

Tipología y clasificación de fiordos y piedmonts submarinos de Magallanes, Chile

José F. Araya Vergara

Departamento de Geografía, Universidad de Chile, jaraya@uchile.cl

Recibido, 2 de marzo de 2004; versión corregida y aceptada, 29 de julio de 2005.

RESUMEN

Se correlaciona los fiordos, canales y piedmonts submarinos estudiados en la región de Magallanes, para obtener una tipología y clasificación regional de estas formas. La comparación fue realizada usando rasgos descritos por el autor en trabajos anteriores, teniendo en cuenta la ausencia o presencia de elementos. Se encontró cuatro categorías regionales de formas submarinas: *fiordo tipo Patagonia Central*, profundo, con bancos morrénicos y explanada de represamiento; *fiordo tipo Magallanes*, somero, con pocas formas deposicionales y bancos morrénicos excepcionales; *lóbulo de piedmont de zona interna*, de línea de varadura y de transgresión marina; y *lóbulo de piedmont de zona externa*, de explanada proglacial y de transgresión marina. Desde la paleodivisoría pleistocénica (zona proximal) hasta el extremo distal, el sistema está estructurado de acuerdo con la siguiente secuencia espacial: fiordo tipo Magallanes, fiordo tipo Patagonia Central, piedmont de zona interna y piedmont de zona externa. Si la paleodivisoría de hielos es la referencia, las explanadas de lóbulo de piedmont se encuentran sólo en la zona distal de la vertiente oriental y nororiental y están emplazados en el plateau patagónico. En cambio, los fiordos están emplazados en el dominio andino.

Palabras clave: fiordo, piedmont submarino, fiordo tipo Patagonia Central, fiordo tipo Magallanes, piedmont de línea de varadura, piedmont proglacial.

Typology and classification of fjords and submarine piedmonts of Magallanes, Chile

ABSTRACT

The fjords, channels and submarine piedmonts studied in the Magellan region are correlated, in order to obtain a typology and regional classification of these landforms. The comparison was carried out using features described in former works by the author, keeping in mind the absence or presence of elements. Four regional categories of submarine landforms were found: *Central Patagonia type fjord*, deep, with morainal banks and ponding esplanade; *Magellan type fjord*, shallow, with few depositional landforms and exceptional morainal banks; *piedmont lobe of internal zone*, of grounding-line and marine transgression; and *piedmont lobe of external zone*, of pro-glacial esplanade and marine transgression. From the Pleistocenic ice paleodivide (proximal zone) to the distal end, the system is structured according to the following spatial sequence: Magellan type fjord, Central Patagonia type fjord, internal zone piedmont and external zone piedmont. If the ice paleodivide is the reference, the piedmont lobe esplanades are found only in the distal zone of the eastern-northeastern watershed and are placed on the Patagonian plateau. In exchange, the fjords are placed in the Andean dominion.

Key words: fjord, submarine piedmont, Central Patagonia type fjord, Magellan type fjord, grounding line piedmont, proglacial piedmont.

* Auspiciado por el Programa Cimar-Fiordo 3 del Comité Oceanográfico nacional.

INTRODUCCIÓN

En un estudio del perfil longitudinal del Estrecho de Magallanes (Fig. 1), a través de registros de perfilador de subfondo, se encontró tres secciones (ARAYA-VERGARA 2001), de las cuales la occidental y la central poseen fondos con rasgos de fiordo.

La sección occidental, extendida desde la paleodivisoria de hielos hasta el Pacífico, muestra formas profundas interpretadas como *bancos morrénicos* y *explanadas de outwash submarino*. Ellas permiten conocer la expresión submarina del campo de la Última Glaciación hacia el Pacífico; constituyen lo que se propone llamar *fase Upright-Xaultegua* (Figs. 1 y 2). Esta fase puede correlacionarse hipotéticamente con las halladas recientemente por KILIAN *et al.*

(2003a) en la vertiente oriental con respecto a la paleo-divisoria de hielos (cuenca del Seno Skyring, zona fiordal), en un emplazamiento similar al de Upright-Xaultegua para la vertiente occidental. Allí se trata de bancos morrénicos asociados a explanadas de represamiento, los únicos descritos en Patagonia, después de los presentados por ARAYA-VERGARA (p.ej. 2001). Las edades C^{14} calibradas encontradas por KILIAN *et al.* (2003 a y b) son de 15550 años para el sistema distal en la parte proximal de Seno Skyring y 12451 años para la parte fiordal media. Se agrega una edad de 4850 años para la parte fiordal proximal. Tanto para la vertiente occidental (hacia el Estrecho de Magallanes) como para la oriental (Seno Skyring), el centro de dispersión glacial corresponde a la calota remanente de la paleodivisoria de hielos pleistocénica, llamada Gran Campo Nevado.

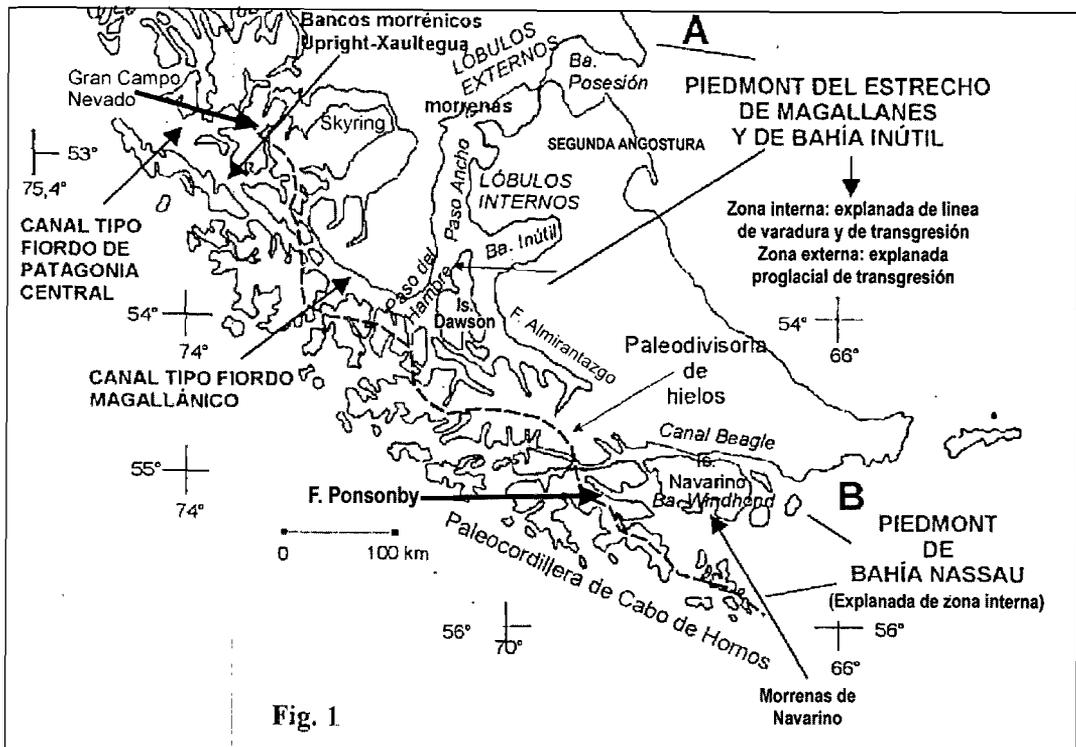


Fig. 1

Fig. 1. Mapa de ubicación de las referencias principales.

Fig. 1. Locational map of the principal references.

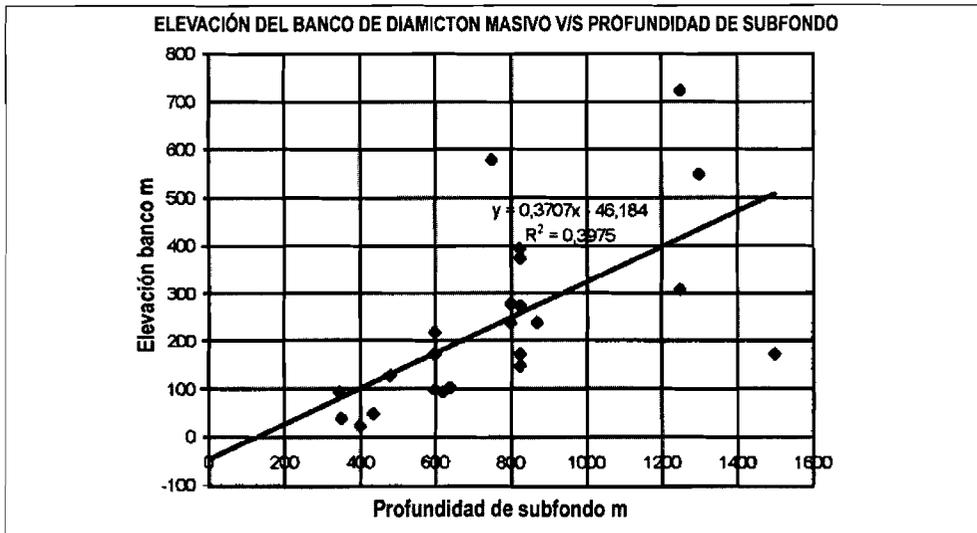


Fig. 2. Elevación de bancos morrénicos vs. profundidad del subfondo en Patagonia.

Fig. 2. Elevation of morainal banks vs. sub-bottom depth in Patagonia.

La sección central, entre la paleodivisorio de hielos y Paso del Hambre, carece de formas morrénicas y de explanadas de *outwash* típicas y posee formas de acumulación modestas en el fondo de las cubetas. Por su parte, la revisión de los perfiles de los fiordos típicos de Magallanes, previsualizados por su forma externa, señala predominio notorio de hipérbolas y formas ondulatorias con ecos prolongados que indican el basamento, escasez de formas deposicionales y profundidades discretas (ARAYA-VERGARA, 1999b), lo que los hace bien distintos de los casos observados en el resto de Patagonia (ARAYA-VERGARA 1999a).

La tercera sección del Estrecho de Magallanes (oriental) desde Paso del Hambre hasta el Atlántico, desarrollada sobre lóbulos de piedmont, contiene sólo morrenas subaéreas costeras. Los fondos de lóbulo orientales se desarrollan en dos zonas, interna y externa, separadas por el sistema de morrenas terminales de Segunda Angostura. Geocronológicamente, en ésta se registran los últimos máximos de la Última Glaciación (CLAPPERTON et al. 1995), que se propone resumir como *fase de Segunda Angostura*. La zona interna se desarrolla en *explanadas de*

línea de varadura glacial y de transgresión marina. La externa, en cambio, se expresa en *explanadas proglaciales subaéreas y de transgresión marina* (ARAYA-VERGARA 2000 y 2001).

Paralelamente, se encontró que los fondos de piedmont de Bahía Inútil y Bahía Nassau (Fig. 1), tienen características de zona interna (ARAYA-VERGARA 2000). Se apreció en ella buena correspondencia entre el emplazamiento costero de las grandes formas producidas por la deriva glacial en la Última Glaciación (ARAYA-VERGARA 1978), los fondos someros en los piedmonts y el predominio de formas erosionales en éstos. Los rasgos morfoacústicos sugieren el efecto de la transgresión post-glacial. Sin embargo, la parte proximal de esta zona interna corresponde a una nueva categoría: *explanada de represamiento ondulada*.

Sobre esta base de conocimiento, el propósito en esta comunicación es relacionar los resultados obtenidos en el Estrecho de Magallanes, Bahía Inútil y Bahía Nassau, intentando mostrar un esquema morfogenético regional más coherente, que incluya tipos y categorías de fiordos y piedmont submarinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de los resultados obtenidos por CALDENIUS (1932), PRIETO & WINSLOW (1992), CLAPPERTON et al. (1995), MCCULLOCH & BENTLEY (1998) y ARAYA-VERGARA (1978, 2000 y 2001) se comparó el emplazamiento de los arcos morrénicos costeros descritos para los últimos máximos de la Última Glaciación con la zonación observada en los perfiles submarinos longitudinales del Estrecho de Magallanes y de los lóbulos de piedmont. Como referencias geodinámicas, se usó tres rasgos derivados de la interpretación paleogeográfica (Figs. 1 y 4): la posición de la paleodivisoria pleistocénica de hielos (CALDENIUS 1932; ARAYA-VERGARA 2000 y 2001), su ubicación en el Estrecho de Magallanes y el emplazamiento de la Paleocordillera de Cabo de Hornos (ARAYA-VERGARA 1978).

La caracterización de los fiordos pudo realizarse gracias a la comparación de los fiordos de Magallanes, que están fuera del lineamiento del Estrecho, con los de Patagonia Central, descritos en ARAYA-VERGARA (1999a). Se llegó así a una tipificación basada en la profundidad y en la ausencia o presencia de bancos morrénicos y explanadas de represamiento, caracteres que pueden deducirse de los perfiles analizados en ARAYA-VERGARA (2001). De esta manera, se denomina aquí fiordos *tipo Patagonia Central* a aquellos cuyo fondo se caracteriza por contener cubetas con *bancos morrénicos* y *explanadas de represamiento*, formados por descargas de till desde un glaciar flotante los primeros y por operación de outwash submarino las segundas. Su profundidad es considerable. Estos fiordos están frente al Campo de Hielo Patagónico Sur. En cambio, los fiordos *tipo Magallanes* se caracterizan por la escasez de formas

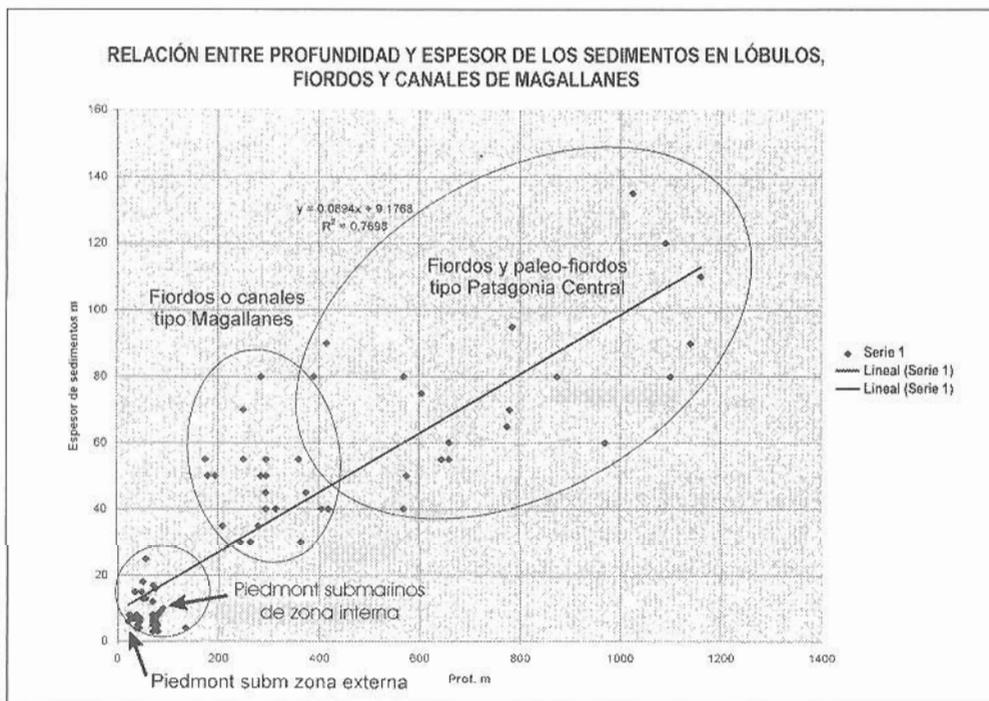


Fig. 3. Bottom depth vs. sediment thickness in submarine piedmonts, fjords and paleofjords of Magallanes.

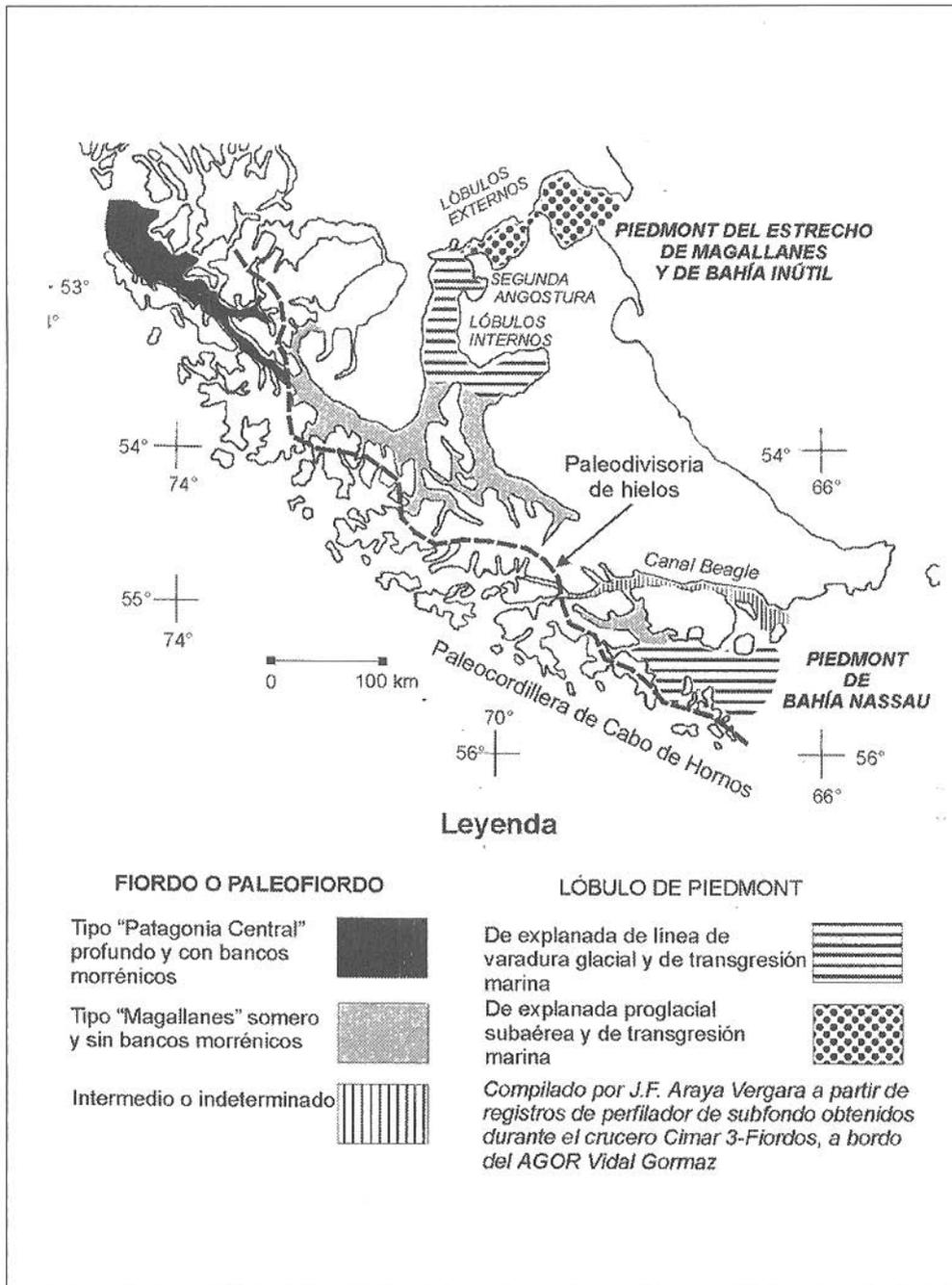


Fig. 4. Distribución de los tipos de fiordo y de piedmont.

Fig. 4. Distribution of fjord and piedmont types.

deposicionales en el fondo, especialmente notoria por la casi ausencia de bancos morrénicos y escaso desarrollo de explanadas de represamiento. Su profundidad es modesta.

Para la clasificación de los piedmonts submarinos, se usa los mismos términos deducidos ya por ARAYA-VERGARA (2000). De acuerdo con éstos, la referencia esencial de la zonación es el emplazamiento de las morrenas de Segunda Angostura del Estrecho de Magallanes y el campo ocupado por los lóbulos glaciales de la Última Glaciación en esta fase (CALDENIUS 1932; PRIETO & WINSLOW 1992; CLAPPERTON *et al.* 1995; ARAYA-VERGARA 1978, 2000 y 2001). Los fundamentos esenciales que permiten definir las zonas externa e interna son: la observación de rasgos de un piedmont subaéreo existente durante la fase de Segunda Angostura (Última Glaciación) en la zona externa (PRIETO & WINSLOW 1992), la aplicación del modelo glacio-isostático de CLARK & BLOOM (1979) y la observación de cambios del nivel del mar en el Holoceno contrastados con este mismo modelo (PORTER *et al.* 1984). La asociación del fondo del piedmont de Bahía Nassau a la zona interna del Estrecho y Bahía Inútil se apoya esencialmente en los caracteres morfoacústicos de los perfiles y en la posición relativa del sistema morrénico de Navarino, comparado con Segunda Angostura y Bahía Inútil (ARAYA-VERGARA 1978, 2000 y 2001).

De esta manera, se pudo compilar un mapa en que se tipifica los fiordos y se clasifica los piedmonts (Fig. 4). Esta representación se refiere exclusivamente a aquellas formas cubiertas por el AGOR Vidal Gormaz (Crucero Cimar 3 - Fiordos), desde el cual se obtuvo perfiles acústicos longitudinales de fondo y subfondo, ya relatados por ARAYA-VERGARA (1999b, 2000 y 2001).

Aunque la teoría general acumulada sobre estos temas está en las referencias de los trabajos citados, hay que destacar que las denominaciones propuestas en la Fig. 4 se basan

en la contrastación de lo observado con los modelos para sedimentación glaciomarina en la Antártica (YOON *et al.*, 1997), de secuencias sedimentarias de SYVITSKI (1994), de superposición reológica del hielo de HICOCK & FULLER (1995), alternativo de Lagerlund para la glaciación sobre un paisaje submarino (ERLINGSON 1990) y de flujo glacial entre ambientes terrestre y marino (ANDERSON 1993).

RESULTADOS

Las formas esenciales reconocidas en esta comparación y análisis son: canal con características de fiordo *tipo Patagonia Central*, fiordo *tipo Magallanes*, canal con características de fiordo *tipo Magallanes*, *lóbulo de piedmont de zona interna* y *lóbulo de piedmont de zona externa* (Fig. 4).

Relación general entre el desarrollo de las formas y la profundidad

La elevación de los bancos morrénicos - que caracterizan a los fiordos tipo Patagonia Central en toda la Patagonia - tiende a ser directamente proporcional a la profundidad de su base acústicamente visible en el subfondo (Fig. 2). Pero la varianza explicada alcanza sólo el 40 %, porque sólo los bancos menos elevados se correlacionan fuertemente con las correspondiente profundidades de sus bases. En cambio, los bancos más elevados se alejan mucho de los valores indicados por la recta de regresión. Aún así, es claro que estos bancos tienen generalmente su base en las mayores profundidades. Esto parece indicar que los mayores espesores de sedimentos que caracterizan al tipo Patagonia Central están relacionados con el destacado desarrollo de bancos morrénicos en este grupo.

Conjuntamente, la correlación entre potencia acústicamente visible de los sedimentos y profundidad de las cubetas en la región indica tres grupos de formas (Fig. 3): a) los fiordos o paleo-fiordos tipo Patagonia Central, que alcanzan las mayores profundidades y potencias acústicamente visibles de sedimentos; b) los fiordos y canales tipo

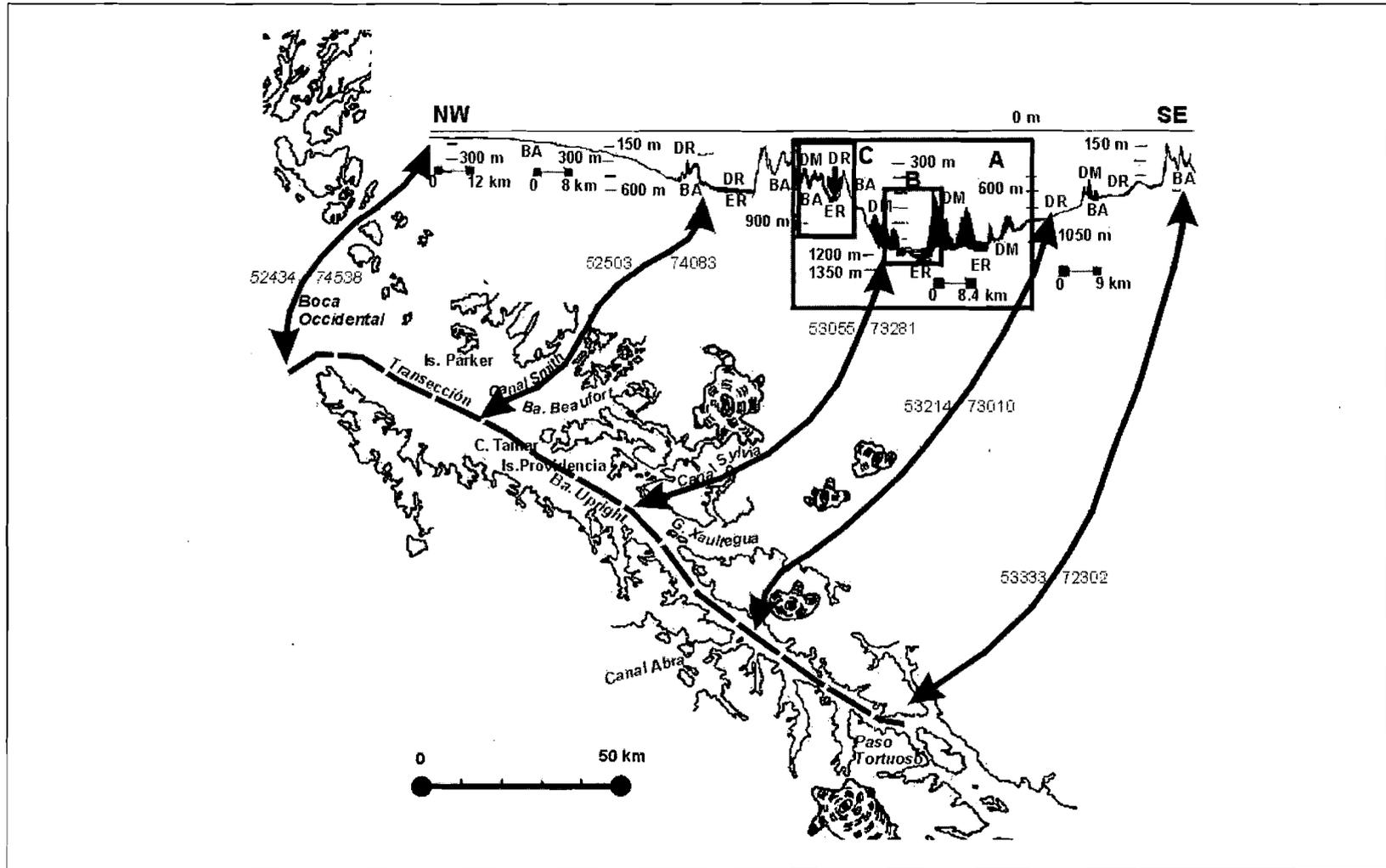


Fig. 5. Perfil de la sección occidental del Estrecho de Magallanes: BA = basamento; BM = diamictón masivo; ER = explanada de represamiento. A = registro de Fig. 6; B = registro de Fig. 7; C = registro de Fig. 8.

Fig. 5. Profile of the western section of the Magellan Strait: BA = basement; BM = massive diamicton; ER = ponding esplanade. A = record of Fig. 6; B = record of Fig. 7; C = record of Fig. 8.

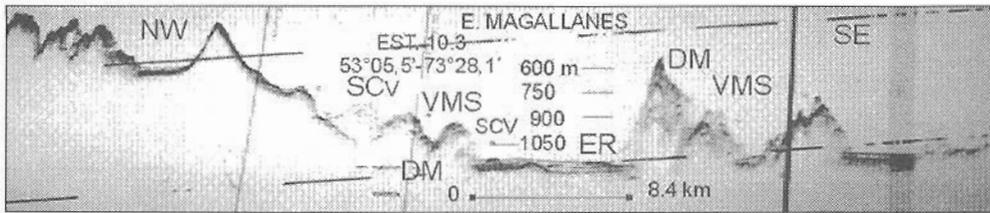


Fig. 6. Rasgos acústicos en recuadro A (Fig. 5), vistos al 33 % de la exageración original de la escala vertical: DM = diamictón masivo (banco morrénico); ER = explanada de represamiento; VMS = vertiente multiseccional; SCv = secuencia convexa.

Fig. 6. Acoustic features in inset A (Fig. 5) at 33 % of the original distortion of the vertical scale: DM = massive diamicton (morainal bank); ER = ponding esplanade; VMS = multi-sequential slope; SCv = convex sequence.

Magallanes, con profundidades y potencias medias, y c) los lóbulos de piedmont submarino, con las profundidades y potencias de sedimentos menores. Para estos últimos, la estimación de la potencia de la acumulación fue hecha considerando la prolongación de los ecos fuertes y prolongados superficiales. En este caso, no se estimó el espesor de los materiales transparentes infrayacentes, debido a la ausencia de reflectores nítidos de referencia en la base, lo que en algunos casos puede inducir a estimar potencias del depósito inferiores a la realidad. Para el grupo de los lóbulos de piedmont se reconoce dos categorías: de zona interna, con mayores profundidades; y de zona externa, poco profundo (Fig. 4).

Fiordos tipo Patagonia Central

Se considera que la sección occidental del Estrecho de Magallanes tiene rasgos de fiordo (Fig. 5), porque contiene submarinamente los elementos de los fiordos de Patagonia Central (Figs. 6, 7 y 8). Su mejor indicador es la concentración de bancos morrénicos y explanadas de represamiento de outwash en las cubetas más profundas (ARAYA-VERGARA, 1999a). El fiordo confluyente al Estrecho de Magallanes, llamado Golfo Xaultegua (Fig. 1), proveniente de la paleodivisoria de hielos, se presenta como abastecedor de una parte de los materiales de los bancos morrénicos y explanada de

outwash en el complejo Upright-Xaultegua, ya descrito en ARAYA-VERGARA (2001). A él pertenecen los rasgos que muestran la Figs. 6, 7 y 8, a juzgar por su emplazamiento en la zona de la boca del fiordo y su confluencia con el Estrecho de Magallanes. En forma estricta, el tipo *Patagonia Central* debe restringirse a la parte más profunda de la sección occidental del Estrecho, como se muestra en los perfiles analizados por ARAYA-VERGARA (2001). El resto, especialmente la parte proximal, debiera clasificarse como sección de fiordo tipo *Magallanes*. Así se verá en seguida.

Fiordos tipo Magallanes

Este tipo está bien representado por los fiordos Almirantazgo y Ponsonby (Figs. 1 y 9 a 12). Su perfil longitudinal de fondo puede ser accidentado o relativamente parejo, indicando umbrales que separan pequeñas cubetas poco profundas, carentes de formas glaciogénicas deposicionales discernibles o escasez de ellas. Estos fiordos están ubicados invariablemente en las proximidades de la paleodivisoria de hielos. Debido a la morfoestructura de las rocas del basamento, su fondo es muy diferente: con formas más bien planiformes en Fiordo Almirantazgo y considerable macrorugosidad en el Ponsonby. Éste es el único al que se le reconocen bancos morrénicos a los que se les asocia pequeñas explanadas de represamiento, ambas for-

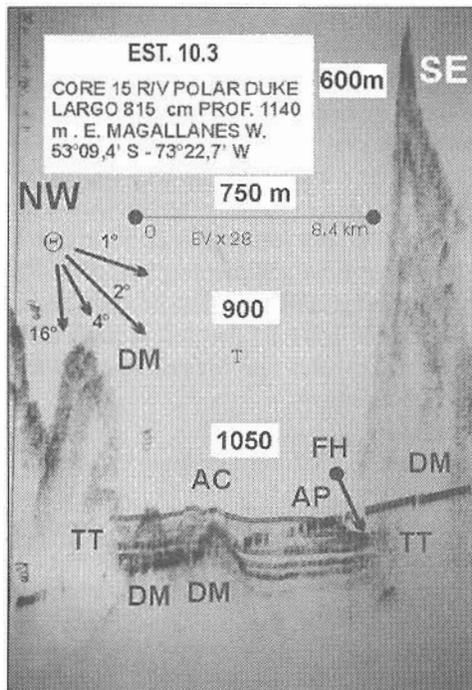


Fig. 7. Rasgos acústicos en recuadro B (Fig. 5), Golfo Xaultegua: DM = diamicton masivo (banco morrénico); rasgos asociados a explanada de represamiento: TT = till-tongue; AC = abombamiento central de ritmitas; AP = abombamiento proximal de ritmitas; FH = flexura de hundimiento en plunge pool, forzando deformaciones AC y AP.

Fig. 7. Acoustic features in inset B (Fig. 5), Golfo Xaultegua: DM = massive diamicton (morainal bank); features associated to ponding esplanade: TT = till tongue; AC = central bending of rhythmites; AP = proximal bending of rhythmites; FH = sinking flexure in plunge-pool, forcing deformations AC and AP.

mas ubicadas en su parte distal y más profunda. La significación de estos rasgos está siendo estudiada, por su relación regional con morrenas costeras sub-aéreas ya descritas por ARAYA-VERGARA (1978).

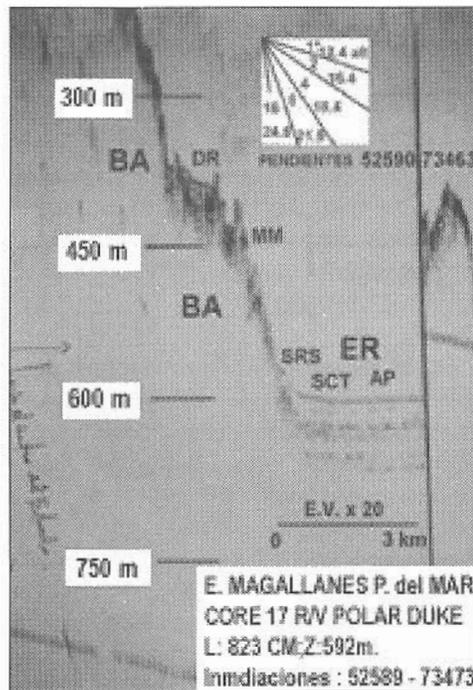


Fig. 8. Rasgos acústicos en recuadro C (Fig. 5), inmediaciones de Golfo Xaultegua: BA = basamento; ER = explanada de represamiento; MM = movimiento en masa; DR = manto sedimentario sobre vertiente en umbral rocoso; SRS = sedimento remodelado por deslizamiento; AP = abombamiento proximal; SCT = punta de compresión por deslizamiento.

Fig. 8. Acoustic features in inset C (Fig. 5), environs of Golfo Xaultegua: BA = basement; ER = ponding esplanade; MM = mass movement; DR = sedimentary drape on rocky sill slope; SRS = slide remolded sediment; AP = proximal bending; SCT = slide compression toe.

Canal con características de fiordo tipo Magallanes

Estos rasgos se hallan presentes en la parte proximal de la sección occidental del Estrecho de Magallanes. Se estima que la sección

central de éste también tiene rasgos de fiordo (Fig. 4), porque contiene elementos de los fiordos tipo Magallanes (ARAYA-VERGARA, 1999b). La parte próxima a Paso Ancho (Figs. 1 y 4) presenta estos elementos en su sector sur, ubicado en las proximidades de Paso del Hambre. Como en los fiordos tipo Magallanes, estas características se encuentran siempre en las vecindades de la paleodivisoria de hielos.

Lóbulos de piedmont de zona interna

Estos lóbulos pueden ser definidos como formas de *varadura glacial* (*grounding line*) y de *transgresión marina* (Figs. 1, y 13 a 15), por los fundamentos señalados en ARAYA-VERGARA (2000). Según éstos, el hielo debe haber dragado importantemente el fondo en la fase de Segunda Angostura. Esto se deduce debido a la profundidad relativamente baja del fondo lobular, a la falta de bancos morrénicos de descarga, a la ausencia de explanadas de represamiento con rítmicas potentes y a la altura de las morrenas margi-

nales de Segunda Angostura (que revela un espesor del hielo considerable). Los ecogramas contienen un eco fuerte y preciso inferior interpretado como superficie de varadura glacial y ecos suprayacentes correspondientes a una cobertura. Ésta consiste en una secuencia, cuya parte inferior parece debida a diseminación de *till*, en tanto que la superior refleja sedimentos estratificados, interpretados como depósito de transgresión marina. Se trata de formas vecinas a los fiordos y canales tipo Magallanes en dirección al Atlántico.

Lóbulos de piedmont de zona externa

Estas formas son externas con respecto al emplazamiento de Segunda Angostura en el Estrecho. Pueden definirse como lóbulos de *explanada proglacial subaérea* y de *transgresión marina* (Figs. 1, 16 y 17), debido a los hechos mostrados por ARAYA-VERGARA (2000). En resumen, éstos muestran que esta parte del piedmont era un llano proglacial sub-aéreo durante la fase de Se-

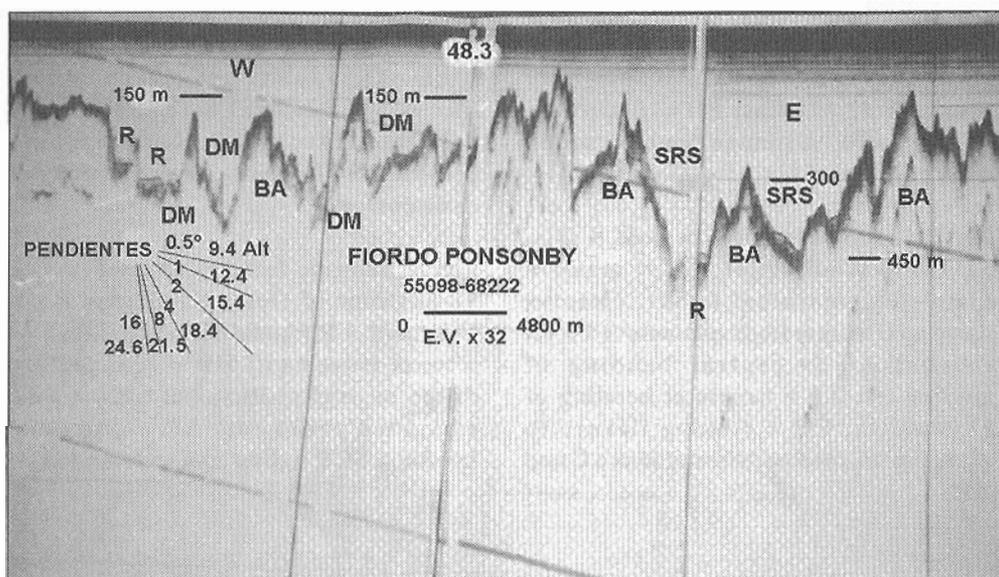


Fig. 9. Rasgos acústicos en Fiordo Ponsonby (Figs. 1 y 4): BA = basamento; DM = diamicton masivo; SRS = sedimento remodelado por deslizamiento; R = represamiento de sedimentos en cubeta.

Fig. 9. Acoustic features in Ponsonby Fjord (Figs. 1 and 4): BA = basement; DM = massive diamicton; SRS = slide remolded sediment; R = sediment ponding in trough.

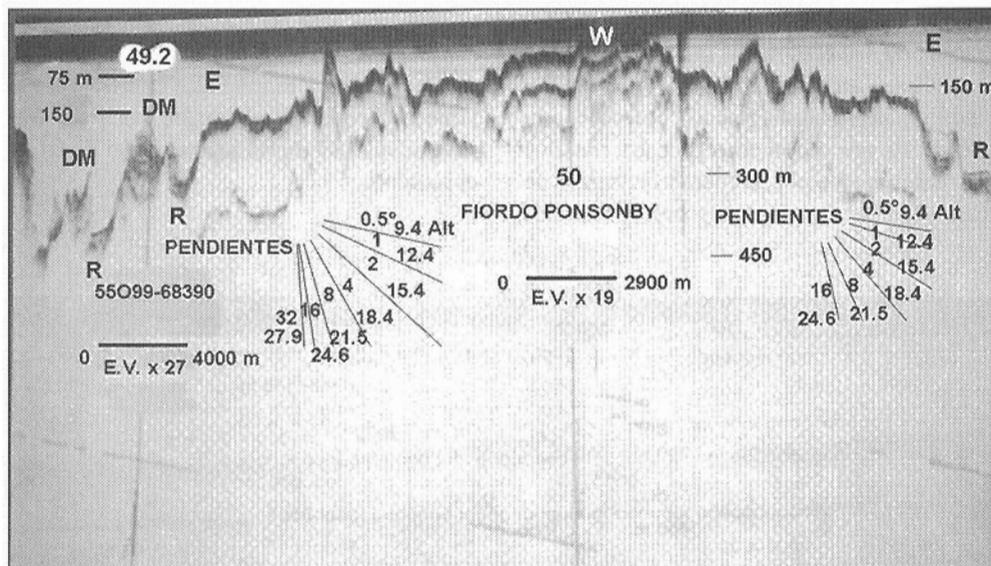


Fig. 10. Rasgos acústicos en fiordo Ponsonby: DM = diamicton masivo (banco morrénico); R = represamiento de sedimentos en cubeta.

Fig. 10. Acoustic features in Ponsonby Fjord: DM = massive diamicton (morainic bank); R = ponding of sediments in trough.

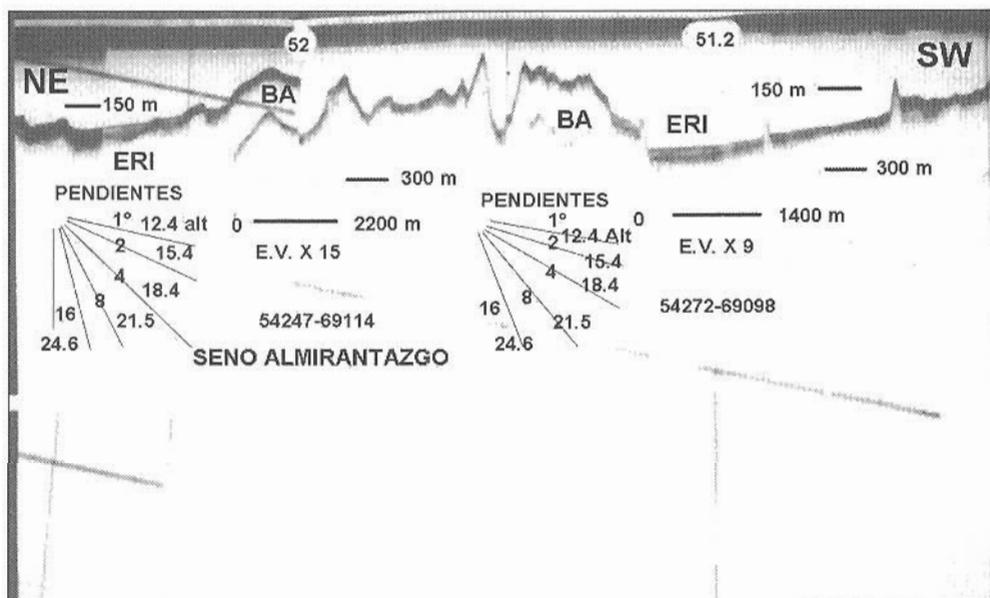


Fig. 11. Rasgos acústicos en Fiordo Almirantazgo (Figs. 1 and 4): BA = basamento; ERI = explanada de represamiento indeterminada.

Fig. 11. Acoustic features in Almirantazgo Fjord (Figs. 1 and 4): BA = basement; ERI = indeterminate ponding esplanade.

gunda Angostura en la Última Glaciación. En lo esencial, los ecogramas indican bajas profundidades (mucho menores que en los piedmont de varadura glacial), con subfondo compuesto por sedimentos gruesos, tratados importantemente por las fuertes corrientes de marea que producen dunas hidráulicas. Es

posible que, debido a estos fenómenos, los ecogramas no entreguen rasgos que expresen la cobertura marina que debiera corresponder a la operación transgresiva. Estas formas ocupan siempre una posición distal en el sistema.

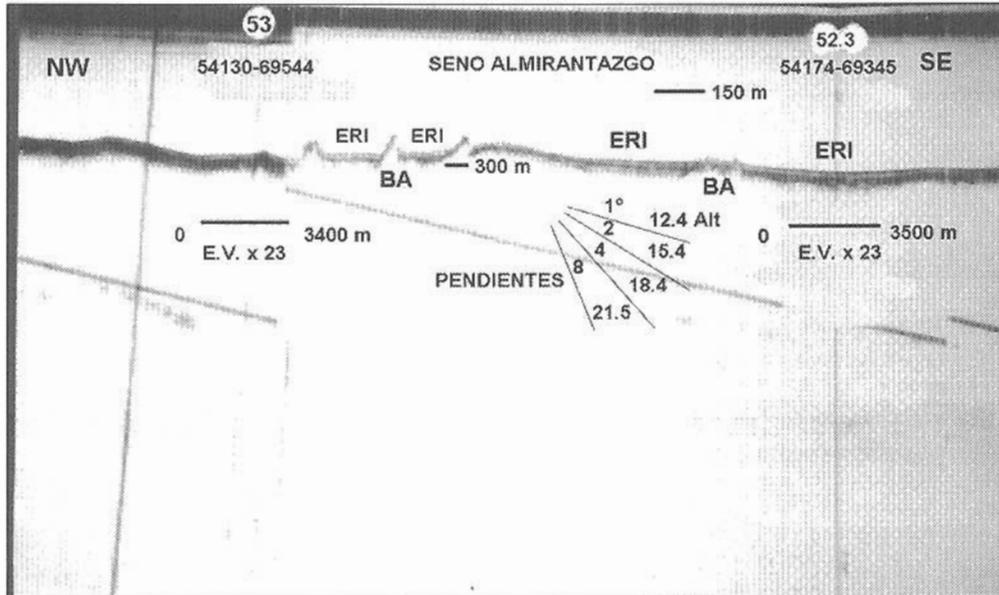


Fig. 12. Rasgos acústicos en Fiordo Almirantazgo (Figs. 1 and 4): BA = basamento; ERI = explanada de represamiento indeterminada.

Fig. 12. Acoustic features in Almirantazgo Fjord (Figs. 1 and 4): BA = basement; ERI = indeterminate plying esplanade

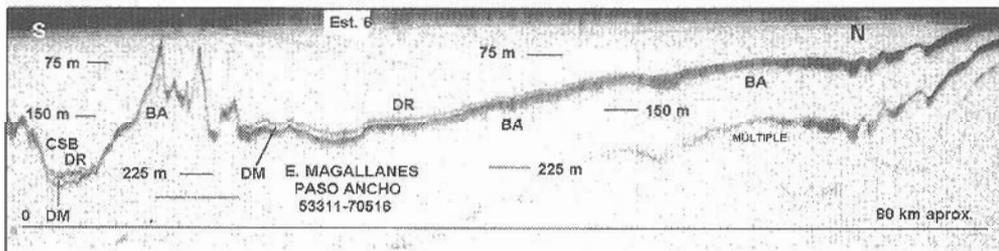


Fig. 13. Rasgos acústicos de piedmont submarino de zona interna (Figs. 1 y 4): BA = basamento; DM = diamicton masivo; DR = manto de sedimentos superficiales; CSB = bloque de deslizamiento compacto.

Fig. 13. Acoustic features of submarine piedmont in internal zone (Figs. 1 and 2): BA = basement; DM = massive diamicton; DR = drape; CSB = compact slide block.

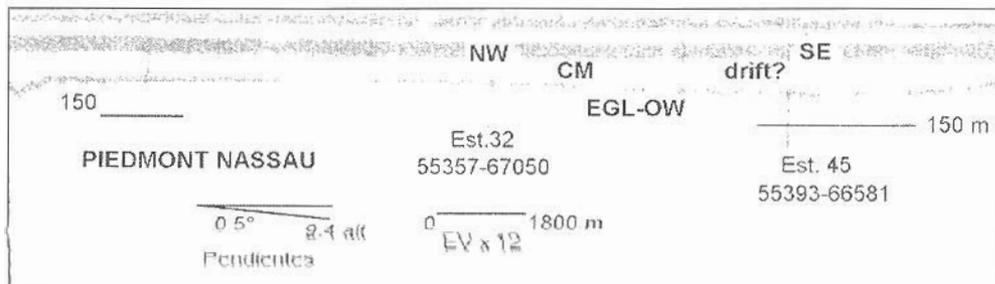


Fig. 14. Rasgos acústicos de piedmont submarino de zona interna (Fig. 1 y 4): EGL-OW = explanada de varadura glacial, out-wash y transgresión marina; drift? = posibles depósitos de deriva glacial producidos por desprendimiento y descarga; CM = probable cobertura marina de transgresión.

Fig. 14. Acoustic features of submarine piedmont in internal zone (Figs. 1 and 4): EGL-OW = grounding line esplanade, out-wash and marine transgression; drift? = possible glacial drift deposits, produced by calving and dumping; CM = probable transgressional marine cover.

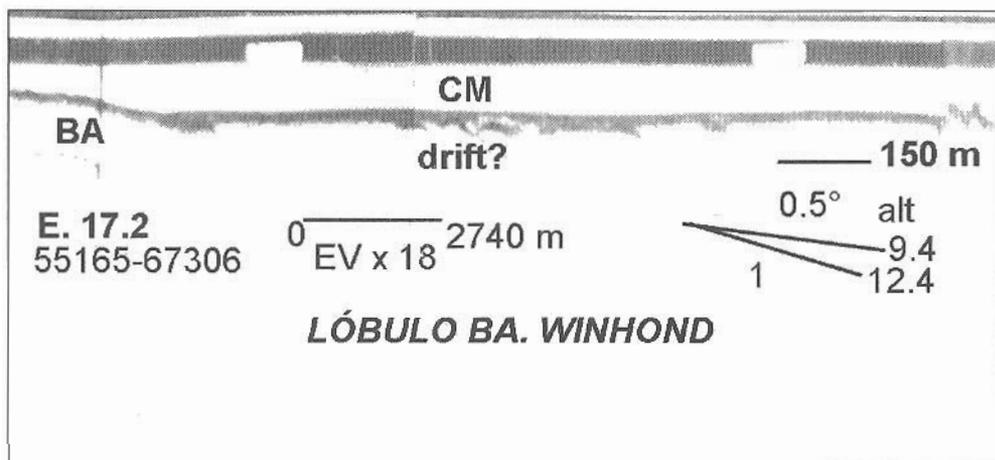


Fig. 15. Rasgos acústicos de piedmont submarino de zona interna (Figs. 1 y 4): BA = basamento; drift? = posibles depósitos de deriva glacial tectonizados; CM = probable cobertura marina transgresional.

Fig. 15. Acoustic features of submarine piedmont in internal zone (Figs. 1 and 4): BA = basement; drift? = possible deposits of glacial drift, tectonically deformed; CM = probable transgressional marine cover.

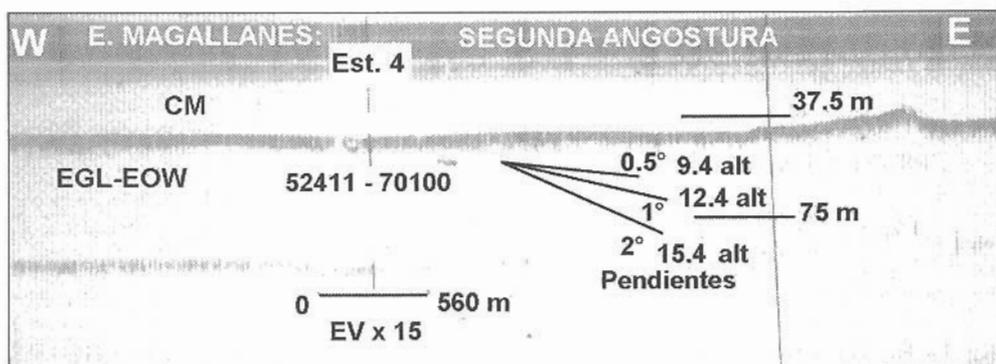


Fig. 16. Rasgos acústicos de piedmont submarino de zona externa (Figs. 1 y 4): EGL-EOW = explanada proglacial y de out-wash; CM = probable cobertura marina transgresional.

Fig. 16. Acoustic features of submarine piedmont in external zone (Figs. 1 and 4): EPG-EOW = proglacial and out-wash esplanade; CM = possible transgressive marine cover.

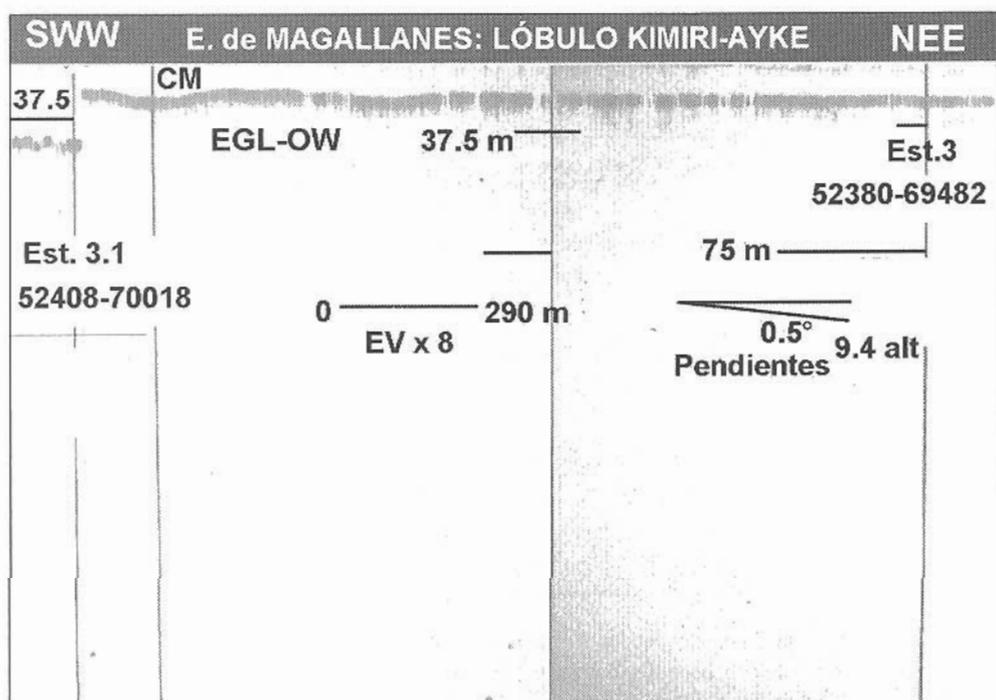


Fig. 17. Rasgos acústicos de piedmont submarino de zona externa (Figs. 1 y 4): EGL-EOW = explanada proglacial y de out-wash; CM = probable cobertura marina transgresional.

Fig. 17. Acoustic features of submarine piedmont in external zone (Figs. 1 y 4): EPG-EOW = proglacial and out-wash esplanade; CM = possible transgressive marine cover.

DISCUSIÓN

Emplazamiento y fundamento genético de los fiordos tipo Patagonia Central

La discusión sobre el efecto de hielo flotante (ARAYA-VERGARA, 1999a y 2001), permite ampliar la gama de elementos que debe tenerse en cuenta para la interpretación de los sedimentos laminados presentada por Ó COFAIGH & DOWDESWELL (2001). En ésta se parte de la observación de sedimentación en ambiente glaciomarino de contacto con hielo (*ice-contact*), alimentada por un glaciar afectado por mareas (*tidewater*). Según este modelo, la descarga de *till* al fondo sólo se explica a partir de *icebergs* que lo han balseado después del desprendimiento (*calving*). Pero esto no puede producir la concentración importante de *till* en un solo lugar. La integración de otros elementos que permitan interpretar casos distintos, consiste en considerar al hielo estacionario operando como *ice-shelf* (flotante) en grandes profundidades. La descarga concentrada de *till* desde *icebergs* sólo se explica si el viento dominante mantiene los témpanos junto al terminal glacial, lo que puede haber sido probable en el Estrecho de Magallanes por el posible predominio del viento oeste durante la Última Glaciación. Otro mecanismo aglomerador de témpanos puede haber sido la operación de *sikussuak*, fenómeno en que el hielo marino atrapa los témpanos de agua dulce, impidiendo el balseo de *till* mediante ellos (SYVITSKI 1994; DOWDESWELL *et al.* 2000).

Lo anterior se apoya en el hallazgo de una fase morfogenética glacial en la parte occidental del Estrecho de Magallanes (Upright-Xaultegua, ARAYA-VERGARA, 2001). Ella está espaldada parcialmente por dataciones de radiocarbono a partir de los primeros 10 m de espesor de las ritmitas de la explanada asociada a los bancos morrénicos de Upright-Xaultegua; documenta por primera vez un estacionamiento del hielo en la vertiente del Pacífico. Es necesario encontrar su correlación con alguna de las fases conocidas en la vertiente oriental de esta parte de los Andes

y la sección oriental del Estrecho. De acuerdo con resultados de un crucero del R/V Polar Duke (LEVENTER *et al.* 1995), las ritmitas de las inmediaciones de los bancos morrénicos descritos por ARAYA-VERGARA (2001) tienen entre 12 y 13 ka a 8 y 9 m de subfondo, por lo que se asume que los bancos morrénicos tienen por lo menos ese tipo de edades. Los hallazgos recientes de KILIAN *et al.* (2003a) para la parte proximal de Seno Skyring y fiordal media indican también este rango de edades, teniendo en cuenta que los emplazamientos de Upright-Xaultegua y fiordal medio de Seno Skyring son homólogos con respecto a la calota remanente Gran Campo Nevado en la paleo-divisoria de hielos. A partir de ésta, la operación glacial parece haber sido simultánea en las vertientes occidental y oriental.

A juzgar por el tamaño de los bancos morrénicos, sólo un estacionamiento glacial largo debe haber permitido la descarga de tan abundantes cantidades de *till* en Upright-Xaultegua y en la zona fiordal de la cuenca de Skyring. El análisis morfoacústico detallado de los perfiles descritos en ARAYA-VERGARA (2001) revela intervención de movimientos en masa en las vertientes de las los bancos morrénicos (Figs. 7 y 8), deformando estructuras laminadas del fondo con *plunge pools* submarinos (*bolsones de precipitación*), hecho que debe agregarse a la ampliación de la gama de elementos de interpretación estudiada por Ó COFAIGH & DOWDESWELL (2001). En este sentido, el modelo de sedimentación paraglacial presentado por BALLANTYNE (2002), en que las ritmitas de fondo de cubeta aparecen atribuidas sólo a deposición de sedimentos de plumas turbias y a depósitos paraglaciales hemipelágicos y de turbiditas, es válido sólo para fiordos sin bancos morrénicos. En ARAYA-VERGARA (1999a y 2001) se ha demostrado que las ritmitas pueden ser suministradas importantemente desde éstos, fundamentando mejor un nuevo modelo para morrenas submarinas polifásicas, deducido a partir de experiencias en Norpatagonia (ARAYA-VERGARA 1998).

Emplazamiento y fundamento genético de los fiordos tipo Magallanes

El emplazamiento de estos fiordos con respecto a la paleo-divisoria de hielos no es fundamentalmente diferente al de los tipo Patagonia Central. Más aún, la proximidad de los fiordos afluentes del Almirantazgo (Fig. 1) a las abundantes calotas de hielo remanentes asociadas a esa parte de la paleo-divisoria (Cordillera Darwin), indica una relación de vecindad similar a la de Gran Campo Nevado-Upright Xaultegua-Skyring. Pero las mayores profundidades del fiordo Almirantazgo no alcanzan más que unos 250 m; en general ellas son de unos 150. Excepcionalmente, dentro de este tipo, el fiordo Ponsonby muestra bancos morrénicos en posición distal, pero aquí las profundidades alcanzan a 400 m o más (Figs. 9 y 10).

Aspectos regionales de la distribución

Si se toma en cuenta el emplazamiento espacial de los fiordos (Fig. 4) y su profundidad (relatada en ARAYA-VERGARA, 2001; Fig. 2), se deduce que el tipo de fondo de fiordo es una función de la distancia a la paleodivisoria de hielos y de la profundidad preexistente. Esto quiere decir que la morfogénesis debe haber operado con importante dragado glacial en profundidades bajas proximales a la divisoria y mediante descarga de till en profundidades mayores y posiciones distales, debido a la existencia de hielo flotante.

Así, los fiordos tipo Patagonia Central y los tipo Magallanes obedecen a los modelos expuestos por ARAYA-VERGARA (2001 y este trabajo) para los primeros y por BALLANTYNE (2002) para los segundos. Éstos se refieren a la interacción descarga-banco morrénico-explanada de represamiento y a la operación dragado glacial-plumas turbias-turbiditas respectivamente.

Aspectos de geomorfología y alostratigrafía comparadas de fiordos a nivel inter-regional o inter-continental

El tipo Patagonia Central, con bancos morrénicos de descarga desde hielo flotante, sólo ha sido encontrado en Patagonia, indicándose que los únicos rasgos similares a los hallados por ARAYA-VERGARA (ver distintas referencias) son los mostrados por KILIAN *et al.* (2003a). No se conoce descripciones de bancos morrénicos asociados a este tipo para el Hemisferio Norte y la Antártida. Sin embargo, un rasgo fundamental para describir estas formas fue encontrado previamente en las costas del Labrador por KING & FADER (1986) y JOSEPHANS & FADER (1989): la *till tongue* o lengua de *till*, elemento presente y repetidamente descrito para los bancos morrénicos patagónicos e incluido en un modelo (ARAYA-VERGARA 1998). Mientras éste se aplica a ambientes con hielo flotante, los esquemas disponibles para el Hemisferio Norte se refieren a fondos fiordales en contacto con hielo o *ice-contact*, con bancos morrénicos de empuje o de descarga por hielo dragante. De esta experiencia derivan los contextos alostratigráficos publicados (LØNNE 1995; HAMBREY & Mc KELVEY 2000; POWELL & MOLNIA 1989; SYVITSKI 1989). También los hay que muestran desarrollo de explanadas de ritmitas dentro de cubetas separadas por umbrales, como indican, por ejemplo, observaciones recientes en el Loch Etive de Escocia Occidental (HOWE *et al.*, 2002). Para hielo flotante de *ice shelf* distal, las observaciones de LIU & POWELL (1996) enseñan sobre los mecanismos de descarga de *till* en fiordos antárticos, y se pueden asumir parecidos a los deducidos para el tipo Patagonia Central.

Consideraciones zonales

Las propiedades de fiordo encontradas en Magallanes pueden servir para enriquecer la discusión sobre las categorías zonales que han estado encontrado diversos autores (CAI *et al.*, 1997; GILBERT, 2000; HOWE *et al.*, 2002), puesto que la ausencia o presencia de rasgos del fondo puede depender también de factores azonales. La presencia de fiordos tipo Magallanes y de fiordos tipo Patagonia Cen-

tral en la región induce a revisar los fundamentos que sustentan la distinción entre fiordos de latitudes altas y fiordos templados. Para clasificar los fiordos de Patagonia Occidental, puede primar una referencia más decisiva que la zonalidad climática actual. Es posible que ella sea el grado de vecindad con campos de hielo o con calotas, en función de la distribución de profundidades en el fiordo. Precisamente, la asociación banco morrénico - explanada de represamiento se presenta en vecindad con campo de hielo en Patagonia Central y con calota remanente en Upright- Xaultegua (Estrecho de Magallanes); siempre coincidiendo con las mayores profundidades. Junto con esto, debe tenerse en cuenta que este último caso es excepcional para Magallanes.

El control climático sobre diferencias de estilos de sedimentación claramente discernibles para una misma región, por ej. la costa antártica (GRIFFITH & ANDERSON 1989), no parece otorgar rasgos claros en el fondo de fiordos, que puedan ser manejados en caracterizaciones zonales. La dificultad consiste en la capacidad de discriminar acerca del grado de influencia que desde la Última Glaciación hasta el presente han tenido las diferentes operaciones glacio-marinas. Ellas deben haber generado *palimpsestos* o paisajes submarinos generados poligenéticamente, si para las interpretaciones se tiene en cuenta la discusión expuesta por BLOOM (2002), acerca de paisajes relictos no-análogos. En otras palabras, debe mejorarse la revisión de criterios para poder interpretar zonalmente los tipos de fiordos reconocidos en este trabajo.

Bases de clasificación de piedmonts submarinos

Con respecto a la región de piedmonts (Figs 1 y 4), la génesis de la zona interna encontrada por ARAYA-VERGARA (2000 y 2001), puede entenderse mejor si se compara sus rasgos con las observaciones de PORTER & SWANSON (1998) para condiciones similares de piedmont en Washington y Columbia Británica. Ellas indican que el retroceso del

lóbulo de hielo fue relativamente rápido, con dos tipos de mecanismo: retroceso sobre línea de varadura (*grounded retreat*) y retroceso con desprendimiento (*calving*). Este tipo de comportamiento es evidenciado en un análisis de WINOGRAD et al. (1997) acerca de los cambios pleistocénicos en paleotemperaturas. El clima glacial se ha presentado en forma pausada, lentamente, con un tipo de equilibrio dinámico. En cambio, su fase final (deglaciación) ha ocurrido rápidamente, en franca ruptura. Los elementos descritos y discutidos por ARAYA-VERGARA (2000 y 2001) en Magallanes admiten este modo de operación.

Del análisis de ARAYA-VERGARA (2000) se desprende que la clasificación de los piedmont magallánicos reposa en el conocimiento de operaciones poligenéticas, generándose por lo menos dos tipos de palimpsestos: con secuencia desde medio subglacial al medio submarino (zona interna) y con secuencia desde medio sub-aéreo a medio submarino (zona externa). La influencia de otras edades glaciales o interglaciales en la génesis de los piedmonts, anteriores a la Última Glaciación se ignora para formas concretamente identificables, pero se asume como factor importante. Una idea de la sucesión de paisajes que pueden darse en condiciones parecidas para un lapso más largo en el Cuaternario se adquiere con los resultados de ZEVENHUIZEN & JOSENHANS (1987, en JOSENHANS & FADER 1989), que muestran claros ejemplos de palimpsestos. Secuencias de este tipo pueden ser probables para Magallanes.

CONCLUSIONES

* Desde la paleodivisoria pleistocénica de hielos de Magallanes (zona proximal) hasta el extremo distal, el sistema está estructurado según la siguiente secuencia espacial: fiordo tipo Magallanes, fiordo tipo Patagonia Central, explanada de piedmont de varadura glacial y de transgresión marina, y explanada de piedmont proglacial y de transgresión marina.

* Si la palodivisoria de hielos es la referencia del sistema, las explanadas de lóbulo de piedmont sólo se hallan en la zona distal de la vertiente oriental-nororiental y están emplazadas en el plateau patagónico. En cambio, los fiordos tipo Patagonia Central están ubicados preferentemente en la vertiente occidental y más escasamente en la oriental. Como los fiordos tipo Magallanes, ellos están emplazados en el dominio andino.

* Para poner los fiordos tipo Patagonia Central en un contexto morfogenético general que explique su existencia en Magallanes, se puede aplicar uno de los tipos de sedimentación glacio-marina distinguidos por POWELL (1984). Éste consiste en el causado por *ice-shelf* distal muy cargado de *till* en su base, al que se asocian icebergs atrapados estacionalmente por hielo marino y que colaboran en la descarga. Este mecanismo explica la asociación banco morrénico de descarga-explanada de represamiento.

* De la discusión genética, se desprende que las secciones central y occidental del Estrecho de Magallanes están formadas por paleofiordos que funcionaron como tales a medida que el hielo retrocedía, pero se mantenía junto a la divisoria. El aspecto de canal debe haber resultado de la unión de fiordos en sus cabeceras cuando el hielo desapareció, al mismo tiempo que la transgresión marina cubría el piedmont.

* Con estos elementos, es posible sustentar una zonación de fiordos y piedmonts, lo que puede ayudar a mejorar su tipificación y clasificación. Sin embargo esto no alcanza a proporcionar bases para un tratamiento zonal en el estricto sentido morfoclimático.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Comité Oceanográfico Nacional, a su Secretario Ejecutivo Comandante Alejandro Cabezas, a su personal de Secretaría y al personal del AGOR Vidal Gormaz el haber puesto a su disposición el material analizado. También se agradece a los evaluadores de los trabajos de Araya -Vergara

(2000 y 2001), por sus útiles anotaciones y sugerencias, ya que estos trabajos son la base esencial de la presente contribución.

REFERENCIAS

ANDERSON, J.B. 1993. Antarctic glacial marine sedimentation. In: Bryan, J.R. (Ed.), Workshop on Antarctic glacial marine and biogenic sedimentation, notes for a short course. Part 1. Glacial marine sedimentation. Sedimentology Research Laboratory, Contribution N° 57, Tallahassee, Florida, pp. 1-88.

ARAYA-VERGARA, J.F. 1978. La función morfogenética de las islas del Cabo de Hornos en el Würm Superior. Inform. geogr. Chile, 25: 21-52.

ARAYA-VERGARA, J.F., 1998. El problema genético de los fondos de fiordo Norpatagónicos. Invest. Mar., Valparaíso, 26: 71-81.

ARAYA-VERGARA, J.F. 1999a . Perfiles longitudinales de fiordos de Patagonia Central. Cienc. Tecnol. Mar., 22: 3-29.

ARAYA-VERGARA, J.F. 1999b. Geomorfología comparada de fiordos y canales australes de Magallanes. En: Comité Oceanográfico Nacional (Ed.), Resultados crucero Cimar-Fiordo 3, Resúmenes Ampliados. CONA, Valparaíso, pp. 13-18.

ARAYA-VERGARA, J.F. 2000. Perfiles submarinos por los piedmonts del Estrecho de Magallanes y Bahía Nassau, Chile Austral. Anales Instituto Patagonia, Serie Cs. Nat. (Chile), 28: 23-40.

ARAYA-VERGARA, J.F. 2001. Formas deposicionales submarinas en el perfil longitudinal del Estrecho de Magallanes, Chile. Cienc. Tecnol. Mar, 24: 7-21.

BALLANTYNE, C.K. 2002. Paraglacial geomorphology. Quatern. Sci. R., 21: 1935-2017.

- BLOOM, A.L., 2002.** Teaching about relict, no-analog landscapes. *Geomorphology*, 47: 303-311.
- CAI, J., R.D. POWELL, E.A. COWAN & P.R. CARLSON. 1997.** Lithofacies and seismic-reflection interpretation of temperate glacimarine sedimentation in Tarr Inlet, Glacier Bay, Alaska. *Mar. Geol.*, 143: 5-37.
- CALDENIUS, C. 1932.** Las glaciaciones cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego. *Geogr. Annaler*, 14: 1-64.
- CLAPPERTON, CH.M., D.E. SUGDEN, D.S. KAUFMAN & R.D. MC CULLOCH. 1995.** The Last Glaciation in Central Magellan Strait, Southernmost Chile. *Quatern. Res.*, 44: 133-148.
- CLARK, J.K. & A.L. BLOOM, 1979.** The effect of the Patagonian ice sheet on the relative sea levels along the Atlantic coast of South America: A numerical calculation. In: Suguio, K., T.R. Fairchild, L. Martin & J.M. Flexor (Eds.), 1978. *International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*, proceedings. UNESCO, IUGS, IGCP, Sao Paulo, pp. 61-76.
- DOWDESWELL, J.A., R.J. WHITTINGTON, A.E. JENNINGS, J.T. ANDREWS, A. MACKENSEN & P. MARIENFELD, 2000.** An origin of laminated glacimarine sediments through sea-ice build-up and suppressed iceberg rafting. *Sedimentology*, 47: 557-576.
- ERLINGSON, U. 1990.** Geomorphological development of the bottoms off Österlen, southernmost Sweden, *Ungi Rapport Nr 76*, Uppsala University, Department of Physical Geography, Uppsala, 136 pp.
- GILBERT, R. 2000.** Environmental assesment from the sedimentary record of high-latitude fiords. *Geomorphology*, 32: 295-314.
- GRIFFITH, T.W & J.B. ANDERSON, 1989.** Climatic control of sedimentation in bays and fjords of the northern Antarctic Peninsula. *Mar. Geol.*, 85: 181-204.
- HAMBREY, M.J. & B. McKELVEY, 2000.** Neogene fjordal sedimentation on the western margin of the Lambert Graben, East Antarctica. *Sedimentology*, 47: 577-607.
- HICOCK, S.R. & E.A. FULLER. 1995.** Lobal interactions, rheologic superposition, and implications for a Pleistocene ice stream on the continental shelf of British Columbia. *Geomorphology*, 14: 167-184.
- HOWE, J.A., T. SHIMMIELD, W.E.N. AUSTIN & O. LONGVA. 2002.** Post-glacial depositional environments in a mid-high latitude glacially overdeepened sea loch, inner Loch Etive, western Scotland. *Mar. Geol.*, 185: 417-433.
- JOSENHANS, H.W. & G.B.J. FADER, 1989.** A comparison of model of glacial sedimentation along the eastern Canadian margin. *Mar. Geol.*, 85: 273-300.
- KILIAN, R., M. FESQ-MARTIN, C. SCHNEIDER, H. BIESTER, G. CASSASA, M. ARÉVALO, G. WENDT & J. BEHRMANN, 2003 a.** Late glacial retreat in the southernmost Andes: sedimentological and palynological implications. 10° Congreso Geológico Chileno - Universidad de Concepción, Dep. de Ciencias de la Tierra, Concepción, CD sin n° de pág.
- KILIAN, R., H. HOHNER, H. BIESTER, C. WALLRABE-ADAMS & Ch. STERN, 2003b.** Holocene peat and lake sediment tephra record from the southernmost Andes (53-55° S). *R. Geol. de Chile*, 30: 47-64.
- KING, L.H. & G.B.J. FADER, 1986.** Wisconsinian Glaciation of the Atlantic Continental Shelf of southeast Canada. *Geol. Surv. Can. Bull.*, 363: 72 pp.
- LEE, S.E., P.J. TALLING, G.G.J. ERNST & A.J. HOGG. 2002.** Occurrence and origin of submarine plunge pools at the base of the

- US continental slope. *Mar. Geol.*, 185: 363-277.
- LEVENTER, A. S. AAVANG & J. STRAVERS, 1995.** Holocene sedimentation rates on the southern Chilean continental margin. *Antarctic J. of the United States*, 30(5): 13-16.
- LIU, J. & R.D. POWELL, 1996.** Relation of ice face melting structures to oceanic characters using remotely operated vehicle observations, Mackay Glacier Tongue, Granite Harbor. *Antarctic J. of the United States*. 31(2): 72-74.
- LØNNE, I., 1995.** Sedimentary facies and depositional architecture of ice-contact glacial systems. *Sedim. Geol.*, 98: 13-43.
- MCCULLOCH, R.D. & M.J. BENTLEY, 1998.** Late Glacial ice advances in the Strait of Magellan, southern Chile. *Quat. Sci. R.*, 17: 775-787.
- Ó COFAIGH, C. & J.A. DOWDESWELL, 2001.** Laminated sediments in glacial marine environments: diagnostic criteria for their interpretation. *Quatern. Sci. R.*, 20: 1411-1436.
- PORTER, S.C., M. STUIVER & C.J. HEUSSER, 1984.** Holocene sea-level changes along the Strait of Magellan and Beagle Channel, Southernmost South America. *Quat. Res.*, 22: 59-67.
- PORTER, S.C. & T.W. SWANSON, 1998.** Radiocarbon age constraints on rates of advance and retreat of the Puget Lobe of the Cordilleran Ice Sheet during the Last Glaciation. *Quatern. Res.*, 50: 205-213.
- POWELL, R.D., 1984.** Glacial marine processes and inductive lithofacies modelling of ice-shelf and tide-water glacier sediments based on Quaternary examples. *Mar. Geol.*, 57: 113-147.
- POWELL, R.D. & B.F. MOLNIA, 1989.** Glacial marine sedimentary processes, facies and morphology of the south-southeast Alaska shelf and fjords. *Mar. Geol.*, 85: 359-390.
- PRIETO, X. & M. WINSLOW, 1992.** El Cuaternario del Estrecho de Magallanes I: sector Punta Arenas-Primera Angostura. *Anales Instituto Patagonia, Serie Cs. Nat. (Chile)*, 21:85-95.
- SYVITSKI, J.P.M., 1989.** On the deposition of sediment within glacier-influenced fjords: oceanographic controls. *Mar. Geol.*, 85: 301-329.
- SYVITSKI, J., 1994.** Glacial sedimentation processes. *Terra Antarctica*, 1(2): 251-253.
- WINOGRAD, I.J., J.M. LANDWEHR, K.E. LUDWIG, T.B. COPLEN & A.C. RIGGS, 1997.** Duration and structure of the past four interglaciations. *Quat. Res.*, 48: 141-154.
- YOON, H.I., M.W. HAN, B.K. PARK, J.K. OH & S.K. CHANG, 1997.** Glacial marine sedimentation and palaeo-glacial setting of Maxwell Bay and its tributary embayment, Marian Cove, South Shetland Islands, West Antarctica. *Mar. Geol.*, 140: 265-282.