

## SOBRE LA EVOLUCION GEOMORFOLOGICA DEL GRAN ACANTILADO COSTERO DEL NORTE GRANDE DE CHILE

Dr. ROLAND PASKOFF (\*)

Universidad de Lyon II (Francia) y  
Universidad de Túnez (Túnez).

### ABSTRACT

About the geomorphic Evolution of the high Cliff along the arid Coast of Chile. The marine Cliff of northernmost Chile, about 700 m high and 800 km long, represents a major geomorphic feature of the Earth. North of Iquique it is still an active Cliff retreating under wave action but elsewhere it is an abandoned Cliff with a wave cut Platform lying at its foot. The high Cliff probably derives from important Fault Scarps of Upper Miocene age which have retreated during a major Middle to Upper Pliocene Transgression. It has been only slightly modified by glacio-eustatic oscillations of Sea level during Quaternary times. Persistent aridity in spite of some more humid periods also accounts for its good preservation. There is evidence supporting a post Pliocene Subsidence of the coastal Area.

### RESUMEN

El gran acantilado costero del desierto del Norte de Chile, que se extiende sobre más de 800 km de largo y tiene una altura de 700 m en promedio, representa un rasgo geomorfológico mayor del Globo. El norte de Iquique es, por lo general, un acantilado activo que las olas del Océano hacen retroceder; al sur de esta ciudad, una terraza marina emergida se interpone entre su pie y la costa actual. El gran acantilado deriva probablemente de grandes fallas verticales, aparecidas en el Mioceno Superior, que han retrocedido por efecto de la erosión marina durante una importante transgresión en el Plioceno Medio a Superior. El gran acantilado ha sido poco modificado por las variaciones glacio-eustáticas del nivel del Océano durante el Cuaternario. La ocurrencia de épocas caracterizadas por chubascos más frecuentes que en la actualidad, no ha alterado verdaderamente la tendencia árida que ha prevalecido desde fines del Terciario y que explica la buena conservación del acantilado. Hay evidencias en favor de una subsidencia de la zona costera durante el Cuaternario.

### INTRODUCCION

Entre Arica (18° 29' S) y Taltal (25° 26' S), sobre más de 800 km, la costa del Norte de Chile se caracteriza por la existencia de un acantilado de orientación Norte-Sur, cuya altura sobrepasa casi siempre los 500 m y que alcanza en algunos casos hasta 2.000 m. En promedio, la desnivelación es del orden de 700 m. Ya que este acantilado ha sido labrado por el mar se puede hablar, usando la terminología propuesta por

(\*) Dirección del autor: Roland Paskoff, Département de Géographie, Université de Tunis, 94, Boulevard du 9 Avril 1938, Tunis (Túnez).

Guilcher (1966), de mega-acantilado. Por su longitud y su altura, el acantilado costero, que limita hacia el Oeste el desierto del Norte Grande, constituye un rasgo geomorfológico mayor a la escala del Globo. Se encuentra en un margen activo, al contacto de un océano profundo y de un gran continente caracterizado por la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa de América del Sur (Scholl *et al.*, 1970; Rutland, 1971). El estudio de la formación y de la evolución del acantilado costero del Norte Grande de Chile puede ayudar a entender mejor las modalidades de esta convergencia.

## LA CORDILLERA DE LA COSTA

La Cordillera de la Costa es, al lado de la Cordillera de los Andes propiamente tal y la Depresión Longitudinal (Pampa del Tamarugal), una de las tres unidades morfoestructurales de orientación meridiana que constituye el Norte de Chile (fig. 1). Aparece a partir de Arica y alcanza en promedio unos 50 km de ancho. Las cumbres se sitúan alrededor de los 1.500 m, pero pueden sobrepasar los 3.000 m en la Sierra Vicuña Mackenna (24° 30' S). Sin embargo, el relieve no corresponde al relieve de una montaña: la topografía aparece poco accidentada, con cuencas rellenadas y cerros aplanados. La red de las quebradas presenta un trazado incipiente. Solamente algunos cursos de agua provenientes de la alta cordillera atraviesan por sobreimposición la Cordillera de la Costa en gargantas profundas: tres entre Arica e Iquique (20° 13' S), uno solo, el Río Loa, entre Iquique y Taltal, es decir, sobre una distancia de alrededor de 600 km. El flanco rectilíneo y abrupto de la Cordillera de la Costa del lado del océano contrasta con un contacto sinuoso y a veces poco marcado del lado de la Depresión Longitudinal.

La geología de la Cordillera de la Costa es conocida en sus grandes líneas (Zeil, 1964; Ruiz, 1965; Corvalán, 1965; Cecioni, 1970; Muñoz-Cristi, 1973). En general afloran dos categorías de rocas: por una parte espesas acumulaciones volcánico-sedimentarias, marinas y continentales de edad mesozoica, esencialmente jurásicas; por otro lado, grandes batolitos granodioríticos que datan del Jurásico superior. Restos de un basamento antiguo afloran cerca de Antofagasta (23° 40' S), particularmente en la península de Mejillones. Durante las fases tectónicas sucesivas estas rocas no han sido verdaderamente plegadas, sino solamente deformadas. Han sido fundamentalmente falladas. Al Norte del Río Loa (21° 25' S) aparecen fallas Norte-Sur, cortadas por accidentes Este-Oeste más recientes (Mortimer y Sarić, 1972). Entre Tocopilla (22° 6' S) y Antofagasta la orientación más frecuente varía entre el Noreste y el Noroeste. Al Sur de Antofagasta predomina la dirección Norte-Sur. De hecho la Cordillera de la Costa del Norte de Chile muestra un accidente muy importante, la "Atacama fault zone" (Allen, 1975), que se puede seguir desde Copiapó (27° S) hasta cerca de Iquique, es decir, sobre más de 700 km (Arabasz, 1970). Se trata de un conjunto de fallas que han conocido fundamentalmente movimientos verticales y que tienen una expresión topográfica (Okada, 1971). Desde fines del Cretácico la evolución de la Cordillera ha sido una evolución continental. Según Mortimer y Sarić (1976), una larga fase de pediplanación durante el paleogeno ha conducido a la elaboración de un aplanamiento extenso (Coastal Tarapaca Pediplain). Este aplanamiento ha sido desnivelado a fines del Oligoceno o a principios del Mioceno, época a partir de la cual aparece la división tripartita del Norte de Chile. Durante el Neogeno una tectónica de falla da a la Cordillera de la Costa una topografía de bloques y

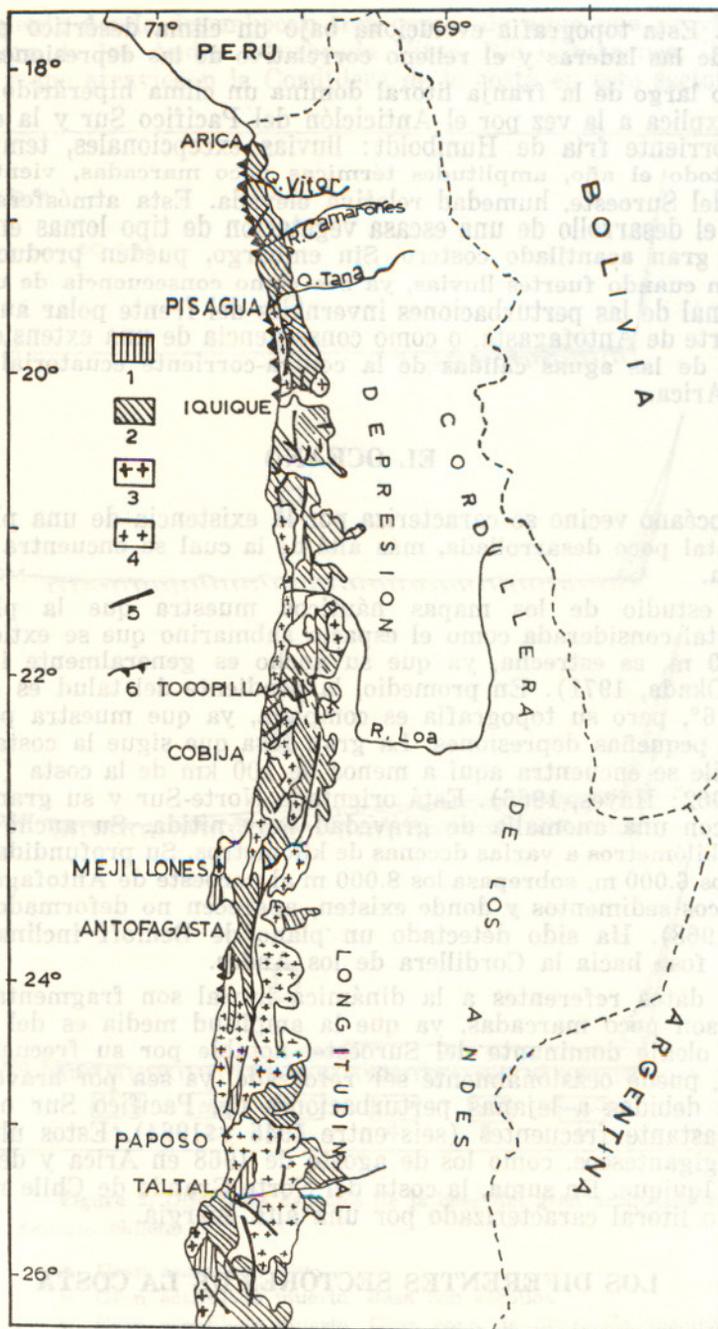


Figura 1: La Cordillera de la Costa en el Norte Grande de Chile: Croquis de localización y esbozo estructural (según el Mapa Geológico de Chile 1/1.000.000 simplificado).

- 1.—Rocas metamórficas primarias y precámbricas.
- 2.—Rocas volcánico-sedimentarias mesozoicas.
- 3.—Granitos primarios.
- 4.—Granitos mesozoicos.
- 5.—Líneas de falla.
- 6.—Gran acantilado vivo.

de fosas. Esta topografía evoluciona bajo un clima desértico por el retroceso de las laderas y el relleno correlativo de las depresiones.

A lo largo de la franja litoral domina un clima hiperárido nebuloso que se explica a la vez por el Anticiclón del Pacífico Sur y la existencia de la corriente fría de Humboldt: lluvias excepcionales, temperaturas frescas todo el año, amplitudes térmicas poco marcadas, vientos dominantes del Suroeste, humedad relativa elevada. Esta atmósfera húmeda permite el desarrollo de una escasa vegetación de tipo lomas en la parte alta del gran acantilado costero. Sin embargo, pueden producirse muy de vez en cuando fuertes lluvias, ya sea como consecuencia de un avance excepcional de las perturbaciones invernales del frente polar austral hasta el Norte de Antofagasta, o como consecuencia de una extensión estival anormal de las aguas cálidas de la contra-corriente ecuatorial hasta el Sur de Arica.

## EL OCEANO

El océano vecino se caracteriza por la existencia de una plataforma continental poco desarrollada, más allá de la cual se encuentra una fosa profunda.

El estudio de los mapas náuticos muestra que la plataforma continental considerada como el espacio submarino que se extiende hasta —200 m, es estrecha, ya que su ancho es generalmente inferior a 5 km (Okada, 1971). En promedio, la pendiente del talud es del orden de 5° a 6°, pero su topografía es compleja, ya que muestra peldaños y también pequeñas depresiones. La gran fosa que sigue la costa de Perú y de Chile se encuentra aquí a menos de 100 km de la costa (Fischer y Raitt, 1962; Hayes, 1966). Está orientada Norte-Sur y su gran eje concuerda con una anomalía de gravedad muy nítida. Su ancho varía de algunos kilómetros a varias decenas de kilómetros. Su profundidad, del orden de los 6.000 m, sobrepasa los 8.000 m al noroeste de Antofagasta. Contiene pocos sedimentos y donde existen, aparecen no deformados (Scholl *et al.*, 1968). Ha sido detectado un plano de Benioff inclinado a 28° desde la fosa hacia la Cordillera de los Andes.

Los datos referentes a la dinámica litoral son fragmentarios. Las mareas son poco marcadas, ya que la amplitud media es del orden de 1 m. El oleaje dominante del Suroeste, notable por su frecuencia y su potencia, puede ocasionalmente ser reforzado, ya sea por bravezas, tempestades debidas a lejanas perturbaciones del Pacífico Sur o por *tsunamis* bastante frecuentes (seis entre 1946 y 1964). Estos últimos son a veces gigantescos, como los de agosto de 1968 en Arica y de mayo de 1877 en Iquique. En suma, la costa del Norte Grande de Chile representa un medio litoral caracterizado por una alta energía.

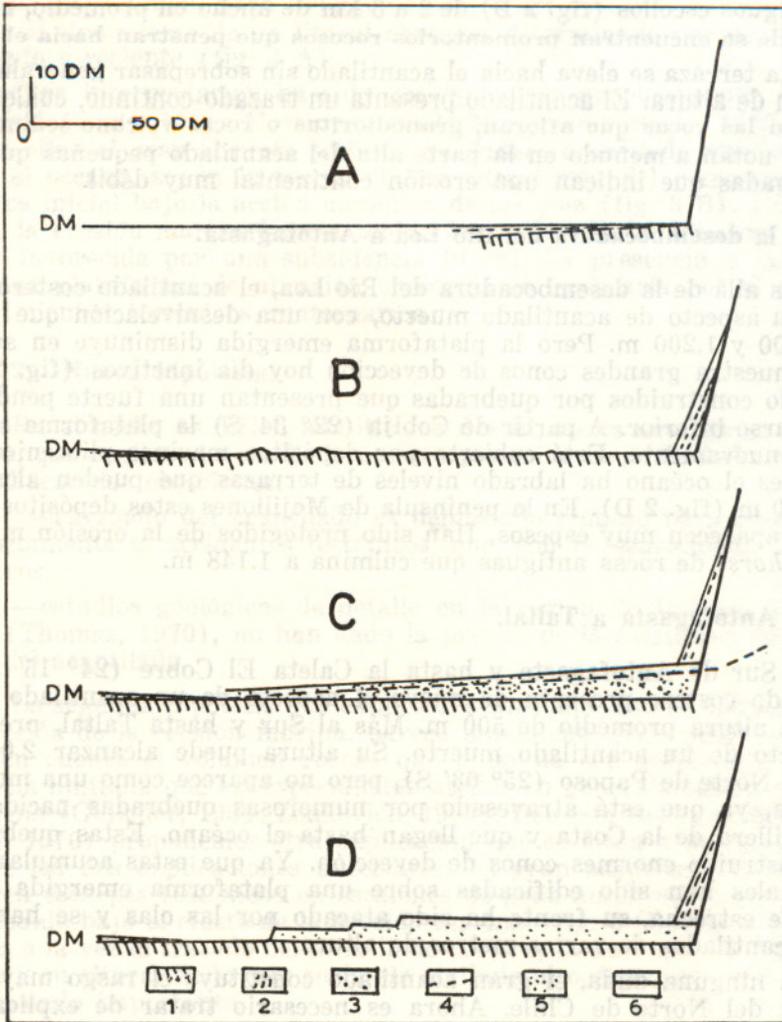
## LOS DIFERENTES SECTORES DE LA COSTA

La costa del desierto chileno entre Arica y Taltal puede dividirse en varios sectores.

### De Arica a Iquique.

El acantilado costero, cuya altura varía entre 400 y 1.000 m, según los lugares, retrocede bajo la acción de las olas (fig. 2 A), salvo entre los 19° 15' y 19° 40', donde una plataforma emergida se interpone entre su pie y el litoral rocoso actual. La parte superior del acantilado muestra quebradas colgadas. La continuidad de la muralla es interrumpida

vida solamente donde desembocan tres cursos de agua que provienen de la Cordillera de los Andes (Quebrada Vitor, Río Camarones, Quebrada de Tana) y que atraviesan la Cordillera de la costa en este sector.



**Figura 2:** Diferentes aspectos de la base del gran acantilado costero del desierto chileno.

- A Gran acantilado vivo.
- B Gran acantilado muerto. Rasa con escollos.
- C Gran acantilado muerto. Gran cono de deyección inactivo descansando sobre la rasa.
- D Gran acantilado muerto. Terrazas cuaternarias escalonadas labradas en depósitos marinos pliocénicos.

- 1.—Plataforma de abrasión marina.
- 2.—Escombros de falda.
- 3.—Deyecciones torrenciales.
- 4.—Lecho de quebrada.
- 5.—Depósitos marinos pliocénicos.
- 6.—Depósitos marinos cuaternarios.

### Entre Iquique y la desembocadura del Río Loa.

El acantilado costero presenta el aspecto de un acantilado muerto, menos abrupto que en el sector anterior. A su pie se extiende una terraza con antiguos escollos (fig. 2 B) de 2 a 3 km de ancho en promedio, menos allí donde se encuentran promontorios rocosos que penetran hacia el mar.

Esta terraza se eleva hacia el acantilado sin sobrepasar generalmente los 50 m de altura. El acantilado presenta un trazado continuo, cualquiera que sean las rocas que afloran, granodioritas o rocas volcano-sedimentarias. Se notan a menudo en la parte alta del acantilado pequeñas quebradas colgadas que indican una erosión continental muy débil.

### De la desembocadura del Río Loa a Antofagasta.

Más allá de la desembocadura del Río Loa, el acantilado costero conserva su aspecto de acantilado muerto, con una desnivelación que varía entre 500 y 1.200 m. Pero la plataforma emergida disminuye en su ancho y muestra grandes conos de deyección hoy día inactivos (fig. 2 C). Han sido construidos por quebradas que presentan una fuerte pendiente en su curso inferior. A partir de Cobija (22° 34' S) la plataforma se ensancha nuevamente. Está cubierta por depósitos marinos pliocénicos en los cuales el océano ha labrado niveles de terrazas que pueden alcanzar unos 100 m (fig. 2 D). En la península de Mejillones estos depósitos pliocénicos aparecen muy espesos. Han sido protegidos de la erosión marina por un *horst* de rocas antiguas que culmina a 1.148 m.

### De Antofagasta a Taltal.

Al Sur de Antofagasta y hasta la Caleta El Cobre (24° 15' S) el acantilado costero presenta de nuevo el aspecto de un acantilado vivo, con una altura promedio de 500 m. Más al Sur y hasta Taltal, presenta el aspecto de un acantilado muerto. Su altura puede alcanzar 2.000 m como al Norte de Paposo (25° 03' S), pero no aparece como una muralla continua, ya que está atravesado por numerosas quebradas nacidas en la Cordillera de la Costa y que llegan hasta el océano. Estas quebradas han construido enormes conos de deyección. Ya que estas acumulaciones torrenciales han sido edificadas sobre una plataforma emergida generalmente estrecha, su frente ha sido atacado por las olas y se han formado acantilados de varios metros de altura.

Sin ninguna duda, el gran acantilado constituye el rasgo mayor de la costa del Norte de Chile. Ahora es necesario tratar de explicar su génesis y su evolución.

## EL ORIGEN DEL GRAN ACANTILADO COSTERO

### 1.—Hipótesis anteriores.

Brüggen (1950) fue el primero en proponer una interpretación del gran acantilado: correspondería, fundamentalmente, a un gran escarpe de falla muy joven y poco transformado por la erosión. En el hecho no se trataría de un solo accidente, sino de un conjunto de fallas con fuertes rechazos verticales, dispuestos en escalones y en forma de peldaños. Tal disposición estructural explicaría el acantilado vivo muy alto que caracteriza la costa entre Arica e Iquique. Con este punto de vista se podría también explicar el espacio emergido que al Sur de Iquique separa el pie del acantilado de la orilla rocosa actual. Este caso se presenta cuando un peldaño fallado en la base del gran abrupto ocupa una posi-

ción altimétrica cercana al nivel del océano que ha podido cubrirlo y en algunos casos retocararlo. Una edad cuaternaria es propuesta para estas estructuras, ya que depósitos continentales atribuidos de manera equivocada al Cuaternario aparecen, en algunos casos, recortados por el acantilado. En resumen, para Brüggén la costa del desierto chileno representaría el tipo mismo de un litoral abrupto, determinado por una tectónica potente y reciente (fig. 3 A).

Otra interpretación ha sido recientemente propuesta por Mortimer y Sarić (Sarić, 1971; Mortimer, 1972; Mortimer y Sarić, 1972 y 1976). Para ellos, el gran abrupto sería un verdadero acantilado marino labrado por el océano, según la teoría clásica. Resultaría del retroceso de una ladera inicial bajo la acción mecánica de las olas (fig. 3 B). En lo esencial, la erosión marina habría tenido lugar durante el Plioceno y habría sido favorecida por una subsidencia litoral. La presencia o la ausencia de una plataforma de abrasión emergida se explicaría por el efecto de movimientos tectónicos cuaternarios.

## 2.—Nueva hipótesis.

En el hecho es difícil admitir las dos hipótesis anteriores. A la primera, que explica el acantilado costero por un escarpe de falla, se le pueden hacer dos objeciones:

—el trazado del acantilado es demasiado sinuoso para corresponder directamente a accidentes tectónicos, que son necesariamente más rectilíneos.

—estudios geológicos de detalle en la región de Iquique, por ejemplo (Thomas, 1970), no han dado la prueba de la existencia de fallas al pie del acantilado.

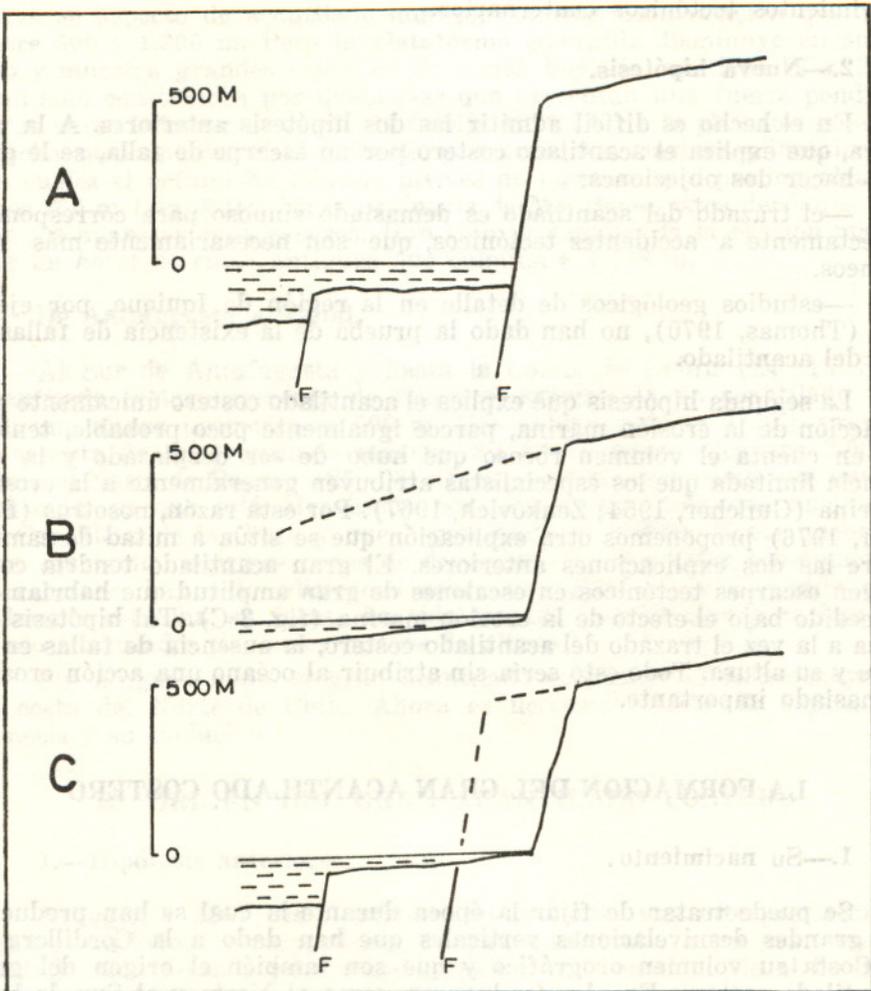
La segunda hipótesis que explica el acantilado costero únicamente por la acción de la erosión marina, parece igualmente poco probable, teniendo en cuenta el volumen rocoso que hubo de ser desplazado y la eficiencia limitada que los especialistas atribuyen generalmente a la erosión marina (Guilcher, 1954; Zenkovich, 1967). Por esta razón, nosotros (Paskoff, 1976) proponemos otra explicación que se sitúa a mitad de camino entre las dos explicaciones anteriores. El gran acantilado tendría como origen escarpes tectónicos en escalones de gran amplitud que habrían retrocedido bajo el efecto de la erosión marina (fig. 3 C). Tal hipótesis explica a la vez el trazado del acantilado costero, la ausencia de fallas en su base y su altura. Todo esto sería sin atribuir al océano una acción erosiva demasiado importante.

## LA FORMACION DEL GRAN ACANTILADO COSTERO

### 1.—Su nacimiento.

Se puede tratar de fijar la época durante la cual se han producido las grandes desnivelaciones verticales que han dado a la Cordillera de la Costa su volumen orográfico y que son también el origen del gran acantilado costero. En algunos lugares, como al Norte y al Sur de Iquique, este acantilado corta espesos depósitos continentales, detríticos, evaporíticos y volcánicos, que Brüggén (1950) había atribuido al Cuaternario. En el hecho, se han acumulado en depresiones cerradas durante la importante fase de pediplanación que en el Terciario, probablemente en el Oligo-Mioceno, ha precedido la formación de las grandes unidades actuales del relieve. Un corte muy interesante (fig. 4) ha sido descrito

en Pisagua (19° 35' S) por Silva (1977). Muestra depósitos que tienen espesores aquí de más de 200 m, cortados por el alto acantilado y atrás de él, por una falla de dirección Norte-Sur, que tiene más de 400 m de rechazo. Ahora bien, en el medio de estos depósitos se encuentra un nivel ignimbrítico cuya datación por el método del Potasio/Argón dio una edad de 21.3 millones de años  $\pm$  0,3 (Mortimer *et al.*, 1974), o sea, correspondiente al Mioceno inferior. Entonces, es a fines del Mioceno o a más tardar a principios del Plioceno, exactamente como en el caso de Chile semi-árido más al Sur (Paskoff, 1970), donde se ubica una fase tectónica de gran amplitud en extensión. Ella es responsable de las grandes fallas meridianas, como es el caso de la falla de Pisagua, que van a fijar en sus grandes líneas la posición del litoral en el Norte de Chile. Las fallas Este-Oeste, con rechazos menos marcados que al Norte del río Loa, recortan las fallas Norte y Sur, son más recientes y explican ciertas irregularidades de la costa.



**Figura 3:** Diferentes hipótesis a propósito del origen del gran escarpe costero del desierto chileno.

A Según Brügger (1950).

B Según Mortimer y Saric (1972).

C Según Paskoff (1976).

## 2.—Su retroceso.

Una importante transgresión marina se evidencia en la costa del Norte de Chile a partir del Plioceno Medio (Herm, 1969). Sin lugar a dudas ha desempeñado un papel esencial en el retroceso de los grandes escarpes de fallas litorales aparecidos a fines del Mioceno. No existen indicios que permitan calcular con precisión este retroceso, pero el ancho de la plataforma continental, por una parte, y el ancho de la terraza de abrasión que se encuentra al pie del acantilado en algunos lugares, por otra parte, permiten hacer una evaluación. Este retroceso ha podido ser del orden de 6 a 7 km. Es el que ha transformado los escarpes tectónicos en verdaderos acantilados.

La elevación progresiva y continua del nivel del océano ha cancelado el efecto de frenaje sobre las olas que hubiera ejercido el ensanchamiento de la plataforma de abrasión si el nivel marino hubiese quedado fijo. Otros factores favorables al retroceso del acantilado han sido la duración de la transgresión del Plioceno medio a superior y el medio litoral caracterizado por una alta energía. En algunos lugares los depósitos de areniscas blandas fosilíferas (Formación de Coquimbo) indican esta transgresión, resultando poco desarrollados al Sur de Iquique (Caleta Caramucho 20° 42' S) y al Norte de Taltal (Las Losas 25° 07' S). Los afloramientos del Plioceno marino son, al contrario, extensos y potentes al Norte de Antofagasta, desde la Caleta Gatico (22° 30' S) hasta la península de Mejillones (Herm, 1969).

Así se puede pensar que el gran acantilado costero del Norte de Chile existía ya a fines del Plioceno cuando empezó una importante regresión (Herm, 1970). Ha sido solamente retocado durante el Cuaternario.

## LA EVOLUCION DURANTE EL CUATERNARIO

### 1.—Los ciclos marinos glacioeustáticos.

Investigaciones llevadas a cabo más al Sur, a lo largo de la costa de Chile semi-árido, han mostrado que seis ciclos marinos, muy probablemente de origen glacioeustático (cada uno caracterizado por una transgresión seguida por una regresión), han caracterizado el Cuaternario (Herm y Paskoff, 1967). El resultado final ha sido una regresión respecto a la orilla alcanzada durante el máximo de la transgresión pliocénica. Alrededor de la Bahía Chiquinata (30° S), región conocida por su estabilidad relativa (Paskoff, 1970), los ciclos marinos pleistocénicos han labrado en la areniscas marinas pliocénicas cinco terrazas de abrasión escalonadas entre los 120 m de altitud y la playa actual, y separadas entre ellas por acantilados muertos.

Los sectores de la costa del desierto chileno que muestran un sistema semejante de terrazas escalonadas son excepcionales. Por ejemplo, al Sur de Iquique varios niveles de origen marino presentan una disposición en peldaños en la Bahía Chiquinata (20° 10' S), Caleta Toyos (20° 25' S), Caleta Caramucho (20° 39' S) y Punta Patache (20° 48' S). En este último lugar son claramente visibles cuatro niveles: a 80 m al pie del gran acantilado, a 40 m, a 20 m y a 5 m. Se encuentran también terrazas de abrasión escalonadas al Sur de Tocopilla, desde la Caleta Gatico (22° 30' S) hasta la península de Mejillones. En la playa de Los Hornos (22° 55' S) Herm (1969) ha descrito cuatro plataformas labradas en las areniscas marinas pliocénicas y que culminan a 95 m, 55 m,

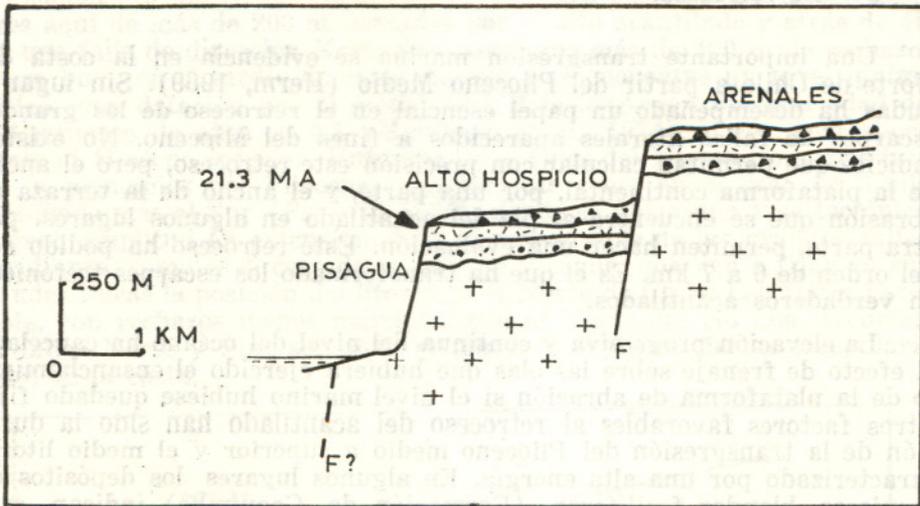


Figura 4: El corte de Pisagua, según Silva (1977). Explicación en el texto.

45 m y 8 m. Este autor las atribuye, respectivamente, al Serenense I, Serenense II (Cuaternario antiguo), Herradurensense I (Cuaternario medio) y Cachagüense (Cuaternario reciente). El nivel más bajo ha sido reocupado por el océano en el momento del máximo de la transgresión holocénica y parcialmente emergido desde entonces.

Con la excepción de los sectores que acaban de ser indicados, en todos los lugares donde el gran acantilado costero queda fuera del alcance de las olas, una sola plataforma de abrasión marina se extiende entre su pie y la costa actual (fig. 5). Esta plataforma pertenece a la categoría de las *rasas* del primer tipo si se usa la terminología propuesta por Guilcher (1974). Sin embargo, presenta algunas imperfecciones. Generalmente es poco colgada del lado del océano (algunos metros por lo general) y en algunos casos se inclina sin ruptura de pendiente hasta la costa rocosa actual. El pequeño abrupto externo corresponde casi siempre a un acantilado muerto que domina un bajo nivel holocénico emergido y muy raras veces a un acantilado vivo. Esta *rasa* presenta características morfológicas bien definidas, como son su continuidad, interrumpida solamente por algunos promontorios rocosos, su ancho variable de uno a varios kilómetros y su altura raras veces superior a 50 m. A menudo su topografía es accidentada por roqueríos, de aspecto ruñiforme, y a veces cubiertos de guano fósil, que corresponden a antiguos escollos. El origen marino de la *rasa* es probado por depósitos poco potentes de formaciones de playas que contienen arena, rodados y conchas.

¿Cuál es la edad de esta plataforma? Es razonable suponer que es policrónica. Formada fundamentalmente por el retroceso del gran acantilado durante la importante transgresión del Plioceno medio a superior, ha sido probablemente retocada varias veces durante las pulsaciones transgresivas del Cuaternario antiguo y del Cuaternario medio. Durante estas pulsaciones transgresivas, el gran acantilado probablemente ha retrocedido; pero, como han sido breves, el retroceso durante el Pleistoceno ha sido seguramente limitado. En la playa de Los Hornos (22° 55' S). por ejemplo, se puede considerar que ha sido nulo, ya que los depósitos pliocénicos se encuentran al pie mismo del acantilado.

## 2.—Los movimientos tectónicos.

Con la excepción de la península de Mejillones, sobre la cual se hablará más adelante, es muy notable constatar que en la franja costera del Norte de Chile ninguna falla tiene una expresión topográfica, como lo ha mostrado el trabajo en terreno y el estudio de las fotografías aéreas. El hecho había sido ya notado por Mortimer y Sarić (1972) en la región de Iquique. Las mismas fallas que en la Cordillera de la Costa se traducen en escarpes, aparecen solamente como cicatrices en la plataforma que se extiende al pie del acantilado. Esta observación indica que estos accidentes son anteriores a la elaboración final de la *rasa* y que no se han movido recientemente.



Figura 5: Plataforma de abrasión con escollos de tipo *rasa* al pie del gran acantilado costero del Norte de Chile; en el segundo plano, cono de deyección disectado por la Quebrada Iquique (21° 42' S).

En cambio, como lo indican las variaciones de su altura máxima, la plataforma ha sido afectada por movimientos de gran radio de curvatura. Tales deformaciones explican su desaparición entre Arica e Iquique y, sobre una corta distancia, al Sur de Antofagasta, donde el abrupto costero evoluciona todavía hoy día como un acantilado vivo. Además, la comparación con la posición altitudinal y el número de terrazas marinas cuaternarias en un sector litoral ubicado más al Sur, entre 30° y 33° S, en el cual alternan segmentos bastante estables y otros fuertemente solevados (Paskoff, 1970), hace aparecer que toda lo costa del Norte de Chile, entre Arica y Taltal, ha sido probablemente afectada por una subsidencia moderada, pero generalizada durante el Cuaternario.

Estas consideraciones no son válidas para la península de Mejillones. En este lugar, fallas verticales post-pliocénicas han provocado, por

el contrario, sollevamientos de varios centenares de metros (fig. 6). La deformación de las terrazas marinas cuaternarias es particularmente espectacular (Okada, 1971). Pero se trata de un caso excepcional.

### 3.—Los cambios climáticos.

Al Sur del Río Loa grandes conos de deyección han sido construidos sobre la plataforma emergida al pie del gran acantilado, en los lugares donde desembocan quebradas nacidas en la Cordillera de la Costa y que están profundamente encajonadas en su curso inferior. La fuerte ruptura de pendiente en la base del gran abrupto ha sido evidentemente un factor favorable para la acumulación de materiales detríticos (fig. 7). Generalmente se nota sólo un gran cono hoy día, disectado por los escurremientos muy episódicos. En su borde externo ha sido truncado por un acantilado, hoy día muerto, que ha sido modelado durante el máximo de la transgresión holocénica. En algunos casos un pequeño cono se encajona en el gran cono, que también está disectado, y en su frente el mar ha labrado un acantilado vivo. Es el caso, por ejemplo, de la desembocadura de la Quebrada Iquique (21° 42' S) o de la Quebrada Botija (24° 30' S). Excepcionalmente puede existir un pequeño cono actual (Quebrada Palo Parado, 25° 13' S).

Los grandes conos llaman la atención por su volumen. Son en algunos casos coalescentes. En este caso constituyen una rampa aluvial, como entre la Punta Urcú (21° 45' S) y el Cabo Paquica (21° 55' S).

Estos conos imponentes y cuyo material no está alterado, se encuentran muertos. Aparecen disectados y casi siempre truncados por un acantilado muerto en su borde externo. Su pendiente indica que su construcción guarda relación con un nivel del océano más bajo que el actual, que corresponde entonces a un período de regresión. Finalmente el estado de la superficie —un pavimento desértico con cantos barnizados— indica que no reciben aportes de materiales sino, por el contrario, pierden arena por deflación.

Es importante tratar de determinar la causa de la disección de estos grandes conos. Se piensa primero en el efecto de movimientos tectónicos de sollevamiento. Pero esta explicación parece poco verosímil, ya que el fenómeno es muy general y, por otra parte, se ha visto que la franja costera ha sido afectada por una subsidencia durante el Cuaternario. La erosión de los frentes de los conos (*toe trimming*; Williams, 1973) durante la transgresión del océano en el Holoceno, ha podido favorecer la disección por acentuación de la pendiente en el borde externo. Pero como se nota también una incisión en los conos que no han sido truncados, como por ejemplo al Sur de Cobija, esta causa no parece haber sido la única ni la más importante. Finalmente, la explicación climática parece la más satisfactoria. Se puede pensar con Lustig (1965) que las acumulaciones se han producido durante períodos de más fuertes precipitaciones, durante los cuales la relación caudal/carga era relativamente elevada, lo que permitía el transporte y depositación de los materiales detríticos llegados de las laderas. Por el contrario, la disección se ha producido cuando las lluvias han sido más localizadas y menos frecuentes. La relación caudal/carga baja provoca corrientes de barro capaces de una erosión a expensas de la acumulación anterior.

Parece entonces que los grandes conos de la franja litoral del desierto chileno, hoy día inactivos, tienen un origen climático. Indican la ocurrencia de un período con chubascos más frecuentes que hoy día que ha afectado la Cordillera de la Costa desde la desembocadura del río Loa hacia el Sur. Esta época más lluviosa no ha modificado fundamentalmente la tendencia árida del clima, pero ha activado durante cierto tiem-

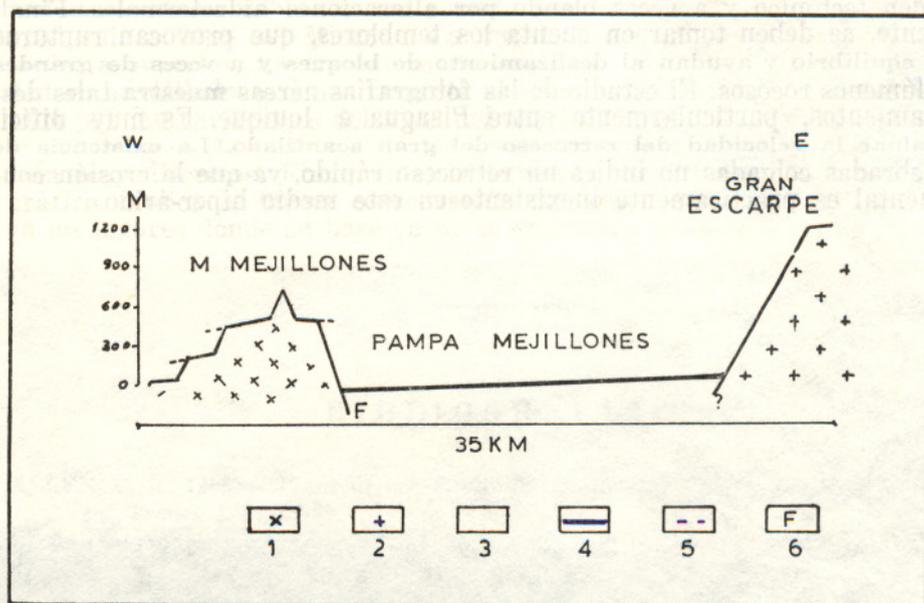


Figura 6: Corte esquemático a través de la península de Mejillones.

- 1.—Rocas antiguas.
- 2.—Granodiorita jurásica.
- 3.—Plioceno marino. Formación de Coquimbo.
- 4.—Depósitos marinos cuaternarios.
- 5.—Terrazas de abrasión marina.
- 6.—Fallas.

po la erosión torrencial actualmente inactiva. Se puede explicar este aumento de las lluvias por un debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur y también quizás por una atenuación de las surgencias de aguas frías (*upwelling*) de la corriente de Humboldt (Tricart, *et al.*, 1969). Esta época más lluviosa parece haberse producido durante la segunda mitad del Würm-Wisconsin, ya que al Sur de Antofagasta, en la Bahía Coloso (23° 45' S), el gran cono torrencial descansa sobre depósitos de playa que han sido fechados por el método del Carbono 14 en 37.200, +2.200 —1.600 años B. P. (Paskoff, 1973).

En lo que se refiere a los pequeños conos a veces encajonados dentro de los grandes conos, ellos indican muy probablemente una leve recurrencia de los chubascos durante el Holoceno.

### LA EVOLUCION ACTUAL DEL GRAN ACANTILADO

En los lugares donde su base está al alcance de las olas, el gran abrupto presenta una pendiente casi vertical y evoluciona como un acantilado marino. El papel de la acción mecánica de las olas es difícil de evaluar. A propósito de los grandes acantilados de Irlanda, Guilcher (1966) piensa que el impacto de las olas es insuficiente para explicar su retroceso. Piensa que se produce una fisuración de la pared rocosa debido a fenómenos de disminución de la compresión. En el caso del acantilado del Norte de Chile, el material está ya muy fisurado por razones de

orden tectónico y a veces blando por alteraciones hidrotermales. Finalmente, se deben tomar en cuenta los temblores, que provocan rupturas de equilibrio y ayudan al deslizamiento de bloques y a veces de grandes volúmenes rocosos. El estudio de las fotografías aéreas muestra tales deslizamientos, particularmente entre Pisagua e Iquique. Es muy difícil evaluar la velocidad del retroceso del gran acantilado. La existencia de quebradas colgadas no indica un retroceso rápido, ya que la erosión continental es prácticamente inexistente en este medio hiper-árido.

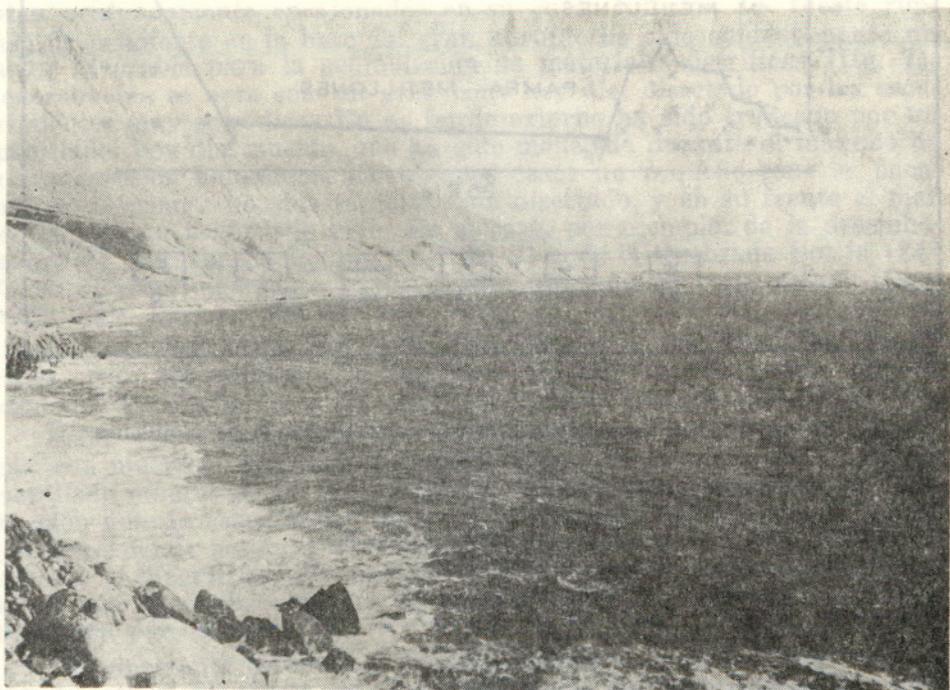


Figura 7: Cono de deyección disectado al pie del gran acantilado costero del Norte de Chile; aparece truncado por un acantilado muerto labrado en la época del máximo de la transgresión holocénica (Punta Mal Paso 22°S).

Allí donde corresponde un acantilado muerto, el gran abrupto costero tiene una pendiente menos fuerte y se encuentran escombros en su base. En estos escombros los cortes muestran capas alternadas de pequeños cantos de arena con costras de sales. Este tipo de depósito coluviológico, ya descrito por Dollfus (1965) a lo largo del litoral peruano, continúa probablemente formándose en la actualidad. Grandes bloques que en algunos lugares se encuentran al pie del acantilado, se han derrumbado durante fuertes temblores. Los terremotos han provocado también deslizamientos, como el deslizamiento señalado por Thomas (1970) al Sur de Iquique, cerca de la Caleta Sarmentia (20° 27' S). Fenómenos de haloclastia afectan la pared rocosa (Mortensen, 1927). Se encuentran más alvéolos que verdaderos *taffonis*.

#### CONCLUSION

El gran acantilado costero, rasgo geomorfológico mayor del litoral del Norte Grande de Chile, tiene un origen relativamente antiguo. En un comienzo corresponde a un conjunto de escarpes de fallas de orien-

tación meridiana debido a una potente tectónica en extensión, que se ha producido a fines del Mioceno. La importante transgresión del Plioceno medio a superior, ha transformado estos escarpes de fallas en un verdadero acantilado marino. Durante el Cuaternario, ha sido apenas retocado por las variaciones del nivel del océano, a pesar de una tendencia a la subsidencia. Los efectos de las oscilaciones climáticas han sido también muy discretos. Finalmente, la tendencia muy árida del medio geográfico explica la buena conservación del gran acantilado costero, aún en los lugares donde su base ya no se encuentra al alcance de las olas.

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, C. R., 1965.—“Transcurrent Faults in Continental Areas”, *Royal Philosophical Trans.*, 258: 82-89.
- ARABASZ, W. J., 1970.—“Geological and Geophysical Studies of the Atacama Fault Zone in Northern Chile”, Ph. Diss. Calif. Institute of Technology.
- BRÜGGEN, J., 1950.—*Fundamentos de la Geología de Chile*. Instituto Geográfico Militar, Santiago, 374 p.
- CECIONI, G., 1970.—*Esquema de Paleografía chilena*. Editorial Universitaria, Santiago, 143 p.
- CORVALAN, J., 1965.—Capítulo “Geología”, in *Geografía Económica de Chile* (Cap. III), Corporación de Fomento de la Producción, Santiago de Chile, 35-97.
- DOLLFUS, O., 1965.—“Les Andes Centrales du Pérou et leurs Piémonts (entre Lima et Péréné), Etudes Géomorphologique”. Thèse Lettres, Paris, 404 p.
- FISCHER, R. L. et RAITT, R. W. 1962.—“Topography and Structure of the Peru-Chile Trench”, *Deep Sea Research*, 9: 423-443.
- GUILCHER, A., 1954.—*Morphologie Littorale et Sous-marine*, Paris, 216 p.
- 1966.—“Les Falaises de Mégafalaises des Cotes Sud-ouest de l'Irlande”, *Ann. Géogr.*, 407: 26-38.
- 1974.—“Les Rasas”: un problème de Morphologie Littorale générale”, *Ann. Géogr.*, 455: 1-33.
- HAYES, D. E., 1966.—“A Geophysical Investigation of the Peru-Chile Trench”, *Marine Geol.*, 4: 309-351.
- HERM, D., 1969.—“Marines Pliozan un Pleistozan in Nord-und Mittel-Chile unter besonderer Berücksichtigung der Mollusken-Faunen”, *Mitteilungen Bayerischen Staatssamml., Hist. Geol.*, 10: 189-198. *Zitteliana*, 2, 1-159.
- 1970.—“*Bostryx variabilis* n. sp., eine Landschnecke aus dem Altpleistozan von Mejillones, Nordchile”, *Mitteilungen Bayerischen Staatssamml., Hist. Geol.* 10: 189-198.
- HERM, D. y PASKOFF, R. P., 1967.—“Vorschlag zur Gliederung der marinen Quartars in Nord-und Mittel-Chile”. *N. Jb. Geol., Palaontol, Min.*, 10: 577-588.
- LUSTIG, L. K., 1965, “Clastig Sedimentation in Deep Spring Valleys, California”, *U. S. Geol. Surv. Profess. Papers*, 352-F, 131-192.
- MORTENSEN, H., 1927.—*Der Formenschatz der Nordchilenischen Wüste*. Berlin, 191 p.
- MORTIMER, C., 1972.—“The Evolution of the Continental Margin of Northern Chile”, *24th Sess. Intern. Geol. Congress, Canada*, Section 8: 48-52.
- MORTIMER C., & SARIC, N., 1972.—“Landform Evolution in the Coastal Region Tarapaca Province, Chile”, *Rev. Géomorphol. Dynamique*, 21: 162-170.

- MORTIMER C., & SARIC, N., 1976.—“Cenozoic Studies in Northernmost Chile”, *Geol. Rundschau*, 65: 395-420.
- MORTIMER, C., FARRAR, E., y SARIC, N., 1974.—“K-Ar Ages from Tertiary Lavas of the Northernmost Chilean Andes”, *Geol. Rundschau*, 63: 484-490.
- MUÑOZ-CRISTI, J., 1973.—*Geología de Chile*, Santiago, 209 p.
- OKADA, A., 1971.—“On the Neotectonics of the Atacama Fault Zone Region; Preliminary Notes on Late Cenozoic Faulting and Geomorphic Development of the Coastal Range of Northern Chile”. *Bull. Dept. Geogr.*, Univ. of Tokyo, 3: 47-65.
- PASKOFF, R., 1970.—*Recherches Géomorphologiques dans le Chili semi-aride*, Bordeaux, Biscaye Frères, Imprimeurs, 420 p
- 1973.—“Radiocarbon Dating of Marine Shells taken from the North and Central Coast of Chile”, *IX Intern. INQUA Congress Abstracts*, Christchurch, 281-282.
- 1976.—“Su l'origine du grand escarpement cotier du désert chilien”, *XXIII Intern. Congress Abstracts*, Moscou 1, 207-211.
- RUIZ, C., 1965.—*Geología y yacimientos metalíferos de Chile*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, 305 p.
- RUTLAND, R. W. R., 1971.—“Andean Orogeny and Ocean Floor Spreading”, *Nature*, 233: 252-255.
- SARIC, N., 1971.—“Evolución Cenozoica de la Cordillera de la Costa en la Provincia de Tarapacá”. Tesis de título en Geología, Universidad de Chile, 176 p.
- SCHOLL, D. W., HUENE VON, y RIDLON, J. B., 1968.—“Spreading of the Ocean Floor: undeformed Sediments in the Peru-Chile Trench.”, *Science*, 159: 869-871.
- SCHOLL, D. W., CHRISTENSEN, M. N., HUENE VON, y MARLOW, M. S. 1970.—“Peru-Chile Trench Sediments and Sea-floor Spreading”, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 81: 1339-1360.
- SILVA, L. I., 1977.—Carta Geológica de Chile (Escala 1:100.000), Hojas Pisagua y Zapiga (I Región), Inst. de Invest. Geológicas, Santiago.
- THOMAS, A., 1970.—Carta Geológica de Chile (Escala 1:50.000), Cuadrángulos Iquique y Caleta Molle (Provincia de Tarapacá), Inst de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- TRICART, J., DOLLFUS, O., y CLOOTS-HIRSCH, A. R., 1969.—“Les études françaises du Quaternaire sud-américain”. *Bull. Ass. Franc. Et. Quat.* Suppl., 1969: 215-230.
- WILLIAMS, G. E., 1973.—“Late Quaternary Piedmont Sedimentation, Soil Formation and Paleoclimates in Arid South America”, *Zeit. Geomorphol.*, 17: 102-125.
- ZEIL, W., 1964.—*Geologie von Chile*, Gebrüder Borntrager, Berlin, 233 p.
- ZENKOVICH, V. P., 1967.—*Processes of Coastal Development*, Edimburgh, 738 p.

#### NOTA AL TRABAJO:

Este trabajo es una traducción de un artículo aparecido en 1978 en la revista canadiense *Géographie Physique et Quaternaire*, Vol. 32, Nº 4, 351-360. Aunque la política de la revista *Norte Grande* es recibir tan sólo artículos originales, la importancia del tema y el casi total desconocimiento de este trabajo en nuestro medio, nos indujo a publicarlo nuevamente, con la anuencia y pequeñas correcciones de su autor.

Nos permitimos hacer una corrección a un evidente lapsus del Editor canadiense en la Fig. 1 (página 9). El número 5 corresponde a “líneas de falla” y el número 6, a “gran acantilado vivo”. (N. del E.).