

**ANALISIS DE LA LOCALIZACION DE LOS PROCESOS Y FORMAS
PREDOMINANTES DE LA LINEA LITORAL DE CHILE:
OBSERVACION PRELIMINAR**

**LOCATIONAL ANALYSIS OF SHORELINE PREDOMINANT PROCESSES AND
LANDFORMS OF CHILE: A PRELIMINARY INQUIRY**

José F. Araya-Vergara
Departamento de Geografía de la Universidad de Chile

ABSTRACT

A map - "Chile shorelines: predominant landforms and processes" - was surveyed in order to analyze the location of shoreline phenomena and their degree of equilibrium (state). At the same time, the length of different groups of shoreline was measured.

This preliminary inquiry points out some sites of scientific interest. Among rocky shorelines, mega-cliffs in Northern Chile, some soft cliffs in Central Southern Chile or some special sectors in lobate bays are emphasized. Respecting sandy-depositional shorelines, an unique rounded foreland is being prograded at present day and supports broad active systems. Other dune systems in Central Chile are detached too. Some fluvial outlets appear to be critical concerning their morphogenetic classification. Transitional areas of wave and wind environment allow the finding of the longshore drift components.

The lack of sufficient data causes criticism in front of quantitative results. But some supports may be founded as hypothesis. The Chilean shoreline is about 34.500 km long. More than 90% is cliffy and rocky and about 90% is stable. Rocky shorelines, because their longer length, show major degree of uncertainty. Then, it is not yet possible to set up a morphogenetic budget. Possibly 90% or more of the shoreline is in dynamic equilibrium and 6%, in metastable equilibrium.

Seven probable regional shoreline systems are proposed on the basis of predominant morphological elements and "inputs". On the other hand, five morphoclimatic zones are proposed on the basis of the groups of fluvial outlets. Central Chile is considered to have the optimum morphoclimatic condition for important sandy beaches and dunes systems.

1. INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

El proyecto 1 de la Comisión de Ambiente Costero de la Unión Geográfica Internacional se refiere a cambios costeros y diferentes investigadores en el mundo están trabajando en él. Muy en relación con el tema E. C. F. Bird y M. Schwartz, de Australia y Estados Unidos respectivamente, están preparando la obra *World Shorelines* con el fin de mostrar a los investigadores del mundo "que hay y donde", en una visión itinerante, con el fin de vislumbrar - a través de la descripción - algunos problemas científicos. Para colaborar con dicha obra el autor elaboró mapas de la línea litoral de Chile con su correspondiente comentario, pero dentro de un estilo también itinerante. Por esta razón, los resultados serán presentados aquí desde un punto de vista analítico, agregándose además algunas consideraciones cuantitativas.

Trabajos anteriores del autor tuvieron como misión definir litorales de referencia (ARAYA-VERGARA, 1971-72; ARAYA-VERGARA, 1976). Las unidades establecidas en ellos sirvieron de guía para la descripción itinerante y del mismo modo servirán para el presente análisis.

Una revisión de los cambios costeros recientes en el mundo fué hecha por BIRD (1980), quien concluye que el conocimiento de los factores relevantes requiere de más investigación, tanto de patrones como de montos de cambio y de los sistemas de proceso operativos. Levantamientos sobre cambios en el litoral de Japón plantean varias interrogantes en el estudio de factores (KOIKE, 1977; OZASA, 1977). Estudios más puntuales en Japón (YAMANOUCHI, 1977) y en Islandia (NORRMAN, 1980), llaman a visiones cada vez más globalizadoras para entender mejor la significación de sus resultados.

1.2. OBJETIVOS

Los fenómenos indicados en los mapas (Figs. 1,2 y 3) se refieren solamente a la *línea litoral (shoreline)*, pero no *sensu stricto*, sino extendiéndose desde la zona intermareal hasta la *línea de costa*. Esta última es el límite entre la plataforma baja y el acantilado de la primera terraza importante. La plataforma que está más arriba, que la zona intermareal puede tener procesos comunes con ésta.

En el Departamento de Geografía de la Universidad de Chile se trabaja actualmente en el programa "Determinación de sitios costeros de interés geomorfológicos con el fin de proponer reservas naturales o áreas de conservación". Este pretende mostrar los esquemas de evolución de tales áreas mediante la aplicación de la teoría de los sistemas morfogenéticos, confeccionando modelos de evolución y de génesis y confrontando teorías e hipótesis.

La observación de las formas y procesos predominantes de la línea litoral (*shoreline*) puede permitir llegar a una noción de su estado, porque los tipos de equilibrio y posibilidades de umbrales son deducidos a través de los procesos en esta zona. La localización cartográfica de las formas y procesos predominantes debe hacer posible determinar con mayor facilidad los espacios morfogenéticos y, por lo tanto, llegar a una regionalización de sistemas. El significado de los sectores reconocidos se mostrará con un análisis cuantitativo de los tipos de línea litoral y su estado.

1.3. METODOS Y TECNICAS

El mapa de formas y procesos de línea litoral consiste en la confección de un instrumento de análisis dentro de la fase inductiva. Equivale a un modelo análogo a escala original 1: 3.000.000. La información que contiene está extraída de trabajos de varios autores (AUER, 1970; BRUGGEN, 1950; FUENZALIDA et al, 1965; HEUSSER, 1960; KAIZUKA et al, 1973; MARTÍNEZ, 1968; PASKOFF, 1970 y 1978; POMAR, 1962; ARAYA-VERGARA, 1971-72; ARAYA-VERGARA, 1976; ARAYA-VERGARA, 1981). Sólo debido a esto fué posible confiar en la información aportada por la carta al 250 mil, las cartas náuticas de diferentes escalas, la carta al 100 mil en el norte, las cartas al 50 y al 25 mil en la región central y las fotografías aéreas en algunos sectores claves.

Con respecto a los procesos predominantes, los datos sobre las mareas fueron obtenidos de las Tablas de Mareas (INSTITUTO HIDROGRAFICO DE LA ARMADA DE CHILE, 1978) con el fin de poder deducir ambientes desde el mapa de acuerdo con el criterio de DAVIES (1977). Para representar los vientos predominantes fueron usadas las ideas generales de ALMEYDA ARROYO (1955) y algunos Anuarios meteorológicos (OFICINA METEOROLOGICA DE CHILE, 1978). Los ambientes del oleaje fueron clasificados siguiendo el criterio de DAVIES (1977) y las recopilaciones de ARAYA-VERGARA (1971). Para la localización del alineamiento por deriva, se partió de los casos reconocidos como tales, por el autor, extendiéndose la determinación a casos poco conocidos de líneas litorales arenosas, siempre que su orientación fuera favorable con respecto a los componentes del oleaje. Con el mismo criterio se actuó con respecto a la localización del alineamiento por vaivén. Seguidamente, fueron clasificados como sectores de erosión aquellos de ataque directo de las olas al acantilado. En cambio, se consideró como sectores de progradación a aquellas líneas litorales arenosas en las cuales se ha observado concretamente avance histórico (POMAR, 1962), representable a la escala usada.

En lo referente a las formas predominantes, los mega-acantilados activos fueron ubicados con la ayuda de los trabajos de PASKOFF (1978). Se clasificó como "bluff" (escarpado) a toda línea litoral rocosa de arrecifes y carente de acantilado claramente reconocible. Todos los arrecifes que figuran como pequeñas islas en la carta 1: 250.000 fueron puestos en el mapa como islas arrecifales, de manera que su densidad en el mapa es una cuestión dependiente de la escala. Las líneas litorales de fiordos fueron consideradas aparte, debido a que - con respecto al oleaje - su ambiente es diferente y de aguas más tranquilas. Las formas arenosas concentraron los sectores de materiales móviles, especialmente de cordones litorales. Los sistemas dunarios fueron representados de acuerdo con una noción de escala bien específica: se tomó 1.000 hectáreas de dunas como superficie mínima de representación a la escala del 3 millonésimos. Los antecedentes sobre superficie y ubicación de los sistemas fueron obtenidos de FUENZALIDA (1956) y de las estadísticas del INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES (1966), además de las observaciones directas del autor. La información sobre acantilados regularizados fué extraída de experiencias de terreno, de las cartas topográficas, de las fotografías aéreas y de algunas fotos de satélite. Por su parte, los deltas distales de estabilidad de corto término del Norte Grande fueron observados directamente ya que no existe información bibliográfica sobre ellos. Las rías progradadas fueron determinadas por PASKOFF (1970) y delimitadas en su localización en la costa por ARAYA-VERGARA (1981) en el extremo sur. Los deltas en ría fueron estudiados y localizados por ARAYA-VERGARA (1981), quien propone que su estructura se repite en un sector intermedio entre las rías progradadas y las rías actuales, cuya localización fué mostrada antes por ARAYA-VERGARA (1976). Los deltas de cabecera de

fiordo y las líneas litorales con glaciares también fueron previamente mostrados por ARAYA-VERGARA (1971-72 y 1976).

Para poder efectuar un balance general del estado de la línea litoral y del grado de importancia de las formas y procesos más generales, se midió la línea litoral sobre la carta al 250.000, aproximando las medidas al kilómetro e ignorando entrantes y estrechos de ancho inferior a 1 km. Los tipos de línea litoral distinguidos y su estado fueron expresados en una matriz de doble entrada (cuadros 1,2 y 3), cuya expresión gráfica se presenta en la figura 4.

2. PROCESOS PREDOMINANTES

2.1. AMBIENTES DE MAREA

En el mapa (figs. 1,2 y 3) se observan 4 ambientes de marea: a) Con *amplitud media a baja (1-2 m)* y *régimen mixto*: Este ambiente existe entre Arica y la ría del Maullín. b) Con *amplitud media a fuerte (2 a 7 m)* y *régimen mixto*, correspondiente al mar epicontinental de Chiloé. c) Con *amplitud predominantemente media (1-3 m)* y *régimen mixto* de la región de los canales, y d) Con *amplitud muy fuerte (3 a 10 m)* de influencia epicontinental atlántica en la parte oriental del Estrecho de Magallanes.

Como se comprende, cada uno de estos tres ambientes determina una extensión vertical distinta de la zona intermareal. En las líneas litorales expuestas al océano abierto el plano de ataque varía con menor amplitud. En cambio la amplitud de ataque puede ser de algunos metros en el mar chilote y en Magallanes oriental.

2.2. VIENTO

Al Norte de los 40° S. aproximadamente, la dirección predominante los vientos es S.W.. Entre 40 y 46° S. hay una zona de transición no fácil de definir, pero que en general tiende a una componente W. Más al S. la dirección es del N.W. y del W.

2.3. AMBIENTES DE OLEAJE

Dos ambientes de oleaje pueden reconocerse esencialmente: a) El de *mar de leva ("swell")* del S.W. que afecta a la parte central y norte, y b) El de las *olas de tormenta de la zona frontal*, que afecta al litoral patagónico. En el primer caso se recibe una mayor cantidad de olas en fase de disipación; en el segundo, mayor cantidad de olas en fase de crecimiento. El ambiente de "swell" se desarrolla en la zona de amplitud media a baja de marea y las olas atacan con más frecuencia una estrecha banda litoral. Esto también ocurre en el ambiente de olas de tormenta cuando el litoral expone hacia el mar abierto. En cambio las olas de tormenta que alcanzan a afectar, al mar de Chiloé o a Magallanes oriental coinciden con amplitudes mareales fuertes y la energía se distribuye en una banda más amplia.

2.4. ALINEAMIENTO POR DERIVA

Debido a la dirección predominante del "swell" del S.W., la deriva en su área de acción es hacia el Norte, produciendo alineamiento de cordones litorales por deriva. Hacia el S. los alineamientos pueden ser producidos por una deriva mixta o inversa, ya que la componente va variando y se llega al ambiente de olas de tormenta. En los estrechos que exponen a ambientes protegidos con respecto al

mar abierto, las causas de los alineamientos son más complejas, sobre todo teniendo en cuenta la importancia que allí tienen las corrientes de marea.

2.5. ALINEAMIENTO POR VAIVEN ("SWASH")

En la zona del "swell" el alineamiento por vaivén se da cuando la línea litoral es más o menos perpendicular a la dirección de propagación de las olas. En las bahías más o menos protegidas, el alineamiento por vaivén es posible gracias a refracciones y difracciones. En el ambiente de olas de tormenta, las playas en que puede producirse alineamiento por vaivén, son más escasas.

2.6. SECTORES DE EROSION

En éstos se puede distinguir tres casos: a) *Con estabilidad de largo término:* En este caso destacan primero, los sectores del mega-acantilado activo del Norte Grande, que expone rocas duras con una velocidad de retroceso difícilmente medible en el rango histórico; también están en este caso, los sectores de acantilados y "bluffs", que también corresponden a rocas duras. b) *Con estabilidad de mediano término:* Los sectores representables a la escala del mapa están en Chile Central y corresponden fundamentalmente a los afloramientos de sedimentos relativamente blandos del Terciario Superior. Aparecen en la leyenda como acantilados regularizados. En muchas partes son activos, pero no se sabe todavía medir su retroceso actual, por lo menos durante los últimos 100 años, por lo que pueden ser considerados como estables. c) *Con estabilidad de corto término:* Los que con más propiedad tienen esta categoría, son los acantilados morrénicos del Estrecho de Magallanes, ya que se trata de sedimentos del Pleistoceno con poca consolidación. En muchos sectores son activos en pleamar, si se considera que la amplitud de marea es muy fuerte. También figuran en el mapa como acantilados regularizados, pero más ciertamente están en proceso de regularización, como los de Chile Central.

Se estima que casi 34.000 km cubren las líneas de costa acantiladas y rocosas en Chile (97.7%) y que la mayor parte es estable (91.9%). En los sectores de erosión con diferente grado de estabilidad sólo para un 2,1% es posible hipotetizar pero no asegurar retroceso en los últimos 100 años, (ver cuadros 1, 2 y 3 y fig. 4, a, b, h y i), ya que el retroceso de 5.9% es por razones tectónicas. Observaciones del autor sobre acantilados activos en el extremo austral (islas Picton y Navarino) dentro del grado de estabilidad de corto término, permiten asegurar un retroceso reciente en unos 37 km (0.11% del total de las líneas de costa acantiladas y rocosas).

2.7. SECTORES DE PROGRADACION

Tres casos puede observarse aquí: a) *De línea litoral convexa:* El único ejemplar es el de la convexidad de acreción (rounded foreland) de Putú-Quivolgo al Norte del río Maule, cuyo avance entre 1876 y 1944 fué de 600 m, (POMAR, 1962) o sea, casi 9 m por año durante 68 años. También el caso de San Antonio puede considerarse como avance convexo (cuadro 4), sin representación a la escala usada. b) *De línea litoral cóncava:* Los casos prácticamente no tienen representación cartográfica a la escala del mapa. Entre Viña del Mar (33° 02') y Carelmapu (41° 45') el cuadro 4 muestra algunas playas que han avanzado en el último siglo. Los cuadros 5 y 6 indican crecimiento de tómbolos y progradación de bahías y caletas respectivamente. c) *De barras submarinas por sedimentación fluvial.*

La línea litoral arenosa deposicional cubre alrededor de 580 km en Chile

(1.7% del total), de los cuales 57 (9.8%) presentan progradación histórica (cuadro 1,2 y 3; fig. 4 a, c y g). Un 45% de las costas en avance son arenoso-depositacionales.

3. FORMAS PREDOMINANTES DE LINEA DEL LITORAL

3.1. MEGA-ACANTILADOS ACTIVOS

Los tres sectores determinados en el mapa como mega-acantilados activos fueron reconocidos por PASKOFF (1978). El primer sector se extiende desde Arica a río Camarones (19°20'); el segundo, entre Pisagua (19°35') e Iquique, y el tercero, entre el extremo sur de la bahía de Antofagasta y Caleta El Cobre (24°15'). Se trata de unos 200 km de línea de costa, equivalentes al 0,6% de toda la línea acantilada y rocosa del país. Como afloran rocas duras, la estabilidad es de muy largo término y su situación es considerada como estable.

3.2. ACANTILADOS Y "BLUFFS"

Ellos suman unos 33.500 km (97% del total) si se resta los mega-cliffs. Están localizados a lo largo de toda la línea litoral, pero notoriamente interrumpidos en la región central, hecho importante de retener para la interpretación. Se estima que su mayor parte es estable (92%). Hay un porcentaje no despreciable de retroceso histórico (5.9%) atribuido a la subsidencia tectónica (KAIZUKA et al, 1973) entre 39° de latitud y Chiloé. Muy pequeño es el porcentaje debido a avance por solevantamiento (0.2%). Los acantilados en sedimentos blandos (2.1%) no presentan seguridad de retroceso de acuerdo con los conocimientos actuales (fig. 4 a, b, e i y cuadros 1,2 y 3).

La línea litoral en fiordos fué considerada aparte, ya que debido a su génesis, difícilmente presenta acantilados típicos y "bluffs". Las acciones glaciales en las riberas se mantienen notorias y la acción del oleaje es baja debido a su poca energía.

3.3. ISLAS ARRECIFALES

Sólo fueron representadas en la línea litoral pareja de Chile, porque en la costa de islas de la Patagonia parecen carecer de significación. Su localización se concentra esencialmente en el litoral del Norte Chico. El sector más importante está entre Punta Rincón (25°) y Bahía de Coquimbo (30°). Hay otro menor entre bahía Chigualoco (31°50') y Quintero. (32°50').

La mayor densidad de localización coincide con una unidad regional de bahías grandes y abiertas lobuladas, con ganchos de protección al Sur, constituidos por *horsts*. Este tramo de la costa muestra la mayor alternancia entre rocas de diferente resistencia que se encuentra en el país (ARAYA-VERGARA, 1976), a la que se agregan los rasgos tectónicos.

3.4. LINEAS LITORALES ARENOSAS

Su localización se concentra esencialmente en Chile Central entre 33 y 37° de latitud aproximadamente y entre el S. de Arauco y la costa W. de Chiloé (38-43°). Otras concentraciones están en bahía de Coquimbo (29-30°) y entre Longotoma y Concón (32-33°) en el Norte Chico. De los 580 km de línea litoral arenoso-depositacional (1.7% del total), el sector bahía de Coquimbo abarca el 10.7%, Longotoma-Concón el 5.9, Chile Central el 31.6% y Sur de Arauco-costa W. de Chiloé el 37.6%, concentrando estos conjuntos el 86%. Usando los cuadros 1 a 4 y la fig. 4 a, c, f, g, h, i, j, se comprende por qué el 50% de las líneas arenosas presenta un retroceso reciente. Resulta que una parte importante de ellas sufrió

subsistencia tectónica en la parte centro-sur del país (KAIZUKA et al, 1973). En Chile Central y el Norte Chico la situación es sobre todo de estabilidad. En estas regiones es donde se presenta la mayor turbidez específica de los ríos y los aportes de sedimentos son seguramente los más importantes, lo que justifica la mayor frecuencia de playas. En cambio, en el tramo Arauco-Chiloé los aportes sedimentarios fluviales no parecen tan importantes. Sin embargo, los afloramientos de los sedimentos terciarios blandos son muy comunes en las áreas de regularización, como claramente ocurre en Arauco y el sector del Lago Budi, y su importancia en las líneas arenosas es innegable.

3.5. SISTEMAS DUNARIOS

Es indudable que los campos de dunas más importantes del país se concentran entre los 33 y los 38° de latitud. En general los mayores sistemas cubren algunos miles de hectáreas, siendo los más importantes los de Trinchera-Quivolgo (35°) con unas 8.000, Chanco con unas 5.000 y el S. de Arauco con más de 15.000. En el Norte Chico difícilmente los campos tienen más de 1.000 hectáreas.

Se ve que hay una correlación clara entre una mayor densidad de playas importantes y la concentración de los principales campos de dunas del país. Llama la atención, sin embargo, que el campo más extenso esté en Arauco en una región húmeda (más de 1.300 mm) y no en pleno Chile Central, que es más seco. Pero en Arauco hay buen abastecimiento de arenas, existencia de estación seca y exposición de la línea litoral casi perpendicular a los vientos dominantes.

De 74.428 hectáreas de dunas litorales medidas por el INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES (1966) entre Bahía de Coquimbo y Canal de Chacao (41°), el 83.5% está entre 33 y 38° de latitud.

3.6. ACANTILADOS REGULARIZADOS

Estas formas se localizan en Chile Central, en Chiloé y en Magallanes, ya que las formas que están entre Arauco y Canal de Chacao contienen muy frecuentemente el acantilado en la *línea de costa* y no en la línea litoral (shoreline). De todas maneras estas últimas formas están muy emparentadas con las de Chile Central, en donde tres sectores corresponden a acantilados regularizados ("straightened cliffs"): a) Entre Punta Toro (33°46') y Punta Topocalma (34°08'), b) Entre los ríos Nilahue (34°30') y Mataquito (35°02') y c) Entre Punta Nugurue (36°) y el río Itata (36°25'). Se trata de acantilados elaborados en rocas sedimentarias relativamente blandas del Terciario, lo que ha hecho posible la regularización. Si no son totalmente rectos o cóncavos, es debido al afloramiento de rocas duras en la base, que pueden ser rocas cristalinas del zócalo o las areniscas más antiguas y más duras del Terciario de Algarrobo, que afloran por debajo de las del Terciario Superior. Las puntas que delimitan a los sectores regularizados y algunas islas arrecifales, están explicadas por afloramientos cristalinos.

En Chiloé y Magallanes estos acantilados se explican por estar elaborados en colinajes con cuerpos sedimentarios glaciales, glaciafluviales o glacialacustres del Pleistoceno, los que se comportan como rocas blandas y poco coherentes. El corte del acantilado es bien perfecto en las islas de la costa oriental de la Isla de Chiloé. Formas muy rectas pueden llegar hasta 30 ó 40 km de largo en el Estrecho de Magallanes oriental. Dimensiones menores aunque importantes hay en la costa sur de la isla Navarino (55°) y en el canal Beagle (ARAYA-VERGARA, 1978).

3.7. DELTAS DISTALES DE ESTABILIDAD DE CORTO TERMINO

Estos son los pequeños deltas que aparecen en las bocas de algunos ríos intermitentes del desierto; son formas pequeñas, de no más de 2 km de línea litoral. El último representante claro, hacia el S., es el delta de Chañaral (26°20'). Se considera que estas formas son de estabilidad de corto término, porque su construcción depende de los umbrales aperiódicos generados por las lluvias de verano en la cordillera. Si las crecidas en flujo rápido generan diamictos importantes se constituyen deltas redondeados que, debido a la importante energía marina, pueden evolucionar a deltas cuspidados en un período de relajación relativamente corto. Debido al gran flujo rápido del verano de 1973, el diamicton formó un delta bien redondeado junto a la boca del río San José en Arica. En el verano de 1980 el delta era cuspidado, lo que indica un tiempo de relajación inferior a 7 años.

De casi 140 km de línea litoral deltaica en el país (0.4% del total), sólo un 4.4% está en la zona del desierto costero.

3.8. RIAS PROGRADADAS

Estas formas son reconocibles desde el río Copiapó (27°20') hasta el Maipo inclusive (33°47'); su condición de antiguas rías para el Norte Chico fué determinada por PASKOFF (1970); su apareamiento de Norte a Sur coincide con el de los ríos exorreicos de caudal constante hacia el mar y con las condiciones de semi-aridez de la región, cuyo límite sur fué establecido por ARAYA-VERGARA (1981) en lo referente a la estructura de las desembocaduras.

3.9. DELTAS EN RIA

Su localización se concentra en Chile Central entre la boca del Rapel (34°) y la del Bío-Bío (37°) inclusive (ARAYA-VERGARA, 1981), donde la energía fluvial es suficiente para calibrar canales amplios de curso inferior y para aportar suficiente substancia deltaica, pero la energía marina también es suficiente como para impedir el progreso de la progradación hacia el mar. Hay una buena correlación entre los deltas en ría y los relativamente abundantes sectores de líneas litorales arenoso-deposicionales, lo que demuestra la importancia de los sistemas fluviales en el aporte de sedimentos. Algunas de estas formas tienen deltas distales que influyen en la línea litoral, como ocurre con el Itata y el Bío-Bío, con 8 y 15 km de línea litoral respectivamente (16.8% de las líneas deltaicas del país : 137 km).

3.10. RIAS

Estas formas de desembocadura están localizadas entre las rías del Imperial (38°45') y del Maullín (41°37') de acuerdo con ARAYA-VERGARA (1976 y 1981). En esta región los ríos tienen una turbidez específica inferior a la de Chile Central, hecho por el cual no se dispone de mucha materia para la construcción de deltas en ría. Además se trata de un tramo de la costa que ha sufrido subsidencia tectónica reciente. Ambos hechos parecen colaborar bien al mantenimiento de rías más o menos limpias, calibradas también por un mayor caudal general de los ríos.

3.11. DELTAS DE CABECERA DE FIORDO

Ellos son exclusivos de las costas de fiordos de la Patagonia. Se trata de la mayoría de los deltas de Chile medibles a la escala 1: 250.000. El 77.4% de

la línea litoral deltaica del país está en Patagonia (unos 104 km); tiene deltas pequeños, generalmente de no más de unos 5 km de línea litoral. Los mayores son los deltas del Palena (14 km) ($43^{\circ}50'$), de Caleta Gualas ($46^{\circ}30'$) (10 km), del Yelcho (43°) y del Corcovado ($43^{\circ}15'$) (8 km), ocupando el 39,4% de la línea deltaica patagónica. De los cuadros 1 a 3 y la fig. 4 d se ve que para la mayor parte de los deltas se desconoce su grado de estabilidad. Los deltas de los ríos Yelcho y Aisén presentan digitaciones de distributarios que permiten pronunciarse por un avance.

Los fenómenos que favorecen la existencia de estos deltas de cabecera de fiordo son: la existencia de ríos proglaciales con aportes importantes y la condición de aguas tranquilas que se genera en el seno de los fiordos.

3.12. GLACIARES DE CABECERA DE FIORDO

Las líneas litorales glaciales se dan en las cabeceras de fiordos que están frente a las caletas de hielo patagónico. Constituyen sólo el 0,2% de la línea litoral chilena, en tramos que comúnmente son de unos pocos kilómetros para los mayores glaciares de valle periféricos a la calota. Los máximos son de 7 km en los glaciares San Rafael ($46^{\circ}41'$) y Fiordo Peel ($50^{\circ}50'$). La mayoría no pasa de 3 ó 4 km. En la casi totalidad de los casos no es posible decir en qué estado están (fig. 4e). En el glaciar San Rafael ($46^{\circ}41'$), sin embargo, HEUSSER (1960) determinó retroceso histórico, lo que da un 12,7% del total.

Estos frentes de glaciar presentan acantilados de hielo activos.

3.13. ACANTILADOS, BLUFFS Y LINEAS LITORALES ARENOSAS EN BAHÍAS LOBULADAS

Debido al origen glacial de las bahías lobuladas de la Patagonia (ARAYA-VERGARA, 1974), sus líneas litorales no son homogéneas; pueden pertenecer a colinajes o terrazas con materiales de origen glacial, glacialacustre o glacialfluvial, los cuales son blandos, tienen a formar acantilados y a regularizarse con facilidad; también pueden estar asociadas con formas de erosión glacial, como rocas aborregadas, o con cordones litorales relacionados con desembocaduras fluviales.

Por consiguiente, la línea litoral de estas bahías es comúnmente una sucesión de las formas citadas.

4. DISCUSION

4.1. ASPECTOS METODOLOGICOS

Un primer aspecto tiene que ver con las limitaciones en la información. En primer lugar, no está bien claro lo que ocurre en el área de transición de ambiente de oleaje entre Arauco y Chiloé. Aunque para ello se parte de la base de que los ambientes de "swell" y de olas de tormenta se pueden mezclar, es necesario conocer mejor el efecto cinemático de estas complicaciones en la deriva litoral. En este sentido, la representación cartográfica entre Arauco y Chiloé es incompleta y no siempre coherente. En segundo lugar hay que aclarar qué alcance tienen en el sentido temporal los términos progradación y erosión. En el mapa se denomina sectores de erosión a aquellos de acantilados activos, pero sin tener

en cuenta el aspecto temporal en términos de velocidad relativa. Así, tanto los acantilados muy blandos de Magallanes como los muy duros del Norte Grande están en la misma categoría sólo por el hecho de exhibir erosión marina actual. Las medidas y las estadísticas, en cambio, consideran como línea litoral en retroceso sólo a aquellas de retroceso histórico (último siglo). Así, el rango temporal abarcado por el mapa es superior al ocupado por las estadísticas. En cuanto a avance y progradación, la estadística y del mapa, ofrecen coincidencia, porque este hecho sólo puede inferirse a partir de datos concretos de crecimiento. Como se ve, el desconocimiento de muchos hechos limita aún la posibilidad de llegar a un balance morfogenético. Aún más, la alternancia entre acantilados regularizados y líneas arenosas, especialmente en Chile Central, obliga a ubicarlos en la categoría "no es posible decir" (aún) (fig. 4j).

Un segundo aspecto se refiere al significado de algunas de las variables consideradas para la estadística. Entre Queule (39°18') y Chiloé (43°30') la línea acantilada y rocosa es considerada en retroceso a raíz del basculamiento tectónico de 1960 (KAIZUKA et al, 1973). En Chile Central 57 km de línea arenoso-deposicional son considerados en avance a partir de observación directa. Pero un sector de 46 km dentro de él se estima en avance a partir de observaciones sólo en algunos sitios (POMAR, 1962) (cuadro 4). Sin embargo, en general se trata de una convexidad de acreción (ARAYA-VERGARA, 1981) con "input" actual de sedimentos fluviales. En lo referente a los deltas, es posible que los de la parte norte puedan ser considerados como estando en equilibrio metastable a los "input" irregulares desde el hinterland árido y a la relativamente alta energía del oleaje. Algunos deltas patagónicos son considerados en avance debido a "inputs" proglaciales importantes y a una baja energía de oleaje en el ambiente del fiordo. Finalmente, gran parte de las líneas acantiladas en sedimentos terciarios blandos son consideradas como estables, porque la mayoría de estos acantilados derivan del óptimo postglacial, existiendo actualmente una playa estrecha entre el acantilado y la zona de ataque de la ola.

Un tercer aspecto tiene que ver con las variables estadísticas y las variables en el mapa, porque llama la atención que no estén en el mismo número ni tengan la misma denominación. Esto se debe a que, mientras el mapa muestra formas y procesos, cuya distribución debe someterse a una interpretación, las estadísticas tienden a mostrar un balance provisorio tomando en cuenta variables más generales. Ambas informaciones deben ser consideradas como complementarias, sirviendo la estadística general para dar significación al análisis cualitativo de la carta.

4.2. SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

En el mapa hay aspectos suficientemente visibles como para que sea posible determinar sitios de interés científico. Aún así, es evidente que hay otros no detectables debido a su escala y también al punto de vista de la representación.

Por su parte, el análisis cuantitativo sólo permite una noción general del estado de la línea litoral. Ella no resulta aún suficiente para ser aplicada a ciertos sectores en particular.

En lo referente a cambios y umbrales, las informaciones proporcionadas y el análisis respectivo no permiten su pronóstico, pero sí un mejor enfoque regional de su factibilidad.

Finalmente, como se verá en las conclusiones, es posible plantear una regionalización de sistemas de la línea litoral chilena.

5. CONCLUSIONES

5.1. SITIOS DE INTERES CIENTÍFICO

En las líneas litorales rocosas, los mapas (figs. 1,2 y 3) permiten suponer la existencia de lugares de observación para la erosión en rocas duras en los tramos correspondientes al mega-acantilado activo. Del mismo modo, en los acantilados regularizados en rocas blandas de más al Sur algunos sitios son útiles para detectar la importancia actual de la erosión. Cuando este tipo de acantilado se intercala con líneas de cordones litorales, es posible elegir sitios donde se pueda ver la relación entre los cordones y los acantilados, como ocurre en la línea entre Arauco y Chacao, pudiendo compararse su evolución con la de estos fenómenos en Chile Central. Por otro lado, un caso especial de sectores de observación son las bahías lobuladas del Norte Chico, de Patagonia y Golfo de Arauco.

Con respecto a las líneas litorales arenoso-deposicionales un caso muy especial es presentado por la convexidad de acreción La Trinchera-Putú-Quivolgo al Norte del Maule, cuya estructura general ya ha sido descrita (ARAYA-VERGARA, 1976 y 1981) y cuyo avance en el último siglo merece observaciones más puntuales. Por su lado, los grandes sistemas de dunas presentan estructuras generales y particulares que es necesario definir: los sitios de Quivolgo y Putú, de Chanco (35°40') y de Arauco revisten especial interés.

La representación cartográfica de las clases de desembocadura, sugiere sectores de transición de cada grupo en los cuales hay que hacer estudios especiales para detectar sus componentes. La desembocadura de la quebrada de Chañaral tiene elementos como un delta distal de carácter más permanente que los de más al Norte y puede significar un anuncio de los cambios que vienen más al Sur. ARAYA-VERGARA (1981) mostró la efectividad de este método analizando el caso de la desembocadura del Maipo. El caso del Imperial es decisivo como límite más al Sur y necesita ser mejor observado para decidir su condición de ría. La definición de sectores críticos permitirá determinar mejor los umbrales.

La figuración del campo de los ambientes de oleaje y también de la dirección predominante del viento ayuda a pensar en las zonas críticas de cambios en la dirección de la deriva litoral. Desde Arauco al Sur se observa una deflexión de los cursos inferiores de los ríos hacia el Sur y esto permite elegir lugares de observación, ya que se trata de litorales abiertos y no bahías. Los resultados conseguidos por KING (1978) en bahías entre 20 y 42° S sobre deflexiones fluviales son sólo aplicables a esos ambientes y no a litorales abiertos, en los cuales las deflexiones tienden a ser opuestas a las de las bahías, por lo menos al Norte de Arauco, debido a la poca refracción del oleaje.

5.2. ACERCA DEL ESTADO DE LA LINEA LITORAL

De los casi 34.500 km de línea medida por el autor, más del 90% litoral es acantilada y rocosa, así como más del 90% es estable. Pero, a la vez, el grado de incertidumbre mayor sobre el estado se tiene en la línea rocosa, proporcionalmente por ser esta más larga (fig. 4j). En realidad, la estadística de la incertidumbre muestra porcentajes al parecer mínimos, pero la falta de observaciones concretas y sistemáticas lleva a suponer un error mayor en la estimación. Por esta razón el balance morfológico litoral está muy lejos de ser establecido.

Se ve claramente, sin embargo, que es necesario distinguir para el litoral chileno dos casos en cuanto al estado: a) Avance o retroceso debido a procesos exógenos y b) Avance o retroceso debido a procesos endógenos. Esta distinción es fundamental para - a partir de algunas observaciones directas - poder compensar la falta de información en otros casos. Esta es la base del grado de confiabilidad que pueden tener las estadísticas presentadas aquí.

5.3. CAMBIOS Y UMBRALES

Si hay un alto porcentaje de líneas estables así como una proporción no despreciable de incertidumbre, sumando ambos casos un 93%, y si sólo a un 7% se le pueden atribuir cambios en el último siglo, la noción de estado que se tenga debe estar en función del orden temporal considerado para el cambio. Si se toma las variaciones milenarias del nivel del mar en el Postglacial, parece lícito atribuir el 90 o más % de estabilidad a un equilibrio dinámico. Entretanto, una buena parte de los cambios observados (cerca del 6%) debido a incidencias tectónicas recientes puede considerarse en equilibrio metastable. Los avances por sedimentación fluvial deben estar dentro del equilibrio dinámico, pero éste no es tan claro para los umbrales generados por bravezas y tsunamis, que deben producir un equilibrio dinámico metastable.

5.4. REGIONALIZACION DE SISTEMAS

Con el análisis de los mapas es posible vislumbrar los elementos para distinguir sistemas morfogenéticos, con sus elementos morfológicos más relevantes y los "inputs" comunes de energía y materia:

1) Mega-acantilados, acantilados y "bluffs" activados por "swell" del S.W. e "inputs" fluviales incidentales (Arica-Punta Rincón, 25°S.).

2) Acantilados, "bluffs", "pocket beaches" e islas arrecifales activados por "swell" del S.W. e "inputs" fluviales periódicos menores (Punta Rincón-Punta Curaumilla).

3) Acantilados blandos regularizados alternados con "bluffs" duros y "pocket beaches", activados por "swell" del S.W. e "inputs" fluviales periódicos mayores (Pta. Curaumilla-Dichato).

4) Alternancia entre acantilados duros, blandos y "bluffs" activados por "swell" transicional desde el W. y olas de tormenta, con "inputs" fluviales periódicos menores (Arauco-costa W. de isla de Chiloé).

5) Acantilados, "bluffs" y líneas arenosas en bahías lobuladas activados por olas de tormenta y alto rango de marea de mar interior (Mar de Chiloé) o por influencia de alto rango de marea de tipo atlántico (parte oriental del Estrecho de Magallanes).

6) Acantilados y "bluffs" del frente W. de las islas patagónicas activados por olas de tormenta del mar abierto.

7) Acantilados y "bluffs" de los canales y fiordos interiores con baja energía de olas de tormenta, con "inputs" fluviales menores.

5.5. ZONACION MORFOCLIMATICA DE LOS "INPUTS" CONTINENTALES

En lo referente a los aportes de sedimentos, la representación de los grupos de desembocadura en el mapa permite obtener deducciones sobre la significación morfoclimática de este aporte, reconociendo las siguientes zonas:

- 1) La zona de los *deltas distales* corresponde a la influencia climática del desierto, con "inputs" estivales derivados de influencias halógenas de altura.
- 2) La zona de las *rías progradadas* coincide con las condiciones semiáridas del Norte Chico, aunque fundamentalmente la progradación sea paleogeográfica.
- 3) La zona de los *deltas en ría* calza bien con las condiciones templado-secas de Chile Central (de semiárido a subhúmedo), aunque fundamentalmente la formación de los deltas estuariales sea paleogeográfica.
- 4) La zona de *rías* conecta con las condiciones húmedas y muy húmedas bien de la Región de los Lagos.
- 5) La zona de los *deltas de cabecera de fiordo y de los glaciares* corresponde a la influencia de los climas glaciales de altura en la Patagonia.

Si hay una estrecha relación entre las estructuras morfológicas fluvio-marinas costeras y las condiciones morfoclimáticas actuales, significa que los cambios ambientales en el Cuaternario Reciente se han producido dentro del monto de diferencias actuales, o sea, que los cambios han ocurrido en el rango de las diferencias actuales. Igualmente, es posible que los cambios climáticos hayan sido de poca magnitud.

6. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a los profesores Eric C. F. Bird de la Universidad de Melbourne (Australia) y Maurice Schwartz de la Universidad de Western Washington, su estímulo para abordar esta temática. Además, agradece al Departamento de Desarrollo de la Investigación de la Universidad de Chile el apoyo que está ofreciendo al profundizamiento del estudio de algunos aspectos que aquí se plantean en forma general.

7. REFERENCIAS

- ALMEYDA-ARROYO, E. 1955. Geografía de Chile. 16a Edición. Imp. Casa Nac. del Niño. Santiago.
- ARAYA-VERGARA, J. F. 1971. Determinación preliminar de las características de oleaje en Chile Central. Mus. Nac. Hist. Not. Mens. 15 (174): 8-12.
- ARAYA-VERGARA, J. F. 1971. Bases geomorfológicas para una división de las costas de Chile. Inform. geogr. Chile (21-22): 5-36.
- ARAYA-VERGARA, J. F. 1974. Relaciones entre los piedmont glaciogénicos y las formas marinas litorales en el Sur de Sudamérica. R. geogr. panamer. (81): 115-138.
- ARAYA-VERGARA, J. F. 1976. Reconocimiento de tipos e individuos geomorfológicos regionales en la costa de Chile. Inform. geogr. Chile. (23): 9-30.
- ARAYA-VERGARA, J. F. 1978. La función morfogenética de las islas del Cabo de Hornos en el Wurm Superior. Inform. geogr. Chile. (25): 21-52.
- ARAYA-VERGARA, J. F. 1981. El concepto de "delta en ría" y su significado en la evolución litoral (Ej. en Chile Central). Inform. geogr. Chile. (28): 71-102.
- AUER, V. 1970. The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part V: Quaternary Problems of South America. Ann. Ac. Sci. Fenn. A. 100. Helsinki.
- BIRD, E. C. F. 1980. Recent changes on the world sandy shorelines. Paper presented to Pre-Congress Program of the Commission on Coastal Environment. Shimoda. Japan.

- BRUGGEN, J. 1950. Fundamentos de la geología de Chile. Ed. Inst. Geogr. Mil. Santiago.
- DAVIES, J. L. 1977. Geographical variations in coastal development. Longman. Norfolk.
- FUENZALIDA, H. 1956. Campos de dunas en la costa de Chile Central. C. R. XVIII Congrès Internat. de Géographie. R. Janeiro: 234-240.
- FUENZALIDA, H., R. COOK, R. PASKOFF, K. SEGERSTROM & W. WEISCHET. 1965. High Stands of Quaternary Sea Levels Along the Chilean Coast. *Geol. Soc. of Amer. Inc. Sp. Paper.* 84: 473-496.
- HEUSSER, C. 1960. Late Pleistocene Environments of Laguna de San Rafael Area, Chile. *Geogr. R.* 5 (4): 555-577.
- INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES. 1966. Inventario de dunas en Chile (29°48' - 41°50' lat. S.). Public. 4.
- INSTITUTO HIDROGRAFICO DE LA ARMADA. 1978. Tablas de mareas de la costa de Chile. Valparaíso.
- KAIZUKA, S., T. MATSUDA, M. NOGAMI & N. YONEKURA. 1973. Quaternary tectonics and recent seismic crustal movements in the Arauco Peninsula and its environs, Central Chile. *Geogr. Rep. Tokio Metr. Univ.* (8): 1-38.
- KING, C. A. A. 1977. Classification and morphometry of the coast between 20° S. and 42° S. *R. Geogr. Valparaíso.* (8): 27-57.
- KOIKE, K. 1977. The Recent Change of Sandy Shorelines in Japan. *Kamazawa Geogr.* (13): 1-16.
- MARTINEZ, R. 1968. Foraminíferos y evolución de la línea de costa Holocénica en la zona de Concepción. En: Cecioni, G., Ed. *El Terciario de Chile. Zona Central.*, Ed. Andrés-Bello. Santiago: 211-258.
- NORRMAN, J. O. 1980. Coastal erosion and slope development in Surtsey Island, Iceland. *Z. Geomorph. N. F. Suppl. Bd.* 34: 20-38.
- OFICINA METEOROLOGICA DE CHILE. Varios años. Anuario. Santiago.
- OZASA, H. 1977: Recent shoreline changes in Japan. *Coastal Eng. in Japan* 20: 69-81.
- PASKOFF, R. 1970. Recherches géomorphologiques dans le Chili semi-aride. Biscaye. Bordeaux.
- PASKOFF, R. 1978. Sur l'évolution géomorphologique du grand escarpement côtier du désert chilien. *Géogr. Phis. Quat.* 32 (4): 351-360.
- POMAR, J. 1962. Cambios en los ríos y en la morfología de la costa de Chile. *R. Chil. Hist. y Geogr.* (130): 318-356.
- YAMANOUCHI, H. 1977. A Geomorphological Study about the Coastal Cliff Retreat along the Southwest Coast of the Atsumi Peninsula, Central Japan. *Sci. Rep. Fac. Educ. Gumma University.* 26 (7): 95-128.

Cuadro 1: Medidas de la línea litoral.

Tipo de línea de costa	largo línea de costa	en avance km.	en retroceso km.	estable km.	no es posible decirlo km.
Acantilada y rocosa.	33.711	54	1.987	30.972	698
Arenoso deposicional.	579	57	287	120	115
Deltaica	137	15	-	51	71
Glacial	55		7	-	48
TOTAL	34.482	126	2.281	31.143	932

Cuadro 2: Tipos de línea de costa según el estado.

Tipo de línea de costa.	largo línea %	en avance %	en retroceso. %	estable %	no es posible decirlo %
Acantilada y rocosa	97.7	42.9	87.1	99.5	74.9
Arenosa deposicional.	1.7	45.3	12.6	0.4	12.3
Deltaica	0.4	11.9	0.0	0.2	7.6
Glacial	0.2	0.0	0.3	-	5.2
TOTAL Km.	34.482	126	2.281	31.143	932

Cuadro 3: Estados de línea de costa según el tipo.

Tipo de línea de costa	largo línea km.	en avance %	en retroceso %	estable %	no es posible decirlo %
Acantilada y rocosa.	33.711	0.2	5.9	91.9	2.1
Arenosa deposicional.	579	9.8	49.6	20.7	19.9
Deltaica	137	10.9	0.0	37.2	51.8
Glacial	55	0.0	12.7	0.0	87.2
TOTAL	34.482	0.4	6.6	90.3	2.7

Cuadro 4: Líneas de costa que han avanzado en los últimos 100 años.

Playa	Latitud	Fuente	Entre los años.	Avance	Velocidad media deducida (m/año).
Viña del Mar	33° 02'	Kraus (1903)	1871-1903	96 m	3
San Antonio Lolloo	33° 36'	Lira (1932) Pomar (1962)	1908-1932	600 m	25 (1.500.000 m ³ /año.
Trinchera Quivolgo	35° 02' 35° 20'	Jarpa (1880) Léveque (1876) Quezada (1906)	1876-1944	600 m	8,8
Coronel	37° 01'	Pomar (1962)	1854-1937	150 m	1,8
Isla Santa María	37° 02'	Señoret (1862) Wilson (1886) Pomar (1962)	1862-1920	300 m	5,2
Carelmapu	41° 45'	Beagle (1835) Vidal (1874) Pomar (1962)	1835-1874	110 m	2,8

Cuadro 5: Algunos avances de tómbolos hacia pequeñas islas.

Tómbolo	Latitud	Fuente	Entre los años
Caleta Tebos	32° 43'	Pomar (1962)	1875-1924
Peñón El Amortajado.	41° 38'	Pomar (1962)	1788-1962
Punta de Lobos.	34° 26'	Vidal (1885)	
Islote Uchu-huapi (caleta Yane).	37° 22'	Señoret (1862)	

Cuadro 6: Algunas bahías y caletas que han sido progradadas.

Bahía o caleta	Latitud	Frente	Entre los años	Monto medio
Huasco	28°27'	Pomar (1962)	1906- ?	
Valparaíso	33°02'	Marina (1854) Kraus (1903) Pomar (1962)	1857-1951	100.000 m ³ /año en prof.
Constitución	35°20'	Pomar (1962)	1929-1934	50-80 m/año en prof.
Corral	39°52'	Vidal (1868)	1778-1851	8 cm/año en profundidad.
Ancud	41°48'	Pomar (1962)	1790-1871	12 cm/año en prof.
Ralún	41°25'	Vidal (1871) Pomar (1962)	1791-1891	17 cm/año en prof.

Referencia:

POMAR, J. M. 1962. Cambios en los ríos y en la morfología de la costa de Chile. R. Chil. Hist. y Geogr. (130) : 318-356.

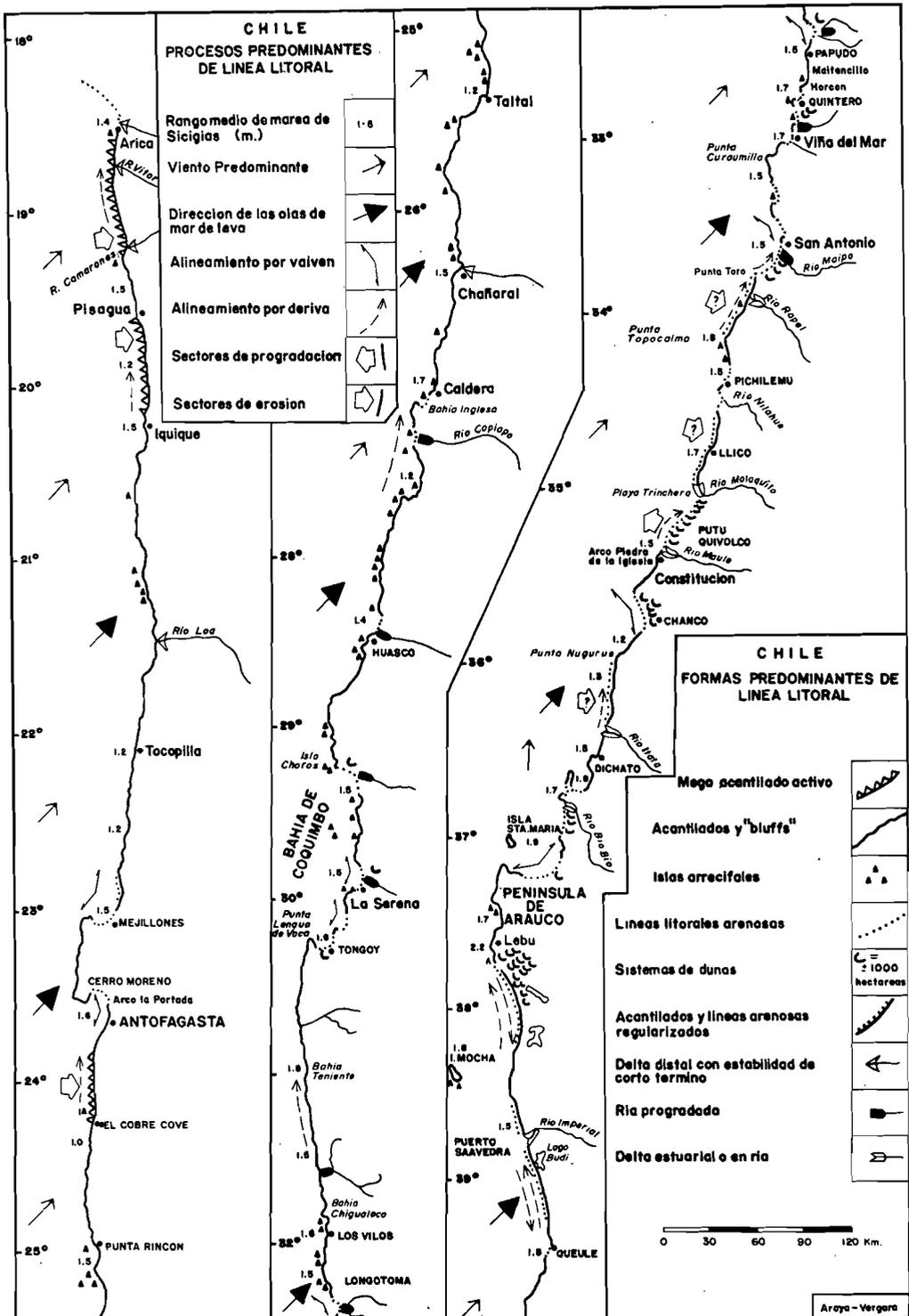
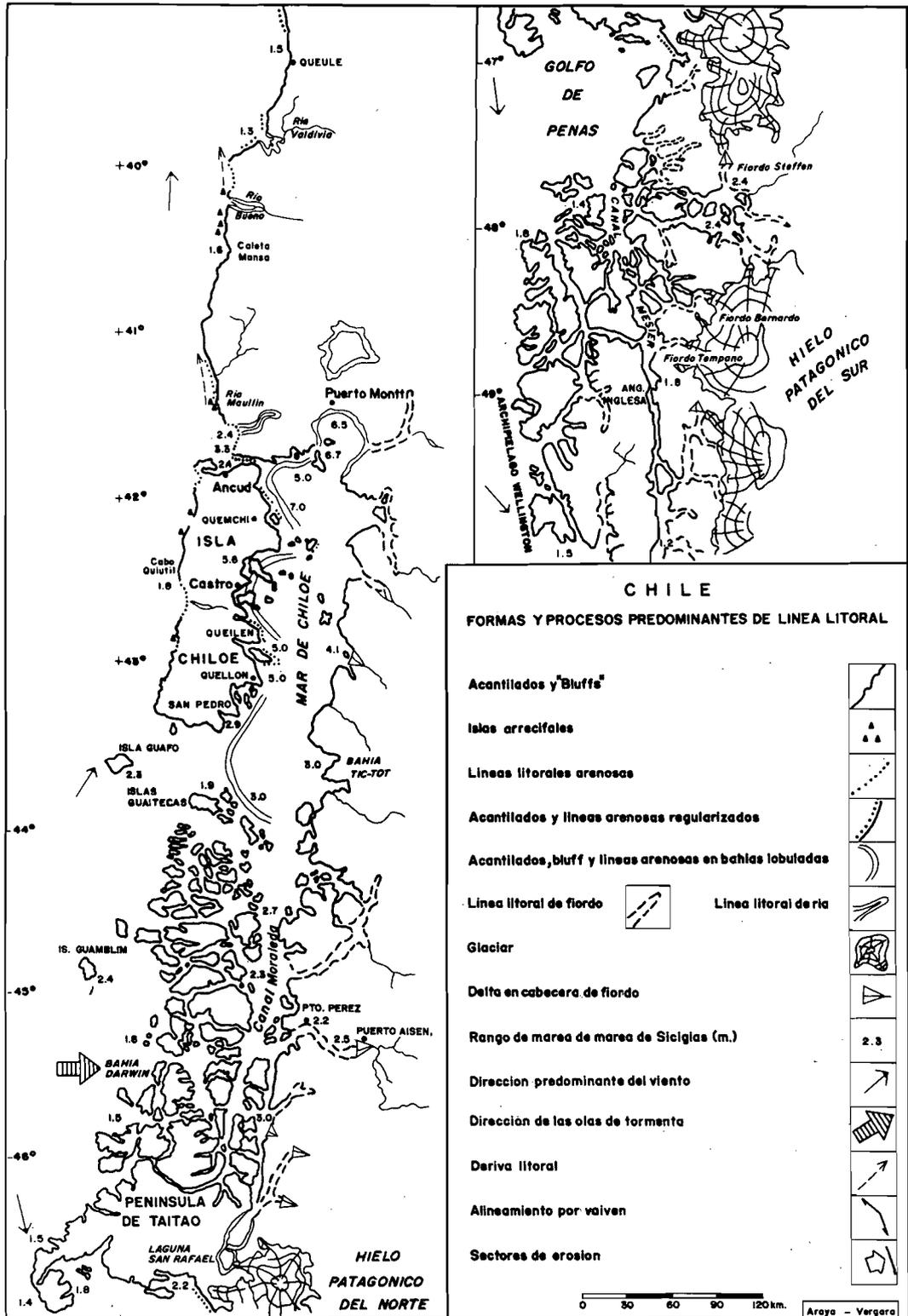


FIG. 1



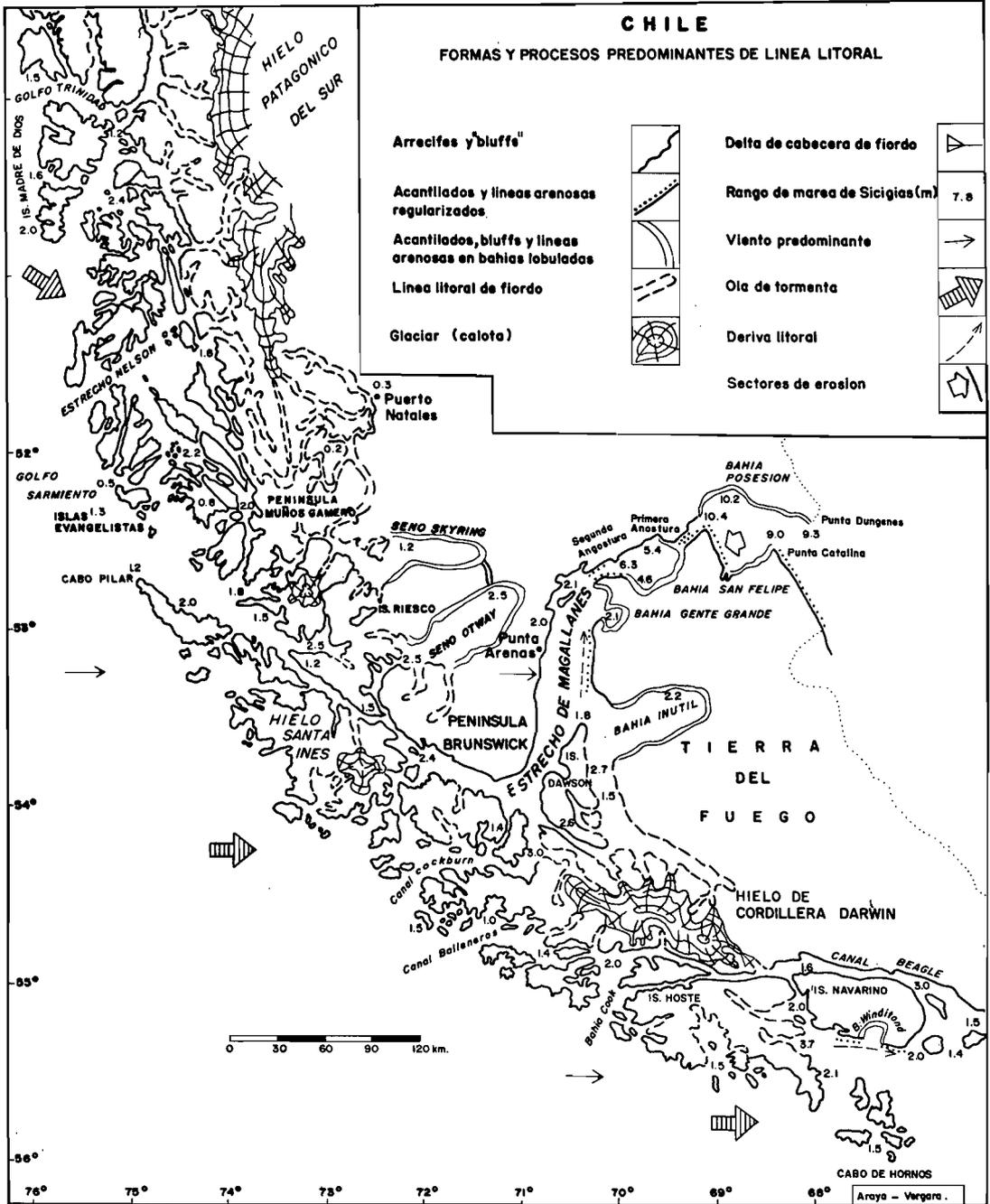
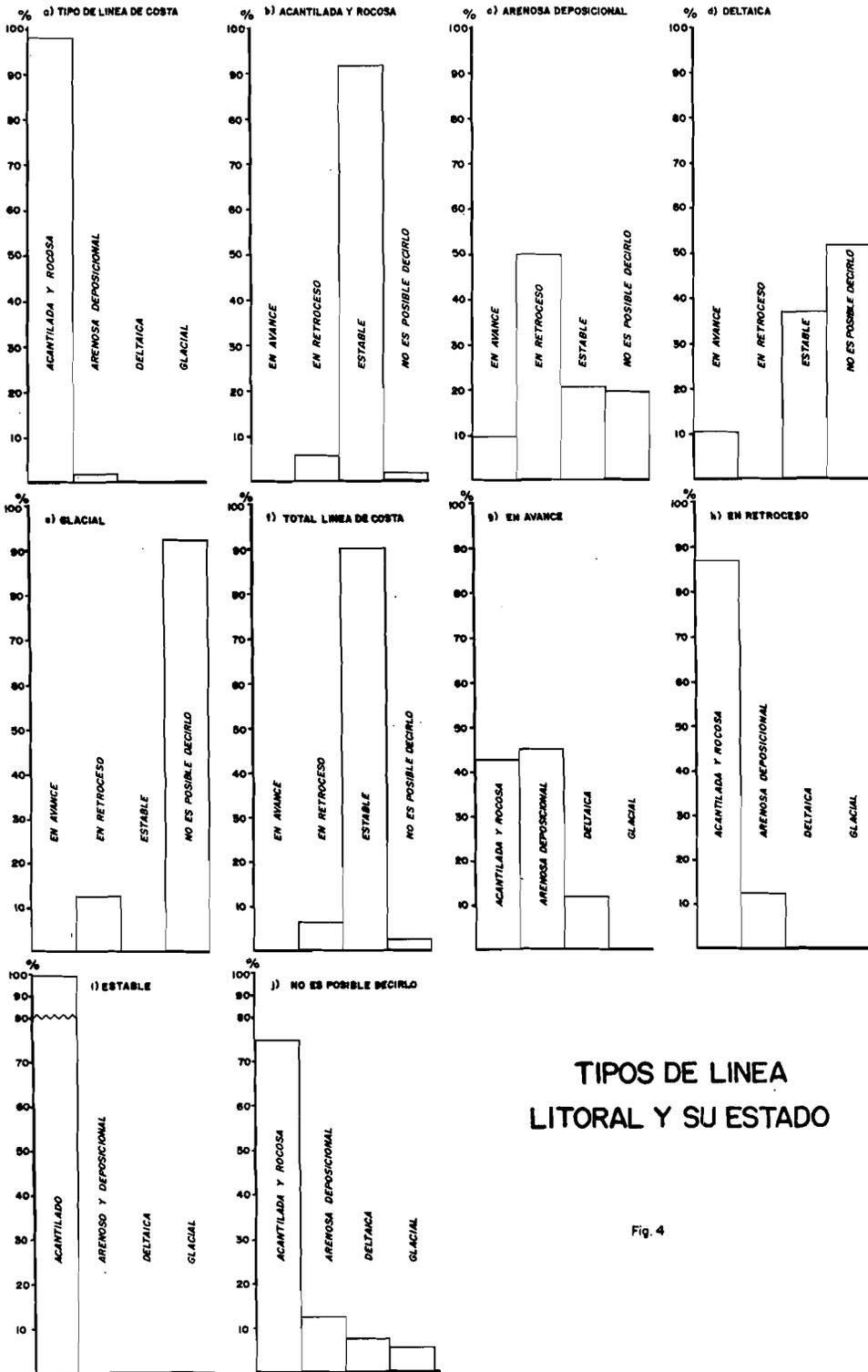


FIG. 3



TIPOS DE LINEA LITORAL Y SU ESTADO

Fig. 4