

## Caracterización de la erosión lineal en planicies costeras de Chile Central\*

CONSUELO CASTRO AVARIA  
PATRICIA VICUÑA VICUÑA

### RESUMEN

*Se precisan los aspectos relacionados con las condiciones de generación de procesos de erosión lineal en planicies litorales, sus rasgos geomorfológicos y su relación con actividades humanas. Las formas reconocidas son regueras, cárcavas y bad-lands que ocurren sobre formaciones superficiales de coberturas dunarias antiguas con cubierta vegetal y también sobre mantos de alteración de rocas cristalinas. El clima de tipo mediterráneo, con larga estación seca y un período invernal de lluvias concentradas, favorece la acción erosiva de la precipitación. Acciones humanas diversas contribuyen a acelerar o desencadenan los procesos erosivos; dichas acciones corresponden, por ejemplo, a la degradación de la cubierta vegetal protectora (por sobrepastoreo, pisoteo), construcción de caminos e infraestructura diversa en terrenos inestables. Se concluye que los procesos de erosión lineal son un fenómeno generalizado en las planicies costeras de Chile Central, y esto se debe a: las condiciones naturales favorables y a la acción humana desestabilizadora.*

### ABSTRACT

*Characterization of linear erosion in the coastal plains of Central Chile.*

*Some aspects related to the conditions which generate linear erosion processes in the coastal plains, their geomorphological characteristics, and their relation with man's activities, have been defined and discussed. The forms of erosion which have been isolated in this study are: rills, gullies and bad-lands which occurred in old stabilized dunes, and also in the superficially altered layers of crystalline rock formations. The mediterranean climate of the area, with long dry period and winter period of concentrated rainfall, favours the erosive action of the rain.*

*Diverse human activities, contribute to the initiation and acceleration of erosion processes. These activities include destruction of vegetation (overgrazing and trampling) and the construction of roads and other infrastructure, in instable areas. In conclusion, the erosion processes in the coastal plains of Central Chile are a common phenomenon, due to: favorable natural conditions and distabilizing human activities.*

### INTRODUCCION

La superficie de las planicies costeras de Chile Central sufre importantes procesos de erosión lineal que se manifiestan en regueras y cárcavas en suelos de uso forestal y agrícola, como también en áreas de asentamiento humano.

En la costa, dichas formas han sido reconocidas por diversos autores, como Castro (1977), que relaciona el apareamiento de regueras y cárcavas con ciertos umbrales de pendiente en las planicies entre Algarrobo y San Antonio; Andrade (1977) que efectúa un estudio similar en la zona costera de Papudo - Maitencillo; Andrade (1982), que explica los procesos de erosión lineal en relación a la presencia de caminos litorales en el sector de Laguna - Cachagua; Paz (1982) que define distintas formas de cárcavas en el cerro Centinela en la comuna de San Antonio; Vicuña (1987), quien precisa las condiciones de la erosión lineal en cubiertas dunarias antiguas que cubren sectores de las plani-

cias costeras en el litoral central. Recientemente, Andrade y Castro (1989a) han estudiado los procesos de erosión lineal en Llolleo y Barrancas y en las planicies entre Papudo y Reñaca (1989b).

De acuerdo a los autores citados, la erosión lineal observada en las planicies es de origen fundamentalmente antrópico. Los daños más representativos que está causando este fenómeno en la costa central corresponden a: pérdida del suelo, con la consecuente disminución de las áreas cultivadas y/o forestales, inestabilidad de las cubiertas dunarias antiguas favoreciendo su reactivación a partir de las áreas de erosión, riesgos de destrucción de caminos y de diversas instalaciones de equipamiento urbano, entre otros.

Por otra parte, las características morfoclimáticas de tipo mediterráneo de nuestra costa central crean condiciones favorables, desde el punto de vista natural, para la generación de procesos de erosión lineal que son acelerados por la intervención humana.

\* Este trabajo contó con apoyo de los Proyectos FONDECYT 90-0651 y DIUC 90/014.

En este trabajo se precisan aquellos aspectos relacionados con las condiciones de generación de procesos de erosión lineal en las planicies litorales, sus rasgos geomorfológicos característicos y su relación con actividades humanas. Los resultados corresponden a investigaciones realizadas por las autoras en las planicies de la costa entre Papudo y San Antonio (Figura 1).

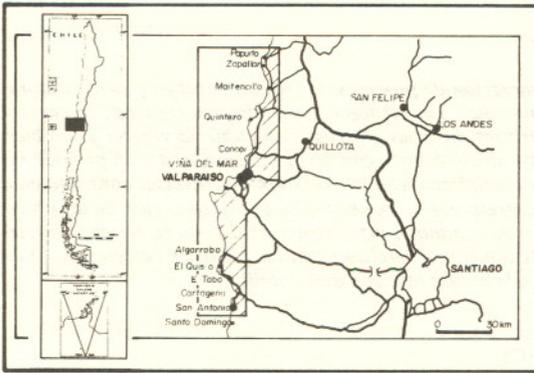


Figura 1: Área de estudio.

## I. CONDICIONES FAVORABLES PARA LA GENERACION DE PROCESOS DE EROSION LINEAL EN LAS PLANICIES COSTERAS

En nuestro litoral concurren varios factores que son determinantes en la generación de condiciones óptimas para el desarrollo de erosión lineal. Así es como el clima, los tipos de formaciones superficiales, la topografía y la vegetación se interrelacionan estrechamente. Las condiciones de desequilibrio entre estos factores, provocado por causas naturales o humanas, se manifiestan a través de la generación de procesos erosivos diversos, especialmente relacionados con la erosión lineal.

a) Un factor preponderante es el *clima de tipo mediterráneo*, con lluvias invernales y estación seca prolongada (8 a 9 meses). Los grandes contrastes en la distribución anual de las precipitaciones crean las condiciones propicias para favorecer la acción de la lluvia. En los meses de verano la vegetación desaparece, dejan el terreno preparado para que con las primeras lluvias invernales, que suelen ser concentradas y torrenciales, se remueva primero la capa superficial del suelo (erosión laminar) y posteriormente, por concentración de la energía, la precipitación incide el terreno.

Lo anterior se puede demostrar con los índices de *intensidad de la lluvia* y *grado de concentración estacional*, obtenidos a partir de registros de precipitación para San Antonio. Así con el cálculo del *índice de intensidad* de la lluvia (promedio men-

sual de precipitaciones dividido por el número de días de lluvia en el mes) expresado en mm/día, se obtiene:

### SAN ANTONIO

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	$\bar{X}$
0	0	4	8,2	14,1	11,7	17,1	12,2	5,7	6,9	3,8	6,8	7,5

Se aprecia que la media mensual es sobrepasada en abril, mayo, junio, julio y agosto; y que las mínimas se ubican en enero, febrero y marzo. Se debe notar que el valor de intensidad media anual (7,5 mm/día) está influido por las máximas medias mensuales que se alcanzan en los meses de otoño e invierno. Los índices altos permiten suponer que el terreno puede ser fácilmente degradado con las primeras lluvias, debido a que el suelo no está saturado por la carencia de humedad derivada de la estación seca; por lo tanto, el terreno se encuentra apto para permitir la infiltración, la remoción y el transporte del material superficial por las aguas corrientes.

En verano la intensidad es casi nula; en esta época la insolación es importante y el terreno es preparado para la erosión que producen las primeras lluvias que alcanzan una intensidad considerable en el mes de mayo (14,1 mm/día).

Otro factor que también conviene analizar es el *grado de concentración estacional* de la pluviosidad que es la relación entre la pluviosidad anual (P) y la altura del agua caída en la estación de pluviosidad máxima (S) (Fournier 1960). Su valor puede variar entre 1,00 (lluvias del año en una sola estación) y 0,25 (S repartida en las cuatro estaciones).

La erosión lineal es mayor cuando la concentración es mayor, hecho que se acentúa cuando el relieve es accidentado. Para San Antonio, el coeficiente de concentración estacional es de 0,48 en otoño y 0,43 en invierno; estos valores ratificarían el hecho de que el otoño es una estación crítica desde el punto de vista de la agresividad de la lluvia como agente erosivo, ya que en dicha estación se miden comparativamente con las otras estaciones elevados índices de intensidad y concentración estacional de la lluvia.

b) La *naturaleza de las formaciones superficiales* de las planicies es un factor que también favorece la erosión lineal. La superficie de las planicies está constituida ya sea por maicillo, producto de la alteración de rocas cristalinas, por depósitos sedimentarios marinos, y en áreas extensas, también arenas eólicas. Estos materiales constituyen substratos erosionables con una alta homogeneidad granulométrica y escasa permeabilidad, favoreciendo así la concentración del

escurrimiento superficial y, por lo tanto la erosión lineal.

c) El *relieve ondulado* o las *rupturas de pendiente* que presentan las planicies son rasgos que posibilitan el comienzo de la erosión lineal, ya que debe existir un cierto grado de pendiente para que el agua escurra. Según lo observado por los autores señalados en Tabla 1, las regueras y cárcavas en

planicies litorales aparecen de preferencia en ciertos umbrales de pendiente.

d) La *destrucción de la vegetación natural*: la cubierta vegetal constituye una protección natural que intercepta las gotas de lluvias y disminuye la fuerza de su impacto; también favorece la infiltración, por lo que su destrucción por causas naturales o antrópicas favorece la erosión del suelo.

TABLA Nº 1

Relación pendiente / procesos de erosión lineal

Pendiente (grados)	Araya, J.F. (1966)	Castro, C. (1976)	Andrade, B. (1977)
1			
2			
3	3º empieza erosión difusa	4º - 5º empiezan regueras	Erosión difusa.
4			
5			
6			
7			
8	empieza a presentarse con frecuencia la erosión lineal		Comienza la erosión en forma de reguera, se acentúa levigación.
9			
10		8º - 15º frecuentes cárcavas	8º - 15º cárcavas
11			
12			
13			
14			
15			
16			Bad-lands
17			
18		Bad-lands	
19			
20	20º - 25º reptación actual	Reptación	Intensificación de la erosión lineal en cárcavas; aparición de bolones en núcleos montañosos y bad-lands.
21			
22			
23			
24			
25	Deja de ser frecuente la erosión lineal		
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			

II. CARACTERIZACION DE LOS PROCESOS Y LAS FORMAS DE EROSION LINEAL EN PLANICIES COSTERAS

La primera forma de erosión que se observa asociada a la acción de las lluvias corresponde a la *erosión laminar*, proceso mediante el cual el escurrimiento difuso se lleva en suspensión la delgada

capa de suelo (Figura 2). Se ha observado este tipo de erosión en las planicies ubicadas detrás de la refinería de Ventanas, en áreas de pendiente próximas a los 10 grados. Se detectan en la superficie manchas blanquecinas, producto de la lenta ablación del suelo. Este tipo de erosión, conocida como levigación, corresponde a una delgada lámina de agua que se mueve pendiente abajo, llevándose

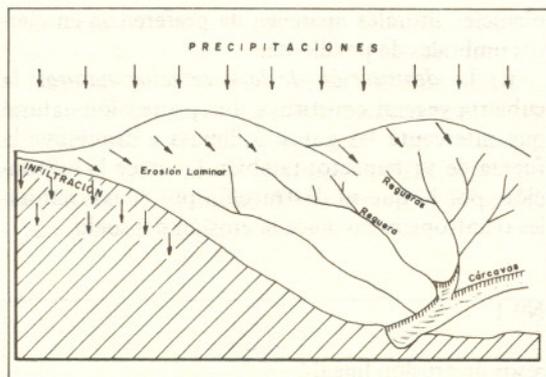


Figura 2: Formas de erosión por el agua.

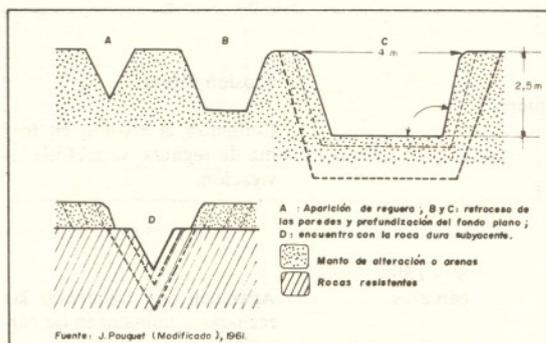


Figura 3: Etapas de ensanchamiento y profundización de una reguera.

los materiales más finos. Tricart (1977) la califica como una etapa embrionaria de escurrimiento. A pesar de que los efectos no son muy notorios, a simple vista es muy importante en el proceso erosivo, ya que descabeza los suelos.

Si las condiciones lo permiten, el escurrimiento comienza a concentrarse, generándose regueras que en sus inicios son incisiones de algunos centímetros de profundidad (Figuras 4 y 5). Su largo varía entre aproximadamente 3 a 10 m, como ocurre, por ejemplo, en las cubiertas dunarias del interior del sector Quintero-Ventanas, o en las dunas longitudinales estabilizadas de Punta Concón. Frecuentemente, estas formas presentan un patrón de drenaje paralelo y de poca profundidad, como lo verifica Vicuña (1987) en las formaciones arenosas de Maitenes.

Las regueras, que se presentan tanto aisladas como asociadas a cárcavas, se encuentran en los sectores donde la vegetación ha sido debilitada o destruida y se ha producido el descabezamiento de los suelos. Este hecho indica que existe una relación de causa y efecto entre la destrucción de la vegetación y la aparición de regueras.

Es probable que el nacimiento de estas formas de erosión lineal tengan también relación con las



Figura 4: Punta Concón, reguera en arenas, a partir de senderos.



Figura 5: Llolleo, reguera en zona urbana sobre maicillo arcilloso.

pequeñas rupturas de pendiente de la superficie del terreno, que en muchas ocasiones son generadas por la acción antrópica, ya que a partir de pequeñas discontinuidades del terreno se facilita la concentración de la energía (Figura 5).

Como señala Paskoff (1985) las regueras funcionan esporádicamente y su aparición es signo inequívoco de que la erosión del suelo entra en una fase crítica.

En una fase posterior, el desarrollo de *cárcavas* representa el paso hacia un *escurrimiento concentrado* y organizado, en donde la precipitación sigue siempre las mismas líneas de escurrimiento. Las regueras iniciales van profundizándose y ensanchándose paulatinamente, constituyendo primero perfiles en V y después en U, con un fondo plano

(Figura 3). El desarrollo de una red de *cárcavas* produce el modelado de *bad-lands*, en que la topografía se presenta en barrancos ramificados muy estrechos y próximos, separados por aristas relativamente agudas (Figuras 8 y 9).

Las *cárcavas con fondo plano* se localizan preferentemente sobre las coberturas arenosas de las planicies, tienen paredes abruptas, con una inclinación cercana a los 90°. Con frecuencia la parte más ancha alcanza aproximadamente 4 metros, mientras que la profundidad máxima puede superar los 5 metros (Figura 3). Tal situación se puede observar en el sector de Maitenes, en donde una *cárcava* que en 1987 tenía una profundidad de 2,5 m, en la actualidad supera los 5 metros. (Figuras 6 y 7).



Figura 6: Maitenes (año 1987). Cárcava de fondo plano sobre dunas antiguas, retroceso paralelo de las paredes verticales con derrumbe de materiales. Erosión retrógrada de las cabeceras.



Figura 7: Maitenes (año 1988). La misma cárcava profundizó aún más, debido al gran espesor de la cubierta de arenas.



*Figura 8:* Punta Lacho, Las Cruces. Bad-lands sobre cubierta dunaria y sedimentos marinos. Profundidad de 1 metro.



*Figura 9:* Cachagua: "Bad-land en maicillo".

Al interior de la cárcava son frecuentes los derrumbes en paquete de materiales provenientes de las paredes verticales, que evolucionan paralelamente. Esto indica que este tipo de cárcava no sólo se desarrolla por efecto del escurrimiento del agua, sino también por fenómenos de gravedad que contribuyen al ensanchamiento de la misma. Se observa que este tipo de cárcavas se genera por incisión rápida, acompañada por un retroceso paralelo de las paredes verticales, resultando fondos planos. La erosión regresiva que se produce en la cabecera de este tipo de cárcavas produce un salto

o peldaño (Figura 4). Es en el sector de la cabecera donde la evolución de la cárcava es más intensa.

Las cárcavas en V se localizan en sectores de mayor pendiente ( $30^{\circ}$  a  $35^{\circ}$ ), generalmente en los taludes que separan las distintas terrazas. Las paredes de las cárcavas poseen una pendiente de aproximadamente  $50^{\circ}$ , y algunas tienen vegetación que las estabiliza. Estas formas alcanzan dimensiones notables en el área de Cachagua-Laguna, asociadas al camino costero, con un largo aproximado de 80 metros como promedio y un ancho que varía entre

1 y 10 m; en el caso de las más grandes con profundidades de hasta 3 m.

Las cárcavas en forma de V identificadas en las planicies corresponden, principalmente, a aquellas parcialmente estabilizadas o con una actividad esporádica. Cuando estas cárcavas drenan hacia talwegs mayores, se forman en su base conos de deyección de funcionamiento espasmódico (Castro, Vicuña 1986). La actividad actual de estos conos se demuestra a través de la incisión y la acumulación reciente de materiales, ya sea por acción del agua como por la gravedad.

Este tipo de cárcavas han sido identificadas en formaciones superficiales arenosas por Vicuña (1987). Son características aquellas del área de Maitenes, en pendientes que varían entre los 12° y los 20°. Estos valores corresponden a pendientes superiores a los observados para el caso de las cárcavas con fondo plano. Posiblemente el hecho que la pendiente sea mayor ayuda a que la cárcava posea forma de V.

Las cárcavas en V reconocidas superan el tamaño de las con fondo plano, tanto en largo, ancho,

como en profundidad. Alcanzan largos generalmente superiores a los 30 metros, con un ancho que alcanza los 20 m y con profundidades de alrededor de 5 metros; se les encuentra preferentemente en las laderas de esteros que inciden las planicies costeras.

El patrón de drenaje de las cárcavas parece estar influenciado por la naturaleza del substrato; así las rectilíneas tienden a desarrollarse en arenas eólicas y las dendríticas en el maicillo.

Finalmente, se desea enfatizar que los procesos y formas de erosión que se describen son desencadenados por diversas acciones ligadas a actividades del hombre en las planicies costeras.

Para ilustrar lo anterior de manera sintética, se exponen en la Tabla 2 las relaciones entre los siguientes aspectos: el elemento que gatilla el proceso erosivo, la forma resultante, el tipo de formación superficial y el lugar geográfico "tipo" de dicha relación. Esta tabla se refiere a la situación observada en las planicies del tramo estudiado, pero se considera que puede ser extensiva al conjunto de las planicies costeras de Chile Central.

TABLA Nº 2

## La erosión lineal de las planicies costeras

Elemento o acción desencadenante	Forma o proceso	Sitio observado y característica	Formación superficial	Características y efectos
Falta de vegetación en áreas de poca pendiente.	Erosión laminar	Interior de la Bahía Quintero	Cubierta dunaria antigua	Lavado superficial de partículas del suelo.
Caminos trazados paralela o verticalmente a la dirección de la pendiente	Regueras paralelas Cárcavas	Reñaca Alto Cachagua-Laguna El Tabo	Dunas antig. Dunas antig. Maicillo	Concentración artificial de la Pp. Erosión paralela al camino, socavamiento lateral y colapso del pavimento. El camino crea una ruptura de equilibrio en la ladera; las cabezas de cárcavas se localizan en el borde del camino.
Ductos de infraestructura urbana y caminera	Cárcavas	Reñaca Alto Cachagua-Laguna	Dunas antiguas	En los bordes de las planicies, los ductos en funcionamiento o que se rompen evacuan aguas en forma violenta y concentrada, dando origen a grandes cárcavas.
Calles no pavimentadas en áreas urbanizadas de topografía ondulada	Regueras	San Antonio Barrancas Llolleo El Tabo Las Cruces	Maicillo	Incisión lineal en el sentido de la pendiente; hay transporte de materiales que se acumulan en partes bajas de la planta urbana; serios problemas para la circulación.
Senderos originados por tránsito de personas o animales	Regueras	Concón Reñaca Maitenes	Dunas antiguas estabilizadas	Concentración de la erosión en donde se destruye la vegetación por pisoteo.

Continuación Tabla Nº 2

Elemento o acción desencadenante	Forma o proceso	Sitio observado y característica	Formación superficial	Características y efectos
Extracción de materiales	Cárcavas	San Sebastián San Antonio Cartagena	Sedimentos marinos espesos	En las canteras abandonadas se generan cárcavas profundas en materiales sedimentarios de gran potencia; paredes abruptas que aunque tengan vegetación tienden a reactivarse.
Sobrepastoreo y/o prácticas agrícolas inadecuadas	Regueras y cárcavas	Frecuentes los márgenes de todas las planicies con posibilidades de uso agrícola-forestal	Maicillo, cubiertas eólicas antiguas	Erosión lineal en sectores ondulados, cuya pendiente no es factor limitante para su explotación agrícola-forestal. También en laderas de estero que inciden profundamente las planicies costeras.
Dstrucción de la cubierta vegetal	Bad-lands	Punta Las Cruces Algarrobo	Mantos de alteración de rocas cristalinas	Pérdida irreversible de los suelos; topografía caótica que impide la reinstalación natural de la vegetación.
			Sedimentos marinos compactados	Profundidad variable en relación con profundidad a la que se encuentre la roca.

## CONCLUSIONES

Las formas de erosión lineal son frecuentes en las planicies costeras de Chile Central. Las condiciones naturales son muy favorables para la generación de estos procesos, especialmente por el hecho de existir una marcada estacionalidad de las precipitaciones. Por lo tanto, la generación de regueras y cárcavas sucede especialmente en períodos favorables, cuando ocurren las primeras lluvias torrenciales.

Las planicies costeras poseen formaciones superficiales que corresponden a mantos de maicillo de la alteración profunda de rocas cristalinas, como también cubiertas dunarias antiguas con tapiz vegetacional. Estos materiales son muy sensibles a la erosión producida por la precipitación, la cual se manifiesta en *regueras* y *cárcavas*, tanto en cubiertas de dunas antiguas como en mantos de alteración. Dichas formas presentan una tipología de tamaños y perfiles que dejan de manifiesto las condiciones en que están evolucionando (permeabilidad de los materiales, pendiente, estado de la cubierta vegetal).

Las cárcavas de fondo plano son frecuentes en los terrenos arenosos de gran espesor y aquellas en V en substratos del manto de alteración o en superficies areno-arcillosas.

Los *bad-lands* se reconocen sólo en substratos de sedimentos marinos muy finos y compactados; como también en mantos de alteración de rocas cristalinas.

Se concluye que las acciones antrópicas son determinantes en la generación de procesos de erosión lineal en las planicies costeras. Los ejemplos citados ilustran las diversas acciones humanas que pueden dar origen a dichos procesos erosivos.

Considerando las potencialidades de las planicies litorales para el desarrollo de numerosas actividades de interés para el hombre, como también por ser un lugar privilegiado de asentamiento humano, es necesario reconocer los factores que están determinando su deterioro con el objeto de proporcionar antecedentes adecuados para la detección de procesos irreversibles que pueden llevar a la pérdida de áreas geográficas de gran valor.

Desde el punto de vista del manejo territorial de la zona costera, se deberá propender a un desarrollo que busque el balance entre los usos y la conservación, tendiendo a optimizar la utilización de los recursos en la actualidad y a su preservación para el futuro

## BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, B. 1977: Ensayo y método de detección de Unidades Morfodinámicas en el área entre el Río Ligua y el Estero Catapilco. Memoria de Título. Universidad de Chile, 90 pp.
- ANDRADE, B. 1982: "Aplicaciones geográficas en terrenos cuaternarios". Memoria I.P.G.H. III Asamblea General, pp. 34-36.
- ANDRADE, B.; CASTRO, C. 1989a: "Estado de morfo-

- conservación del litoral entre Tunquén y Santo Domingo (33°16'-33°38'S). *Revista de Geografía Norte Grande*, 16: 51-56, Santiago.
- ANDRADE, B.; CASTRO, C. 1989b: "La carta fisiográfica aplicada al manejo de la zona costera". *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 31: 87-96, Santiago.
- ARAYA, J.F. 1966: "Procesos morfogenéticos en la Cordillera de la Costa de Chile Central". Memoria de Título. Instituto Pedagógico, Universidad de Chile-Santiago.
- CASTRO, C. 1977: "Ensayo y método para determinar unidades morfodinámicas en las planicies litorales entre el estero de Casablanca y el Río Maipo". Memoria de Título. Universidad de Chile. Santiago, 85 pp. más cartas anexas.
- CASTRO, C.; VICUÑA, P. 1986: "Man's impact on coastal dunes in Central Chile (32°34'S)". *Revista Ciencias del Mar. Thalassas*, Vol. 4 (1): 17-21. Vigo. España.
- FOURNIER, F. 1960: "Climat et érosion". P.U.F. París Francia 128 pp.
- PASKOFF, R. 1985: "Géographie de l'environnement". *Publ. Univ. Tunis*, 227 pp.
- PAZ, A. 1982: "Análisis de los procesos erosivos de cárcavas sector San Antonio-Lo Abarca, V Región". Memoria de Título. Instituto de Geografía. Univ. Católica de Chile.
- POUQUET, J. 1961: "L'érosion des sols". P.U.F. París. Francia 126 pp.
- TRICART, J. 1977: "Précis de Géomorphologie. Géomorphologie Climatique". T. 3. S.E.D.E.S. París. 313, pp.
- VICUÑA, P. 1987: "Indicadores geomorfológicos de la degradación antrópica en los campos de dunas antiguas de la Costa de Chile Central". Memoria de Título. Instituto de Geografía. Univ. Católica de Chile.