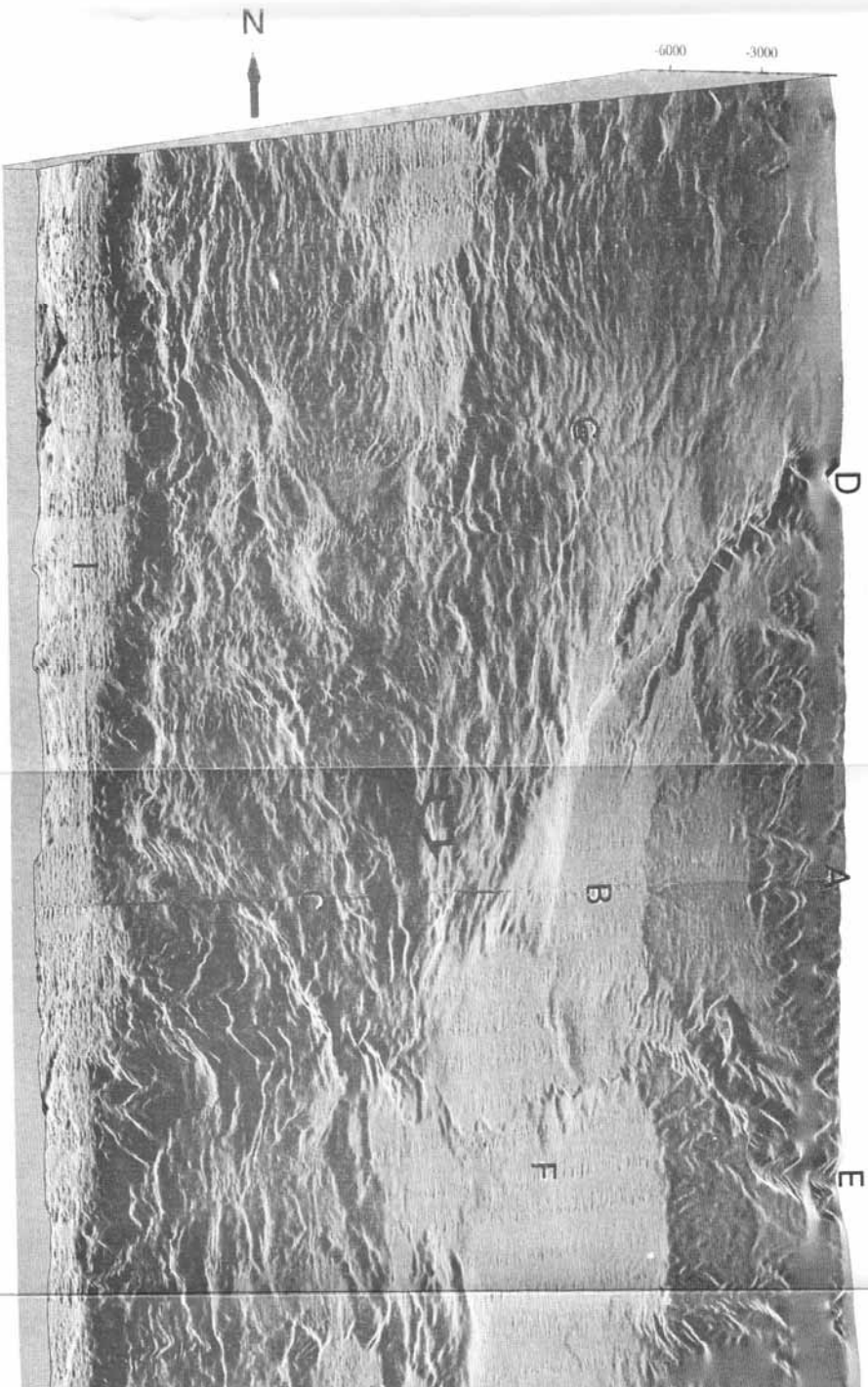
RESULTADOS Y DISCUSION

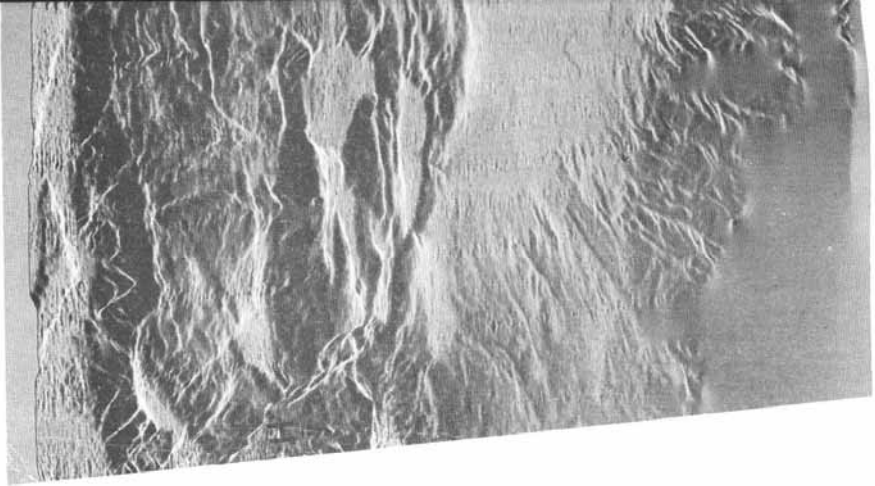
MORFOLOGIA

El suelo de la Cuenca de Valparaíso se ubica en el arco frontal medio, entre las isóbatas de 2.450 y 2.800m. Arealmente abarca una superficie de 2.790km² con una longitud de 62km y un ancho de 45km. Por el norte limita con el **Cordón de Punta Salinas** y por el sur con el **Cañón de San Antonio** (Figs. 4 y 5). En el centro de la cuenca hay un lomaje de

dirección este-oeste que la divide en dos sectores denominados norte y sur (Fig. 4). Al este limita con el arco frontal superior y por el oeste con el arco frontal inferior que en profundidad corresponde a un horst generado por alzamiento y compresión tectónica. Aparentemente, la subducción en este sector de un monte submarino sería la causa del alzamiento estructural (Fig. 5) que limita por el oeste a la Cuenca de Valparaíso.

Figura 5.- Vista del oeste de la Cuenca de Valparaíso en base a batimetría de la Fig. 4, al que se aplicó iluminación para destacar algunos relieves. Observe los cañones: La Ligua (D) y Montemar (E). Entre ambos cañones se aprecia un deslizamiento desde (A) hacia (B). La flecha negra vertical señala la ubicación bajo la corteza de la Anomalía Magnética Papudo. Note el escarpe de 500m en la base del talud.





SEDIMENTOLOGIA

El registro sísmico del crucero SO-80a del "Sonne" (Stoffers *et al.* 1992) evidencia un relleno sedimentario de 30m de espesor (Fig. 3), pero el SO-101 (1995), de mejor tecnología, reveló una unidad superior de 300m de espesor, discordante sobre una unidad inferior de 1.000m. Los registros W-E (Fig. 6) y N-S (Fig. 7) muestran 320m de sedimentos modernos, discordantes sobre 1.800m de turbiditas que rellenan canales de erosión. En los tres registros, la superficie es un reflector opaco de sedimentos terrígenos que fue penetrado hasta 3,86m por el "piston core" extraído en 1992.

La columna estratigráfica del core se resume en la figura 9. Los sedimentos superficiales son fangos biógenos con intercalaciones de arenas bioturbadas. La mineralogía y contenido de materia orgánica de las 4 submuestras extraídas a los 50-55 cm, 150-155 cm, 250-255 cm y 360-365 cm de profundidad se ilustra en la Tabla 1. Las submuestras 1 y 2 corresponden a limos arenosos con 15% de componentes pelágicos (foraminíferos, radiolarios, espinas de esponjas y diatomeas). Incluyen un 25 a 35% de arenas terrígenas (feldespatos, minerales máficos y opacos) de 0,1 a 0,2 mm de diámetro (arena fina), con clastos esféricos a subredondeados que sugieren un transporte relativamente prolongado. Las submuestras 3 y 4 son arenas finas limosas con un 50% de arenas terrígenas angulosas y un 10% de componentes pelágicos. Las submuestras superficiales son más ricas en organismos planctónicos y clastos redondeados que las más profundas, con abundantes minerales angulosos.

Las características presentadas sugieren un transporte turbulento de los estratos inferiores, gradación normal de la

secuencia y velocidades de sedimentación decreciente en función del tiempo geológico.

Tanto la composición como el color de los sedimentos analizados son similares a los que el río Aconcagua aporta al mar (Caviedes 1972). Según Vergara (1994)¹ la materia orgánica de estos sedimentos, podría generar eventualmente una actividad bioquímica de descomposición, con liberación de metano, anhídrido carbónico y otros gases de menor relevancia, cuya liberación espontánea podría ser causada por turbiditas u otros procesos de remoción en masa. Esto es consecuente con los contenidos porcentuales de materia orgánica en las capas superiores del testigo analizado en este trabajo

CAÑONES SUBMARINOS

Limitando la Cuenca de Valparaíso por el norte hay dos cañones submarinos cuya continuidad hacia la fosa es obliterada por el relleno sedimentario de la cuenca. Al primero se propone denominarlo **Cañón La Ligua** y al segundo **Cañón Montemar**, éste último, en homenaje al Instituto de Oceanología (ex Estación de Biología Marina de Montemar), ubicado en las cercanías de su cabecera (Figs. 4 y 5). La iniciación del primero se ubica en los 32°17'S - 71°40'W y desemboca en los 32°25'S - 72°00'W. Su eje orientado a los 230° y su cauce zigzagueante sugieren un control tectónico del trazado, que en su curso inferior, desaparece bajo el relleno sedimentario que colmata la cuenca. El segundo se inicia en los 32°46'S - 71°40'W y desemboca a la profundidad de 2.450m en los 32°39'S - 71°48'W, en el relleno sedimentario. Su eje se orienta a los 320°. En la figura 4 se aprecia que las cabeceras de ambos cañones se internan en un sector (12 millas náuticas) que carece al momento de información batimétrica adecuada. La traza zigzagueante de ambos cañones, con quiebres rectos, sugiere un fuerte control estructural y

1) Libro resúmenes: XIV Jornadas de Ciencias del Mar, Puerto Montt, Chile. Pág. 125.

tectónico (Fig. 5). Al igual que el **Cañón de San Antonio** (Hagen *et al.* 1996) sus "talwegs" parecen estar controlados por la periodicidad del aporte de los cursos de agua subaéreos que los alimentan, por cambios en el nivel del mar y por el tectonismo vertical. Relacionando la batimetría con la ubicación de puntos notables en la costa, se infiere que el cañón de Montemar es la continuidad, costa afuera, del cauce del río Aconcagua

MAGNETISMO

Según Yáñez *et al.* (1995) (Fig. 8) las franjas paleomagnéticas sugieren la existencia de 3 montes subductados bajo el arco frontal inferior (Fig. 7) en las siguientes coordenadas:

Punto 1: 32°30'S - 72°30'W (en los 3.000m).

Punto 2: 32°36'S - 72°36'W (en los 4.000m).

Punto 3: 33°06'S - 72°40'W (en los 5.000m).

El Punto 1 denominado **Anomalia Papudo** pareciera corresponder a la cronozona 18, datada en 47 millones de años (Eoceno Inferior). Su posición coincide con la deformación que se infiere existe bajo el borde norte de la cuenca (Fig. 5). Esta estructura se ubica a 6-7 km bajo la superficie de la corteza y su existencia se deduce de la siguiente asociación espacial: (1) otras anomalías, (2) el alzamiento topográfico de los arcos frontales inferior y medio (con la consiguiente contricción de los cañones submarinos La Ligua y Montemar) y (3) el retroceso del borde de la placa continental en el área.

Tabla 1.- Mineralogía y contenido de materia orgánica del sacatestigo obtenido en la Cuenca de Valparaíso.

PROFUND. SECCION (cm)	NOMBRE DE LA MUESTRA	MATERIAL ARCILLOSO (%)	MATERIAL CLASTICO (%)	MATERIA ORGANICA (%)
50 - 55	FANGO ORGANICO	60	25 10% Feldespato 10% Minerales máficos <5% Mineral opaco 1% Cuarzo	15 5% organismos calcáreos: foraminíferos enteros y fragmentados. 5% organismos silíceos: radiolarios fragmentados. 5% espínulas enteras y fragmentadas: 70% con y 30% sin canal central.
150 -155	FANGO ORGANICO	50	35 15% Feldespato 10% Minerales máficos 5% Mineral opaco 5% Cuarzo	15 5% organismos calcáreos: 3% foraminíferos enteros y 2% fragmentados. 7% organismos silíceos: espínulas enteras y fragmentadas. 90% con y 10% sin canal central. 3% radiolarios fragmentados.
250 -255	FANGO ARCILLOSO: ESCASA MATERIA ORGANICA	40	50 1% Feldespato 20% Minerales máficos <10% Mineral opaco 20% Cuarzo	10 5% Organismos calcáreos: porosos y fragmentados. 5% Organismos silíceos: espínulas fragmentadas, con y sin canal central.
360 -365	FANGO ARENOSO: ESCASA MATERIA ORGANICA	40	50 10% Feldespato 10% Minerales máficos 10% Mineral opaco 20% Cuarzo	10 5% Organismos calcáreos: foraminíferos porosos y fragmentados. 5% Organismos silíceos: espínulas fragmentadas, con y sin canal central.

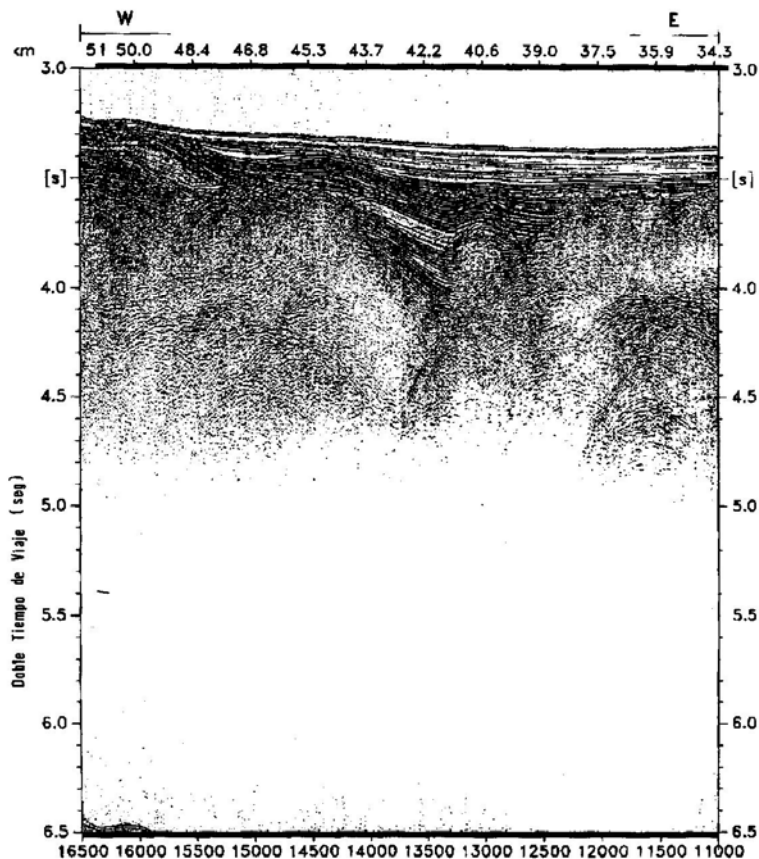


Figura 6. Perfil sísmico del sector externo de la cuenca, con orientación W-E. Note el suave plegamiento de la secuencia sedimentaria inferior que infrayace discordantemente a la superior (según von Huene *et al.* 1995).

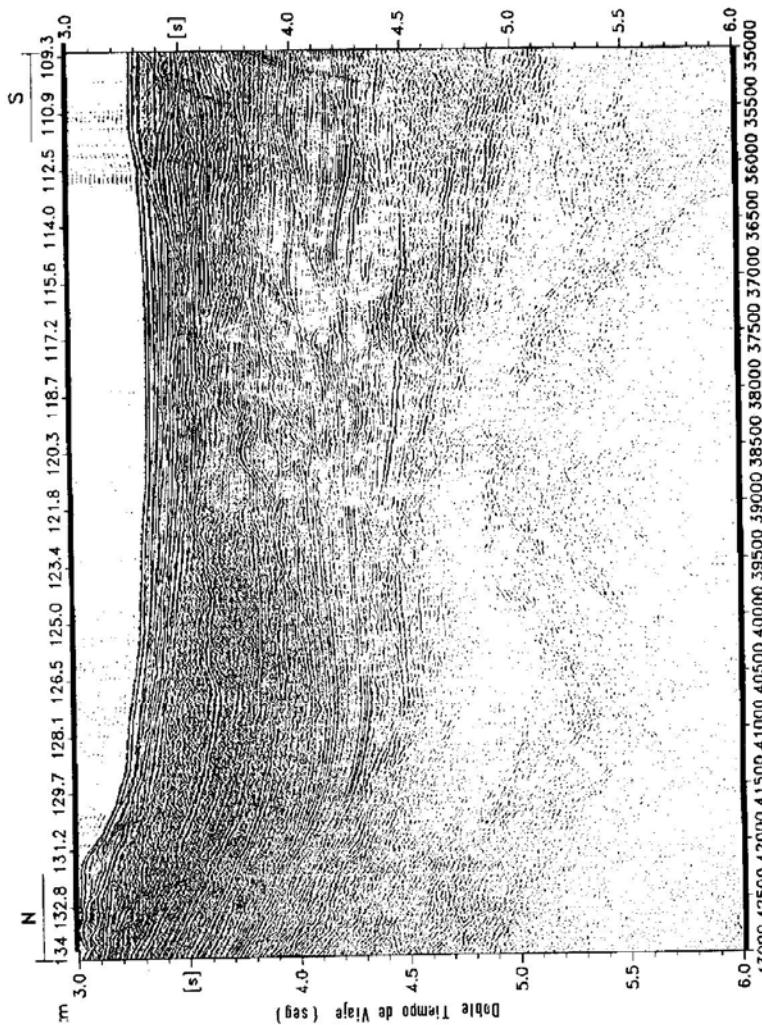


Figura 7. Perfil sísmico de la cuenca con orientación N-S. Observe los reflectores truncados que indican canales de erosión y los reflectores difusos discontinuos que indican turbiditas (según von Huene *et al.* 1995).

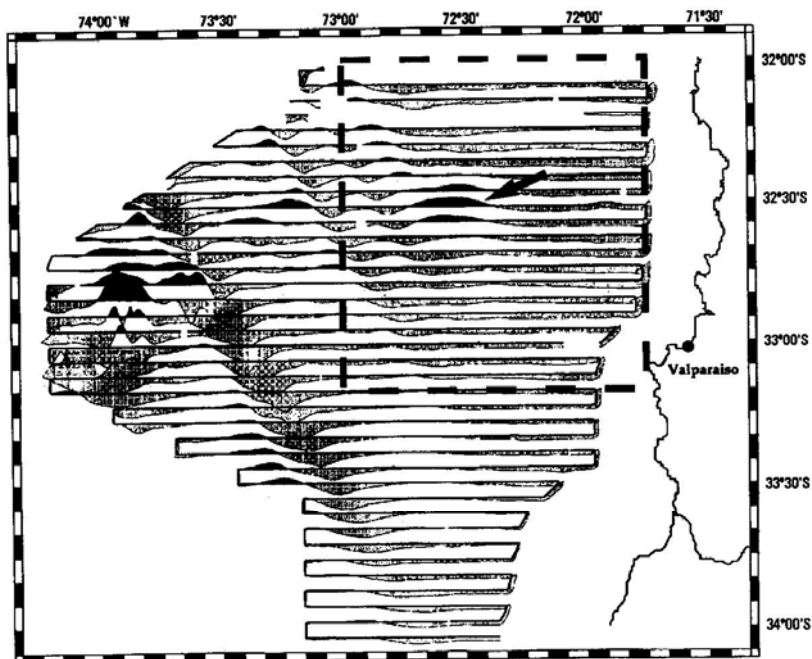


Figura 8. Transectas que grafican la intensidad del campo magnético. Los valores positivos (en negro) sugieren la presencia de montes submarinos introducidos bajo la Placa Sudamericana. El recuadro destaca el área de estudio y la flecha indica la ubicación de la Anomalia Magnética Papudo.

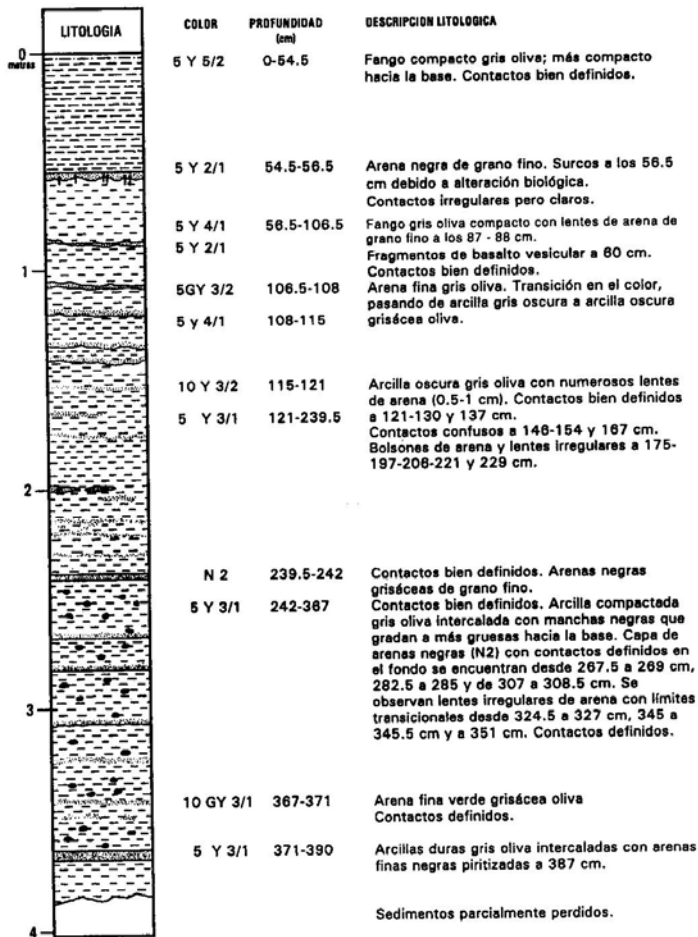


Figura 9. Columna estratigráfica de la muestra de sedimentos obtenida con sacatestigo desde la Cuenca de Valparaíso.

CONCLUSIONES

La Cuenca de Valparaíso constituye una depresión tectónica debido a la convergencia y compresión del Cordón Volcánico Juan Fernández con el borde sudamericano. Está rellena con una secuencia de aproximadamente 1.300 m de sedimentos neógenos, discordantemente superpuestos a la unidad inferior parcialmente deformada. Los sedimentos que tapizan la cuenca son una combinación de materiales pelágicos y terrígenos, cuya proveniencia es netamente marina, en el primer caso, y de rocas continentales volcánico-sedimentarias, en el segundo. Esto último se infiere de los minerales presentes en las secciones estudiadas (feldespatos, cuarzo, minerales máficos y opacos), correspondientes a rocas graníticas; el grado de redondeamiento y esfericidad que presentan se debe al transporte marino.

La Cuenca de Valparaíso es un sinclinal formado por la colisión del CVJF con el margen continental. Este proceso ocasiona tensión superficial, debido al bajo ángulo de subducción de la placa oceánica bajo la continental. Los paleomontes submarinos que fueron subductados bajo el prisma acrecional suprayacente, han elevado y aumentado la pendiente del arco frontal inferior (base del talud). Simultáneamente, se ha creado un

"reentrant" o embahiamiento en el frente deformado, en aquellos sectores donde los montes submarinos colisionan con la base del talud continental.

Este mecanismo es similar al descrito para la subducción del Cordón de Nazca bajo el arco frontal peruano en los 15°S. En el caso chileno, los cañones submarinos La Ligua y Montemar, notoriamente controlados por el tectonismo, han sido confinados a un corto trayecto, debido a que el relleno sedimentario (prisma de acreción) cubre su probable trayectoria subterránea hacia el pie del talud.

El arco frontal inferior, que en la actualidad conforma el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana, muestra una morfología escalonada de tipo lístrico, con derrumbes generados por la subducción de la placa oceánica, que transporta consigo relieves submarinos importantes, como el monte submarino de la Anomalia Papudo. De este conjunto de observaciones se desprende que la Cuenca de Valparaíso está siendo afectada en su base por un intenso proceso tectónico erosivo, que causa el alzamiento y migración hacia el continente del arco frontal inferior, con la consiguiente pérdida -por subducción- de un importante volumen de sedimentos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue iniciado cuando el autor pertenecía al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, al que se agradece las facilidades otorgadas para el procesamiento de los datos.

Se agradece el apoyo otorgado para la realización de este trabajo del Dr. Roland von Huene del Instituto GEOMAR, Universidad Christian-Albrechts, Kiel (R.F.A.), Director del Proyecto CONDOR y Jefe Científico del crucero SO-101 del R/V "Sonne".

Debo agradecer el profesionalismo y paciencia de Willy Weinrebe, de GEOMAR, y Stephan Domínguez, de la Universidad de Montpellier (Francia), quienes tras largas horas frente al computador confeccionaron el gráfico 3-D de acuerdo a las especificaciones indicadas.

Especiales agradecimientos al Prof. Eduardo Valenzuela, del Depto. de Geología de la Universidad de Chile, por la aguda y constructiva revisión del manuscrito. Los agradecimientos se hacen también extensivos a un revisor anónimo.

LITERATURA CITADA

- Barazangi, M. & B.L. Isacks. 1976. Spatial distribution of earth quakes and subduction of the Nazca Plate beneath South America. *Geology*, 4: 686-692.
- Barrientos, S.E. & E. Kause. 1990. Rupture processes of the 1985 Central Chile earthquake. *Revista de Geofísica*, 46: 3-18.
- Cande, S.C. 1986. Nazca-South American Plate interactions since 50 m.y.b.p. Perú-Chile Trench offshore Perú, Atlas 9, Sheet 4. In: Hussong, D.M. *et al* (ed.), Ocean Margin Drilling Program Regional Atlas Series, Marine Science International, Woods Hole, Mass., U.S.A.
- Caviedes L., C. 1972. Geomorfología del Cuaternario del Valle del Aconcagua, Chile Central. Cuadernos Geográficos Friburgueses, Im Selbstverlag der Geographischen Institute der Albert-Ludwigs-Universität, Nº 11, 153 p.
- Geological Society of America [G.S.A.]. 1975. Rock Color Chart.
- Hagen, R.A. & R. Moberly. 1994. Tectonic effects of a subducting aseismic ridge. The subduction of the Nazca Ridge at the Perú Trench. *Marine Geophysical Researches*, 16: 145-161.
- Hagen, R.A., Vergara, H.P. & D.F. Naar. 1996. Morphology of San Antonio submarine canyon on the Central Chile forearc. *Marine Geology*, 129 (3-4): 197-205.
- Jones, G.M., Hilde, T.W.C., Sharman, G.F. & D.C. Agnew. 1978. Fault patterns in outer trench walls and their tectonic significance. *Journal of the Physical of the Earth* 26, Supplement S85-S101.
- Kulm, L.D., Schweller, W.J. & A. Masias. 1979. A preliminary analysis of the subduction processes along the Andean continental margin, 6° to 45°S. In: Watkins, J.S. *et al*. (Eds). American Association of Petroleum Geologists Memoir 29: 285-300.
- Masson, D.G. 1991. Fault patterns at outer trench walls. *Marine Geophysical Researches*, 13: 209-225.
- Mordojovich, C. 1981. Sedimentary Basins of Chilean Pacific offshore, American Association of Petroleum Geologists, p. 63-82.
- Pilger Jr., R.H. 1981. Plate reconstruction, aseismic ridges and low-angle subduction beneath the Andes. *Geological Society of America Bulletin* 92: 448-456
- Scholl, D.W., Christensen, M.N., von Huene, R. & M. Marlow. 1970. Perú-Chile Trench sediments and sea-floor spreading. *Geological Society of America Bulletin* 81: 1339-1360.
- Schweller, W.J. 1976. Chile Trench: Extensional rupture of oceanic crust and the influence of tectonics on sediment distribution, M.Sc. Thesis, School of Oceanography, Oregon State University, 90 p.
- Schweller, W.J. & R. Prince. 1977. Bathymetry of the Peru-Chile Trench and Continental Margin, Chart No. 8. In: Oregon State University & Hawaii Institute of Geophysics, International Decade of Ocean Exploration (IDOE), Nine charts, Scale 1:1 million.

- Stoffers, P., Hekinian, R., *et al.* 1992. Cruise report SONNE 80a-Midplate III Oceanic Volcanism in the South Pacific. Geologische-Palaontologisches Institut und Museum, Christian-Albrechts-Universität, Berichte 58, 128 p.
- Terry, R.D. & G.V. Chillingar. 1955. Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations" by M. S. Shvestson. *Journal of Sedimentary Petrology*, 25(3): 229-234.
- Thornburg, T.M., Kulm, L.D. & D. Hussong. 1990. Submarine fan development in the southern Chile Trench: A dynamic interplay of tectonics and sedimentation. *Geological Society of America Bulletin* 102: 1658-1680.
- von Huene, R., Corvalán, J. & J. Korstgard and the scientific party. 1995. Cruise Report SO-101 CONDOR. GEOMAR Forschungszentrum für Marine Geowissenschaften der Christian-Albrechts Universität zu Kiel, 171 p.
- Yáñez, G., Ranero, C.R. & J. Díaz. 1995. Magnetic survey: Instrumentation, data acquisition, processing, modelling and interpretation. In: von Huene, R., J. Corvalán, J. Korstgard and the scientific party, 1995. Cruise Report SO-101 CONDOR. GEOMAR Forschungszentrum für Marine Geowissenschaften der Christian-Albrechts Universität zu Kiel, p. 31-62, 19 figs.
- Wessel, P. & W.H.F. Smith. 1993. The GMT - System (Version 2.1-Release 4), Technical Reference and Cookbook, 263 p.