

“LAS DUNAS LITORALES EN CHILE”

TEORIA Y APLICACION

por

REYNALDO BÖRGEL OLIVARES

Catedrático en Geografía Física
e Investigador Geomorfólogo

Publicación Nº 3 de la Sección
Geomorfología Aplicada

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE FILOSOFIA Y EDUCACION
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
SECCION APLICADA

1963

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE FILOSOFIA Y EDUCACION
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
Sección Aplicada

PUBLICACION Nº 3 DE LA SECCION

L A S D U N A S L I T O R A L E S E N C H I L E

TEORIA y APLICACION

Por
REYNALDO BORGEL OLIVARES
Catedrático en Geografía Física e
Investigador Geomorfólogo

SANTIAGO DE CHILE
1963

© REINALDO BORGEL OLIVARES, 1963
Inscripción N° 26864

INDICE

LAS DUNAS LITORALES EN CHILE Teoría y Aplicación

1.- Origen y desarrollo de las dunas	6
2.- Tipos de Dunas	9
3.- Características de los sedimentos litorales en Chile. Proposición de métodos de contención	11
Conclusión	14
Apéndice I	27
Apéndice II - Orientación Bibliográfica	35

LAS DUNAS LITORALES EN CHILE

Teoría y aplicación

La costa chilena presenta en numerosos puntos, muy localizados de su extenso litoral pacífico, acumulaciones de arenas, cuyo avance plantea en estos momentos la aplicación de métodos para su contención.

Parece evidente que, una aplicación correcta puede originarse en un perfecto y cabal conocimiento de la teoría en el proceso dunario.

Es conocido el hecho que, las dunas litorales, son fenómenos de acumulación que se producen una vez realizados otros procesos, tales como erosión, sedimentación y trasportes continentales.

Siendo un problema complejo, dentro del sencillo mecanismo que involucra, la sedimentación de arenas en forma de dunas, requiere ser sistematizada en sus etapas más importantes. No olvidemos que además, hay varios tipos de dunas, cada una de las que se acomoda a mecanismos particulares. Para encontrar métodos de corrección que sean válidos científicamente, es necesario analizar los siguientes aspectos del problema:

- 1.- origen y desarrollo de las dunas
- 2.- tipos de dunas
- 3.- características de los sedimentos litorales en Chile

Proposición de métodos de contención.

Las dunas definen un proceso y no una forma. Desde este punto de vista, la intensidad y complejidad de los procesos o mecanismos que originan la duna pueden caracterizarla en una sola forma grandiosa o en un conjunto de pequeñas acumulaciones pero muy extendidas.

Debemos agregar que, las dunas son formaciones cíclicas que corresponden a movimientos de la circulación atmosférica. Esta última determina la localización de centros depresionarios que, a su vez, crean las corrientes de aire favorables al transporte de arenas.

Al decir, formaciones cíclicas, estamos representando un hecho que, a la escala geológica puede parecer deleznable, pero no así considerado al eje humano.

Un sistema de comunicaciones terrestres, como es la ruta panamericana N. puede ser gravemente trastornada, por el avance incesante de las arenas sobre ella. Se imponen, pues, medidas correctivas que por lo menos retarden el proceso acumulativo.

La geomorfología actual que, no se preocupa tan solo del estudio de las formas por lo que ellas aparentan significar, sino que, investiga sus posibles orígenes, buscando una datación dentro del último millón de años, recurre al tratamiento sedimentológico, buscando explicaciones más profundas en el proceso interpretativo del paisaje.

Las líneas que siguen ilustrarán al lector sobre algunos problemas que actualmente, se siguen investigando en la Sección Aplicada del Instituto de Geografía.

1.- Origen y desarrollo de las dunas

Las dunas corresponden a procesos de sedimentación eólica que pueden presentarse tanto en el litoral marino como en el interior del continente con algunas diferencias de modelado.

Las arenas de una duna, pueden generarse, en cuanto material petrográfico, en el continente mismo o en la costa marítima. En el primer caso, son los ríos los agentes de transporte más activo al acarrear materiales que resultan de la erosión de las rocas del hinterland vecino. Falto de competencia hidráulica, los ríos abandonan la carga aluvial al llegar al mar. Este la coge y la distribuye a lo largo del litoral cercano, de acuerdo a la tendencia de sus corrientes costeras. Ahí abandonadas, las arenas quedan a la disposición del viento en aquellas horas, en que, el estran arenoso queda al descubierto, en el intervalo entre las altas y bajas mareas. Este es el caso de arenas originadas en el interior del continente.

Cuando las arenas se generan en la acción abrasiva marina sobre formaciones rocosas litorales, el resultado es el mismo, desde el punto de vista de la duna, pero las medidas de corrección son diferentes.

En el primer caso, aparece evidente que, aquellas dunas originadas en materiales extraídos al interior del continente, deban ser contenidas en el curso inferior de los ríos, fijando los arenales en los bancos aluviales y playas de acumulación fluviales. Sólo de este modo, se evitaría que el mar tomara en carga un material que luego sería devuelto al continente en forma de peligrosas dunas.

Las acumulaciones dunarias originadas en la costa misma son de más difícil control, pues es prácticamente imposible que los roqueríos litorales sean atacados por las olas. En este caso, cabe controlar el proceso en la misma zona de acumulación. En toda eventualidad, es recomendable fijar vegetación con dos alturas distintas para restar al viento toda posibilidad de provocar acumulaciones a larga distancia.

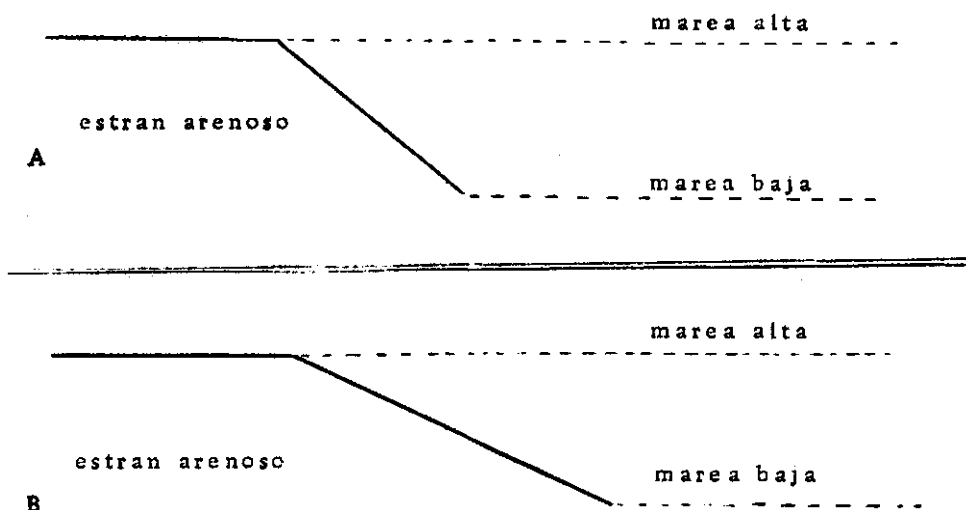
En su origen, las arenas que quedan alternativamente cubiertas y descubiertas en el juego de las altas y bajas mareas, es el material que coge el viento para trasladarlo al interior del continente. El viento coge las arenas, coincidiendo con el término de la baja marea, esto es, cuando las arenas están más secas por la prolongada exposición al sol y fuera del alcance de las olas.

La coincidencia óptima para que se realice un eficiente transporte de las arenas por el viento, la dan los siguientes factores:

- a.- inclinación del estran arenoso
- b.- asoleamiento intenso
- c.- presencia del viento en el instante que culmina la baja marea, y
- d.- actividad organismos vivos en el estran.

a.- La inclinación del estran arenoso es importante para considerar la trascendencia de la acumulación que se va a producir. Una playa muy inclinada establece entre los límites extremos de altas y bajas mareas una pequeña superficie de exposición subaérea. En el croquis adjunto, la máxima oscilación de marea, igual para los dos ejemplos, descubre una mayor extensión de estran en el caso B.

CROQUIS 1



Si consideramos este ejemplo, con una altura de marea equivalente, puede apreciarse que la carga de material que tendrá el viento a su elección es mucho mayor, en el caso B.

b.- El período de insolación y fuerza de ésta, es factor que, desde un punto de vista cuantitativo afloja mayor cantidad de granos por pérdida de la humedad, los individualiza y los abandona libremente para constituirse como carga del viento.

c.- Este tercer factor está directamente relacionado con el anterior. La coincidencia anotada entre presencia del viento en el instante que culmina la baja marea, impide la impregnación de sal por los granos. La salinidad la adquieren gracias al viento que carga estos cristales, junto con producirse la rompiente de la ola. Como decimos, si el viento aparece en el punto de acumulación de la baja marea, los granos de arena estarán secos, libres de humedad y salinidad, en otras palabras, bajo condiciones de la más baja densidad. Además, en el instante que culmina la baja marea, la máxima extensión del estran arenoso estará con su superficie expuesta a la acción del viento.

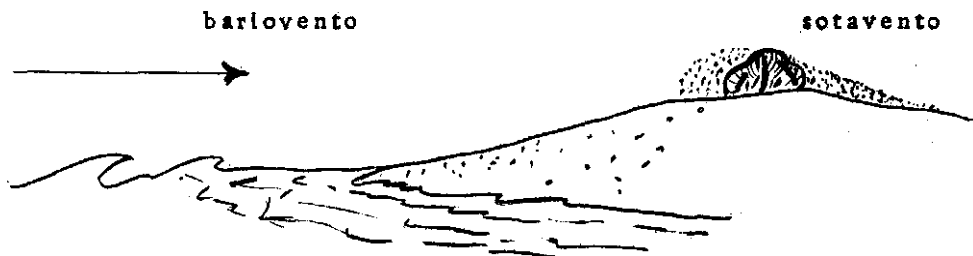
d.- La actividad de los organismos vivos no es deleznable pues, algunos de ellos, como las vulgarmente llamadas "pulgas de mar" *Emerita* análoga *stimson* contribuyan a un aflojamiento considerable del estran dejando orificios que permiten una mejor ventilación y exposición al sol, todo lo cual se traduce en un avanzado desecamiento de granos de arena en profundidad.

Hechas estas consideraciones sobre las condiciones óptimas con que el viento realizaría su trabajo de transporte, debemos preocuparnos de las siguientes etapas: una vez tomada su carga, el viento la transporta al interior y la abandona cuando surge un obstáculo o se produce una simple disminución de su competencia de arrastre.

La acumulación se produce delante del obstáculo, a barlovento de éste, aumentando en altura hasta igualar la del objeto causante de la acumulación. Una vez

alcanzado este nivel trasmonta el obstáculo desarrollando una "cola de duna" a sotavento de éste.

CROQUIS 2

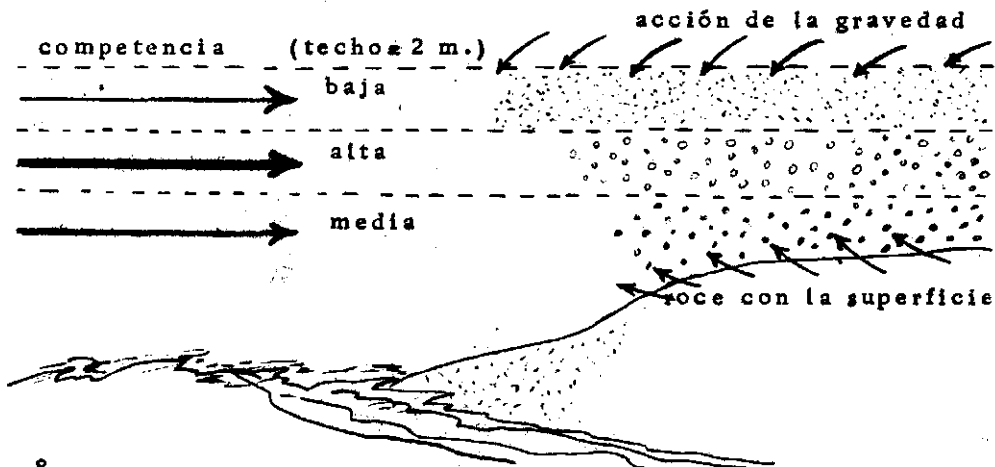


En el transporte eólico se establece una estrecha relación entre el tamaño de los granos de arena (granulometría) y la velocidad y carga del viento (competencia).

De acuerdo al concepto de competencia no son los vientos constantes y débiles, sino los "arrachados" y más violentos, los que determinan el desarrollo creciente de las dunas al interior del continente. La competencia puede oscilar en el transporte de partículas, desde 0.053 mm. hasta 2 mm. de diámetro en su eje mayor.

En una extensión de playa abierta, el viento alcanza su más alta competencia a unos dos metros por encima del nivel del suelo, disminuyendo su capacidad de transporte desde el punto de vista granulométrico, hacia arriba y abajo de este nivel aéreo. Hacia arriba, la disminución de la carga es afectada por la gravedad de las partículas que tiende a arrojarlas al centro de la tierra. Hacia abajo, actúa el roce con la cubierta de la playa.

CROQUIS 3



En este croquis, el nivel intermedio es la zona de concentración de las pequeñas partículas que, frenadas por la gravedad, descienden del nivel superior y son arrastradas por la faja de alta competencia .

Los tres niveles descritos determinan la extensión geográfica de la acumulación y la importancia de ésta. Es por esto que, si la competencia del viento es alta, en la misma proporción será la extensión y potencia del campo de dunas. Desgraciadamente faltan observaciones de terreno en nuestro país que permitan expresar cuantitativamente estos mecanismos.

Así, brevemente examinados los procesos referentes al origen y desarrollo de las dunas, veamos a continuación los principales tipos de acumulaciones dunarias.

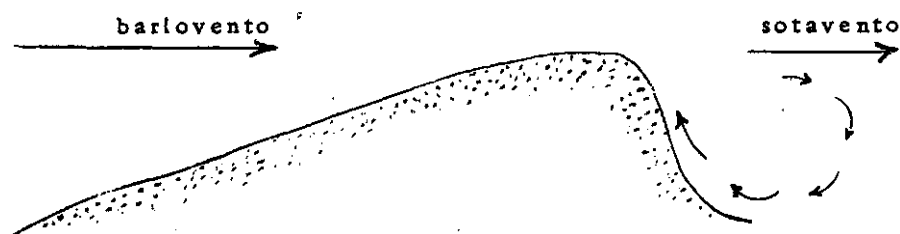
2.- Tipos de dunas

Existen dunas continentales y marítimas. Entre ambas existen diferencias menores que, sobre todo, atañen a la composición de las arenas desde el punto de vista petrográfico .

La más conocida de las dunas es la llamada "de arco o barján " .Presenta como característica una nítida oposición de pendiente: a barlovento es un plano inclinado de suave pendiente - cinco a diez grados - mientras que, a sotavento una abrupta caída establece una ruptura de pendiente absoluta del orden de 80 a 85 grados.

Algunos autores suponen que la forma de arco se origina por la acción de remolinos con corrientes de convección, en la pendiente situada a sotavento .

CROQUIS 4



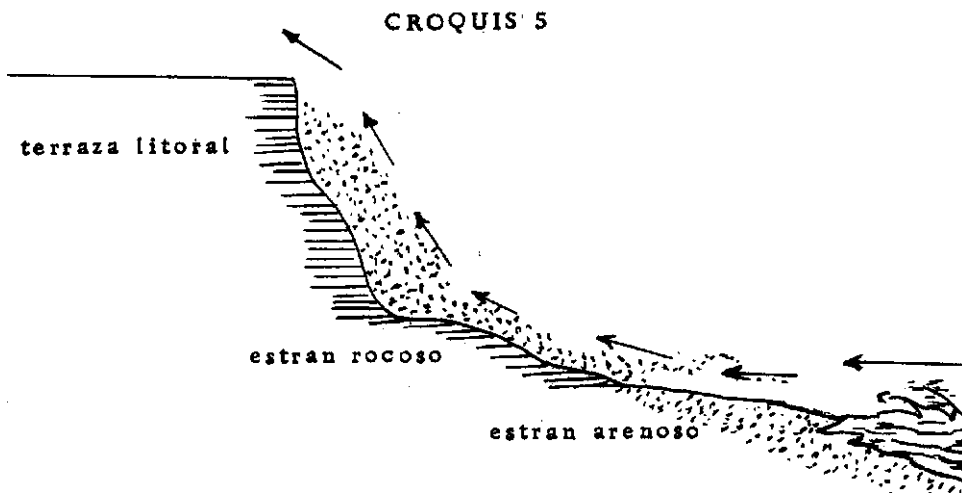
La duna transversal es otro tipo de acumulación importante, aunque menos repartida. Se caracteriza por constituirse en un cordón alargado paralelo a la playa. Lo de transversal, lo es respecto del viento. Se supone que esta característica topográfica se debe a una abundante carga de material. Al igual que en el barján, hay oposición de pendientes débil a barlovento y fuerte a sotavento .

Es ilustrativo como ejemplo, la duna que existe en la playa de bahía Guayacán. Esta duna transversal presenta una superficie inclinada barlovento con una topo-

grafía monticular. Llega a su culminación con una altura de veinte metros y cae violentamente a sotavento. Según las observaciones que se han realizado en torno de esta duna, parece evidente que la forma transversal corresponde al límite culminante de una competencia muy constante del viento, en esta bahía. Esto significa que la línea transversal es la línea de depositación obligada para el viento, que más allá de esta franja es impotente para transportar más partículas. En el hecho, la grandiosa altura y el espesor que alcanza están explicados por una superposición de dunas monticulares en un estrecho territorio .

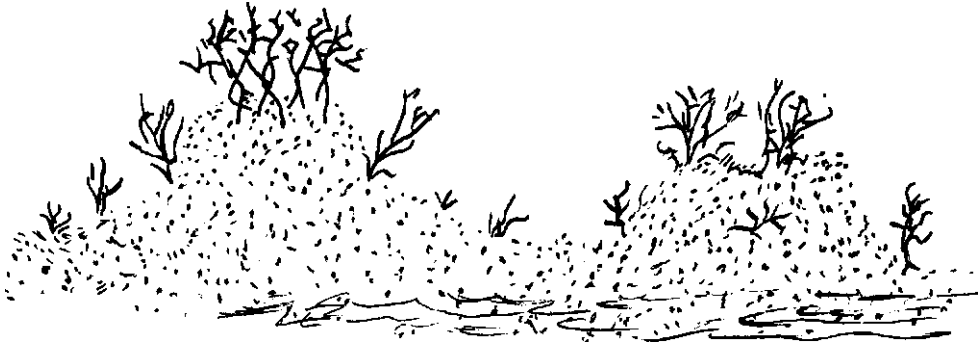
La duna longitudinal se dispone en dirección paralela a la dirección del viento y, como en los casos anteriores, se organiza a sotavento del obstáculo. Entre los cordones longitudinales quedan algunas depresiones conocidas como "caminos del viento". En este tipo de duna, es más notorio que en otras, la selección granulométrica con depositación de los granos más finos a sotavento y los gruesos a barlovento y en particular en la parte central y culminante de la acumulación .

La duna avanzada o frontal, se organiza a expensas de obstáculos importantes, tales como: talud de un aterrazamiento marino o afloramientos rocosos situados a alguna distancia, al interior, tierra adentro del estran arenoso. En este caso, el viento opera su transporte y acumulación en una línea curvada de ascenso. Parece evidente que, en este caso, la pérdida de competencia por el ascenso obliga al viento a abandonar la carga que transportaba desde corta distancia .



Entre las dunas monticulares, los "nebkas" representan acumulaciones de arenas colonizadas por vegetación natural. Tratándose de especies vegetales adaptadas a vivir en las condiciones pedológicas que plantea la textura arenosa, las plantas siempre sobresalen a la acumulación, por rápida que ésta sea. Aunque no existen nebkas típicos en nuestro país, el proceso de colonización es idéntico y se rige por los mismos principios ya esbozados .

CROQUIS 6



Las acumulaciones nivo-eólicas que caracterizaron el Cuaternario europeo, hoy se presentan restringidas a las regiones ártica y antártica. En estos procesos, el viento no sólo carga materiales detríticos, sino nieve. Por esta razón, las acumulaciones nivo - eólicas no se presentan en forma de dunas del tipo ya descrito, sino como planicies onduladas con activos procesos concomitantes a la solifluxión periglacial.

Acumulaciones poco estudiadas, son las halino - eólicas y que se organizan en las zonas marginales a los grandes salares. La carga que transporta el viento se refiere principalmente a la sal que queda a disposición de éste cuando el recalentamiento diurno ha llegado a su culminación y la costra salina queda pulverulenta y suelta. La acumulación resultante se acerca más a la forma monticular ligeramente colonizada por tolares típicos. Excelente método para explicar la constancia de los fuertes vientos del altiplano chileno - boliviano, es observar la acumulación concentrada en una orilla determinada del salar.

Notables, a este respecto, son las dunas del salar de Huasco situado a 3.790 m.s.n.m., en las cercanías de la frontera con Bolivia. Las acumulaciones en forma de montículos bajos se sitúan en la margen oriental del salar y sobre la terraza baja del antiguo lago que ocupaba esa cuenca.

Examinados los grandes cuadros morfográficos de dunas, veamos a continuación algunas acumulaciones litorales chilenas y sugerencias de corrección en los depósitos que invaden la carretera panamericana N entre Los Vilos y Limarí .

3.- Características de los sedimentos litorales en Chile.

Proposición de métodos de contención.

La dominante de los vientos, esto es, la dirección desde donde soplan y la intensidad de los mismos, son factores decisivos que explican la localización y extensión geográfica de las dunas.

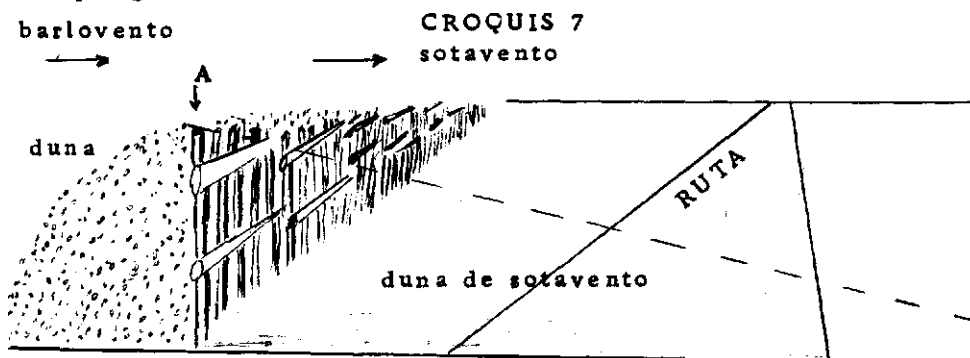
En general, estas acumulaciones se disponen en la orilla N de la desembocadura de los ríos. Existen excepciones importantes a este respecto. La explicación de esta localización geográfica debe encontrarse en tres factores: la sedimentación fluvial, las corrientes marinas litorales que empujan las arenas hacia el N y, en tercer lugar, los vientos del W y SW que favorecen el transporte de las arenas al interior .

El progreso de las dunas constituye problema a partir del momento que, aquellas amenazan la conservación de obras de arte, pueblos, plantaciones, etc. Siendo las dunas no forestables las más peligrosas por el ningún control natural que tienen a su avance, parece evidente el peligro que se cierne sobre algunos tramos de la carretera panamericana entre los sectores citados .

Hemos observado dos tipos de defensas: a) cementamiento de la duna: esto equivale a una forma de fijar la duna mediante el recubrimiento de ésta por una capa de cemento. Suele ocurrir en este caso, que la duna elegida corresponda a una acumulación cuya altura se establece al nivel de la faja de alta competencia. En este caso, la fijación no proporcionará material de carga al viento y no progresará hacia sotavento. En estas condiciones, la obra de arte que se desea proteger quedará a salvo . . hasta el instante que, acumulaciones dunarias situadas a barlovento alcancen la altura de la faja de óptima competencia. Alcanzado ese momento, la duna cementada comenzará a cubrirse de arenas. ¿Por qué? porque el óptimo de competencia de transporte del viento, coincide con la capacidad erosiva del mismo .

b) Otra solución propuesta por los ingenieros de caminos ha sido el establecimiento de empalizadas, algunas de las cuales ya comienzan a ser sepultadas por la arena .

En playa Hacienda Agua Amarilla y en el alto de la Quebrada El Teniente se observa en su más amplio desarrollo este interesante problema. Si nos atenemos a la teoría pura sobre la formación de dunas, debemos recordar que uno de los factores que organiza la acumulación dunaria es la presencia de un obstáculo. Recordemos también, que existe una faja de óptima competencia que se relaciona íntimamente con el punto anterior. De acuerdo a estos dos principios, la instalación de una empalizada constituye un obstáculo y consecuentemente, dará origen a una acumulación de arenas. El proceso ya se ha explicado: la acumulación alcanzará desde barlovento, la altura de la empalizada y luego, se desbordará hacia sotavento, es decir, sobre el camino que se desea proteger. Esta duna se llama duna de cola o de sotavento .

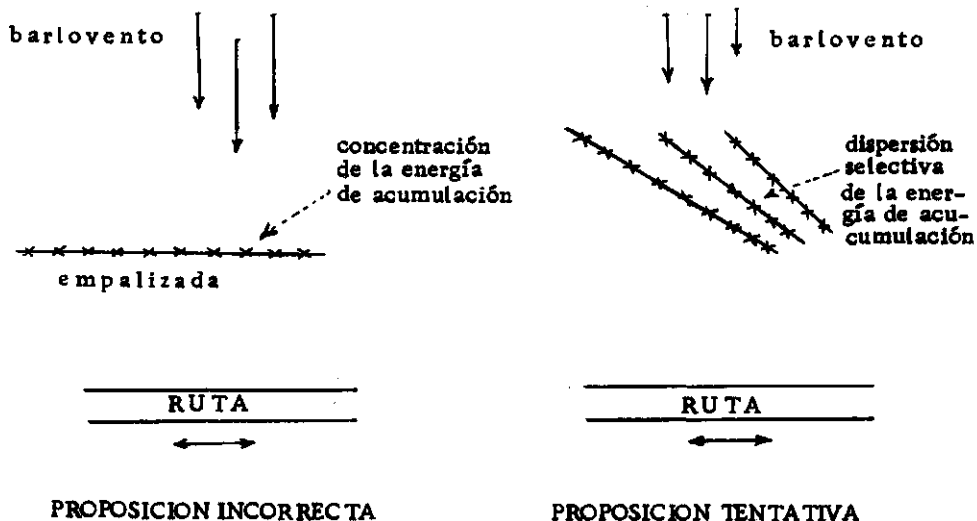


La mayor parte de la acumulación a sotavento de la empalizada se realiza a través de los maderos que la constituyen. Sería interesante experimentar con cierres herméticos para observar como opera la acumulación en sus etapas iniciales.

En este croquis, se observa en "A", punto cuspidal de la duna que es atacado por el óptimo de competencia eólica extrayendo los materiales que, organizarán la duna de sotavento. Por lo demás, mientras más alta la empalizada, mayor desarro-

llo alcanzará la duna de cola y mayor cantidad de carga tendrá a su disposición el óptimo eólico. Quizás, situando la empalizada a mayor distancia a barlovento del camino, se logre retardar un tiempo más la acumulación sobre éste. Pero, la situación de la empalizada no debe enfrentar nunca, en posición perpendicular la dirección en que se mueve el viento. Una disposición oblicua obligará a frenar el viento disminuyendo la competencia de este, no de un solo golpe, sino por etapas. Por este medio, se lograría que, una disminución paulatina de la competencia del viento obligue a éste a descargar las arenas en forma selectiva: los granos de mayor tamaño serán abandonados en primer término y sucesivamente, decreciendo la competencia a la par de la granulometría; las arenas más finas serán las más avanzadas a sotavento. En conclusión, se evitaría el desarrollo de la duna en forma lineal y se obligaría al viento a dispensar su carga en un radio mayor.

CROQUIS 8



Este proceso correctivo implica los siguientes estudios previos:

- velocidad y dirección del viento dominante
- velocidad y dirección de vientos ocasionales.
- velocidad y dirección de los más fuertes vientos
- estudios de la fracción arenosa, desde el punto de vista granulométrico y de la micropetrografía. A partir del estudio mineralógico de las arenas puede enunciarse un plan adecuado de forestación.

a) La velocidad del viento es un factor importante, pues la competencia de éste es la relación de dos elementos: velocidad y carga. Esto significa que, a determinada velocidad el viento tendrá una capacidad de transporte traducida por una cierta granulometría de las arenas. La dirección del viento influye bastante, en el modelado topográfico de las dunas. Las monticulares son el resultado de vientos inconstantes que soplan desde un cuadrante amplio y que provocan superposición de las acumulacio-

nes. Ya se ha afirmado, anteriormente, que los vientos "arrachados", aquellos que soplan a veces, pero muy fuertemente, son los que influyen más directamente en la extensión dilatada de campos de dunas .

b) Los vientos ocasionales, salvo el caso recién mencionado, no provocan acumulaciones importantes en altura, pero si en extensión. Graves daños a los campos de cultivo suele causar este tipo de arenales, especialmente en regiones de vegas costeras.

c) Los más fuertes vientos, por la alta competencia de que están dotados, son capaces de producir grandes y extensas acumulaciones, pero, al mismo tiempo, pueden erosionar activamente esas mismas acumulaciones creando anomalías topográficas denominadas "camino del viento".

d) La fracción arenosa estudiada desde el punto de vista micropetrográfico permite apreciar algunas referencias acerca del origen de esas arenas. Algunas acumulaciones dunarias en el altiplano chileno - boliviano proceden de apreciables distancias, tal es el caso, de la hoya inferior del río Lauca .

A través de estos estudios es posible, incluso, proponer una investigación minera o una política de forestación. Las dunas de Quivolgo, ricas en ilmenita y magnetita serían potencialmente aprovechables siendo industrializadas a través de procesos de separación magnética.

La granulometría permite bosquejar la línea de máximo avance que tendría una acumulación dada, hacia el interior del continente.

Es interesante anotar que, estos cuatro estudios, deben sintetizarse en un solo cuadro coherente para extraer conclusiones válidas. Ninguna de estas conclusiones vale por sí misma .

De todos los sedimentos de tipo no coherente que existen en la naturaleza y que, por lo tanto, son susceptibles de ser separados mecánicamente, las arenas de dunas son las más representativas por la característica distribución de sus granos. Es así como, la forma de una curva de granulometrías acumulativas es aquella de una letra "S", pero sin las involuciones superior e inferior . Esta forma deriva del hecho que, siendo el viento un agente de selección activo, los granos de arenas tienden a concentrarse sobre unas pocas mallas de tamiz; una duna constituida por arenas gruesas mostrará la curva instalada sobre los tamices 10, 12, 14 y 18. Si fuese una acumulación de arenas finas, la curva estaría instalada sobre los tamices 100, 120, 140, y 170; ambos grupos de la serie A. S. T. M.

CONCLUSION

Un territorio, como es el de Chile, profundamente afectado por los procesos de la erosión mecánica y el activo movimiento de sedimentos en sus ríos, presenta a lo largo de su dilatado litoral excelentes condiciones para la aparición y desarrollo de un desierto marginal pacífico, constituido por dunas costeras.

Como hemos visto, las dunas no sólo pueden ser litorales a un gran océano. Dentro del continente mismo, el país debe prever un gran peligro en la extensión desmesurada de las cajas aluviales de sus ríos. La activa sedimentación que, por aban-

dono de sus materiales hacen las aguas fluviales que bajan desde la cordillera de los Andes, dentro del llano central, inutilizan por la acción combinada de erosión de las orillas y acumulación de ripios y arenas en los diques aluviales medios, tierras que constituían un apreciable capital a la agricultura .

Las amenazas de extensión de la zona árida en nuestro país, no sólo llegan desde el Norte; desde la costa y en el llano central mismo, están operando factores que condicionarían, a no mediar una acción preventiva eficaz, la imposición de zonas de aridez de muy difícil control .

En la medida que, la ciencia disponga de una información lo más completa posible, sobre la naturaleza de los mecanismos que regulan la sedimentación y sucesivos transportes de arenas, las acciones preventivas de contención de dunas serán de mayor eficacia .

En el estado actual, el estudio de las dunas, en sus diferentes manifestaciones ofrece un campo de acción importante a los investigadores de geografía aplicada.

* * *

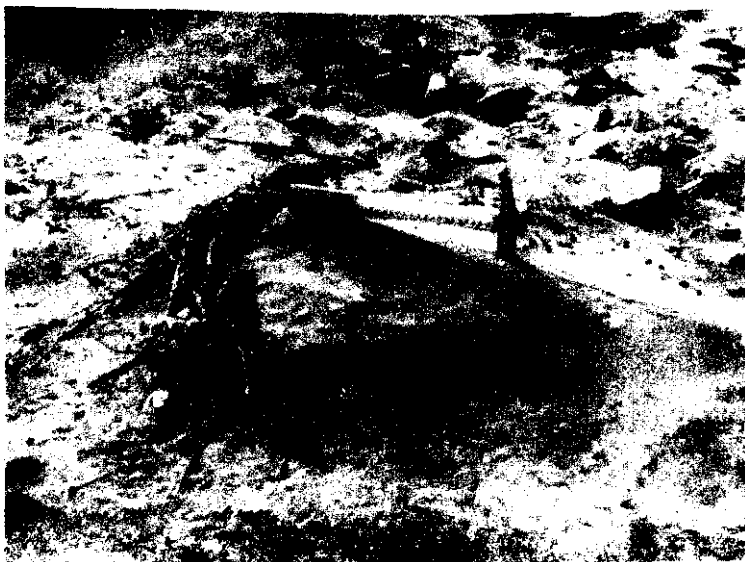


FOTO 1

En esta microduna, queda didacticamente explicado el proceso de acumulación de arenas detrás de un obstáculo. El martillo mide alrededor de 35 cms de longitud y su mango indica, la procedencia del viento. El obstáculo, esto es, las ramas que aparecen a barlovento enfrentan al viento, mientras que, a sotavento se desplaza la duna de cola. Nótese el abrupto cambio de granulometría de las arenas que forman la duna y aquella otra de los alrededores. El lugar corresponde a Los Vilos.



FOTO 2

El viento que se mueve en la dirección de la flecha, ha provocado a sotavento de la empalizada una acumulación mayor que, la que normalmente debía haberse producido. Si se compara con la foto 1 podrá apreciarse que el origen común de ambas dunas es la presencia de un obstáculo.

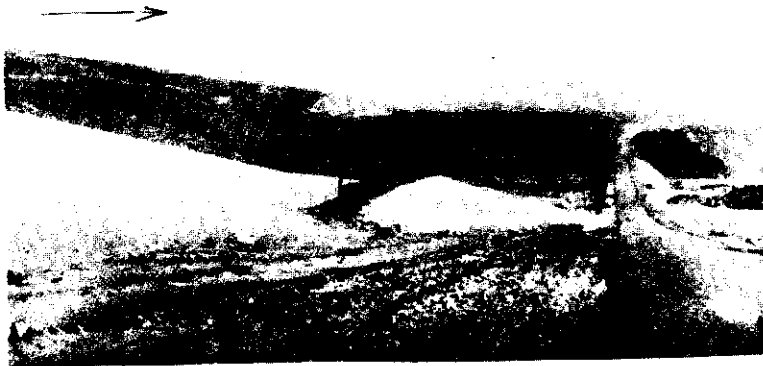


FOTO 3

En el alto de la quebrada El Teniente, al N de ella, la acumulación organizada a sotavento de la empalizada ha formado una duna de cola que amenaza seriamente el tráfico rutero. El concretamiento de esta duna aminoraría este peligro.



FOTO 4

Las dunas de playa Hacienda Agua Amarilla, unos kms. al N de Los Vilos, son mixtas; en parte, algunas de ellas corresponden a barjabas, mientras que las monticulares y longitudinales se esparcen por doquier.



FOTO 5

Una vista de detalle de la foto 3, en el alto de la quebrada de El Teniente, donde se observa el desarrollo de la duna de cola o sotavento sobre el camino.



FOTO 6

En los accesos del puente sobre la quebrada de Quilimarí, la duna ha sido fijada por concretamiento. El resultado puede estimarse satisfactorio, pero el detalle que se distingue, es la nueva acumulación que sobre el concreto se observa al pie de la acumulación. Esto se debe a que, la parte superior de la duna no fué concretada. De este modo el viento provoca deslizamientos desde la cúspide de la acumulación al pie de esta.

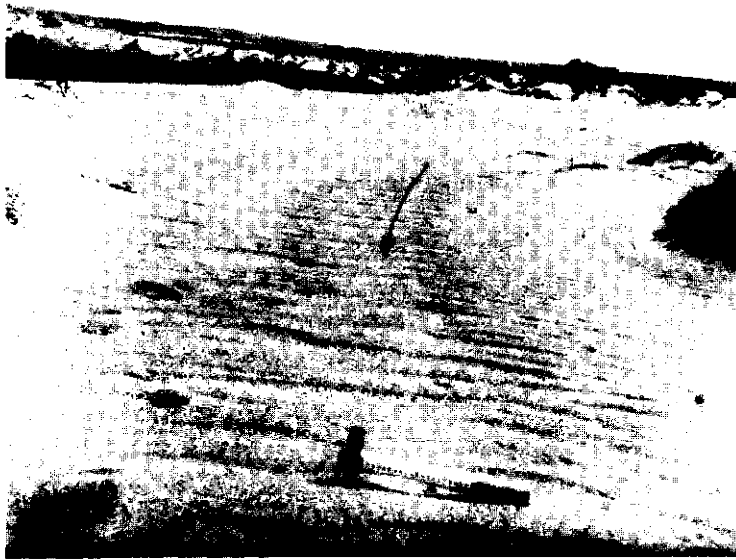


FOTO 7

En un punto a barlovento del plan alto de la duna, en Hacienda Agua Amarilla se observa un "camino del viento" entre acumulaciones monticulares laterales. El martillo se dispone en dirección paralela a los ripple marks y perpendicular a la dirección del viento.

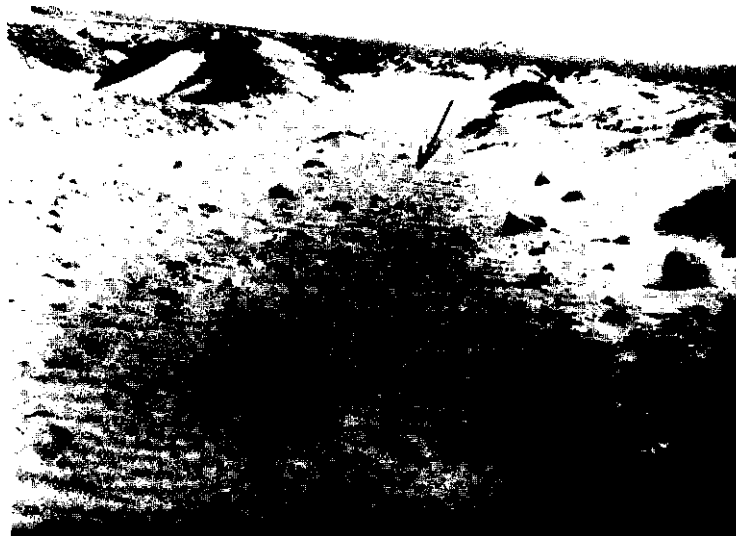


FOTO 8

En la parte culminante del plan alto de la misma duna de la foto 7, se observa un "pavimento" de gruesas arenas y algunos ripples. Estos últimos son el probable resultado de un eluvio por el efecto abrasivo del viento. Este es el sector de la duna, donde la competencia cólica alcanza su más alta expresión.

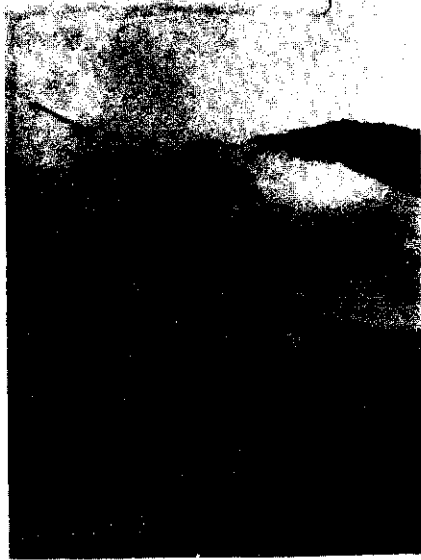


FOTO 9

La duna de cola o sotavento, se caracteriza por una granulometría fina que es el resultado de una competencia selectiva del viento. Estas arenas, en perpetuo movimiento son las más difíciles para una colonización vegetal efectiva. Siempre solicitadas, aún por débiles brisas, los granos de arenas cambian regularmente de posición.

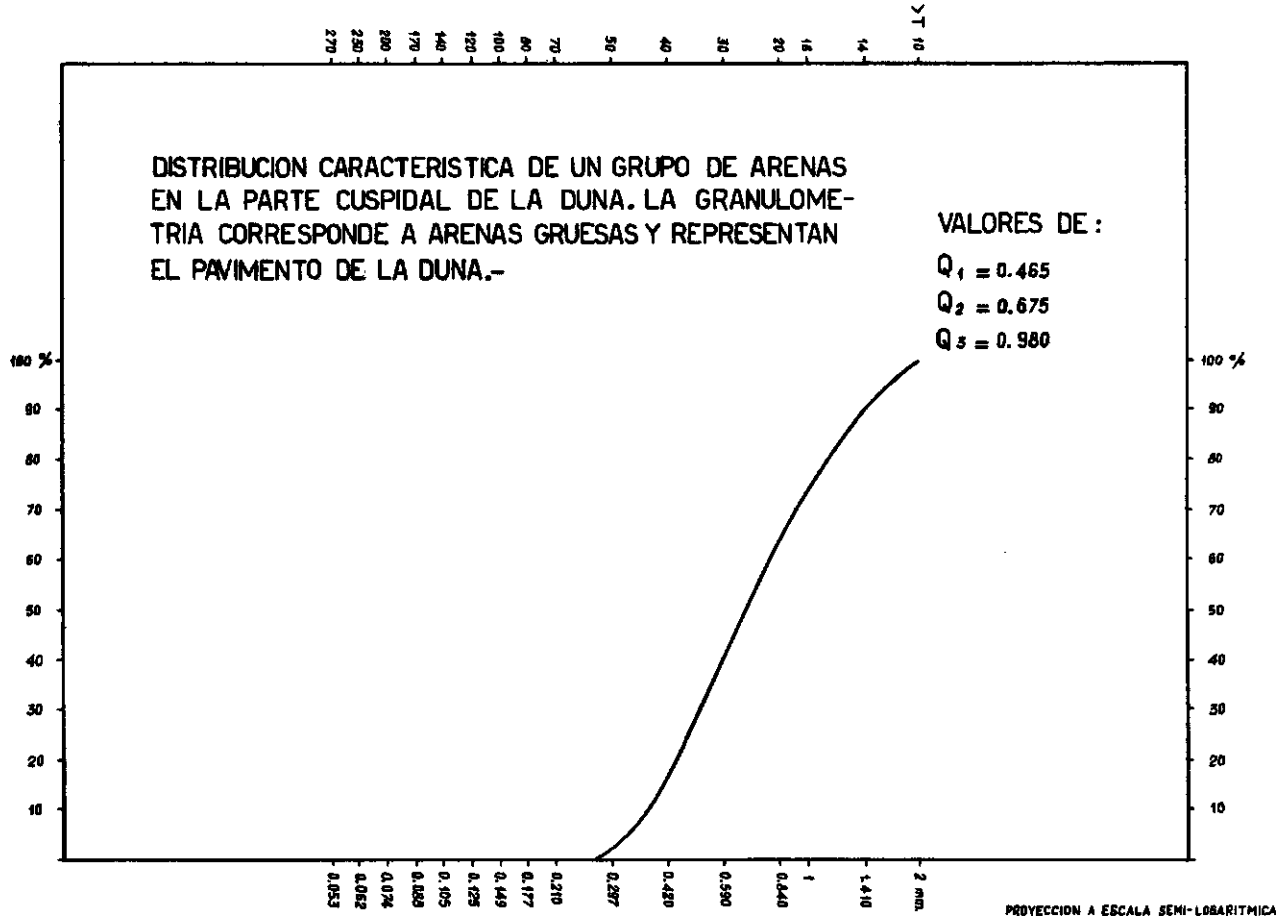


FOTO 10

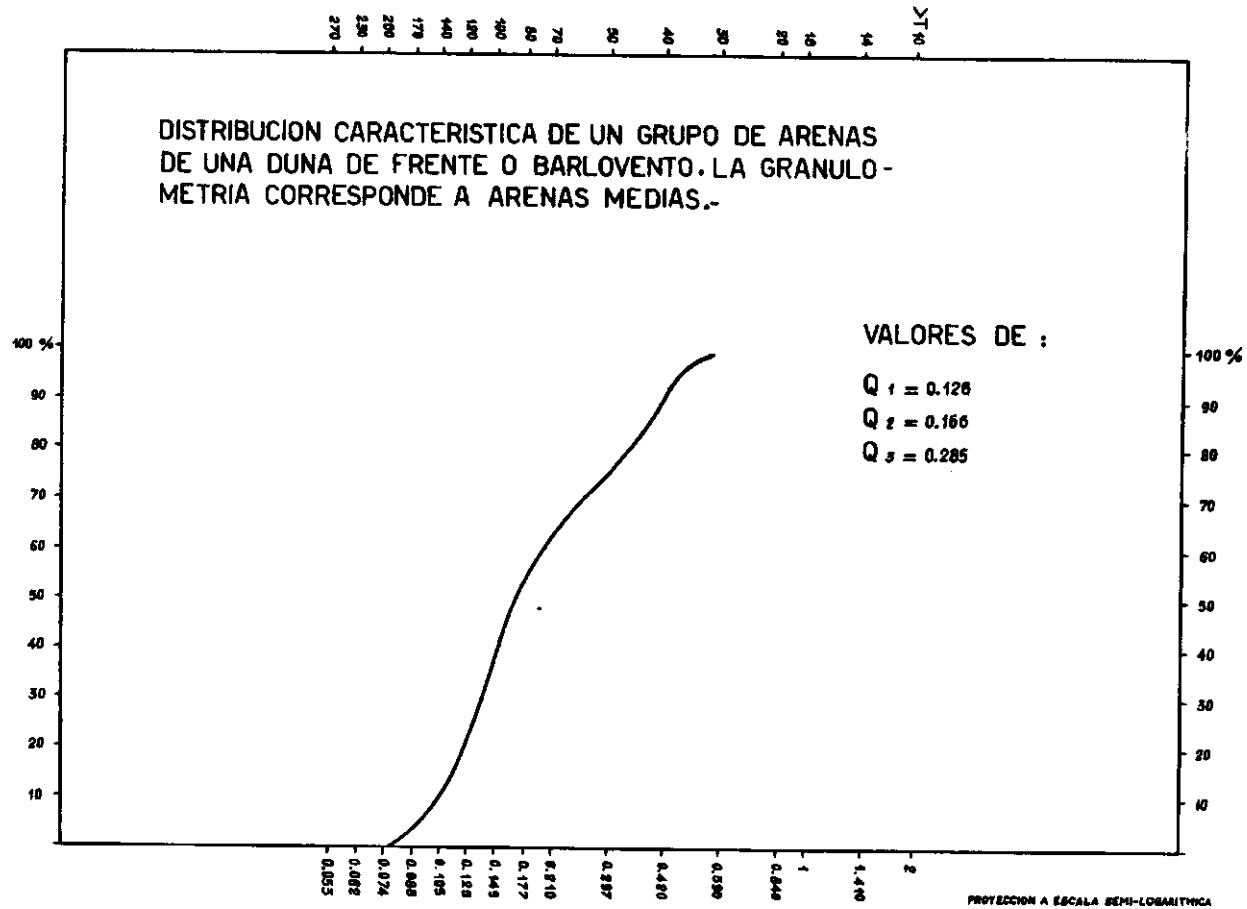
En las dunas monticulares es muy característica la imposición de unas dunas sobre otras. El proceso inicial se indica en la foto. En el ángulo inferior izquierdo la interrupción de los ripple marks en torno de una rama provoca una nueva acumulación. En el ángulo superior derecho, el proceso ya iniciado se presenta en forma de modesto montículo.

APENDICE I
CURVAS GRANULOMETRICAS
ACUMULATIVAS SEMI — LOGARITMICAS

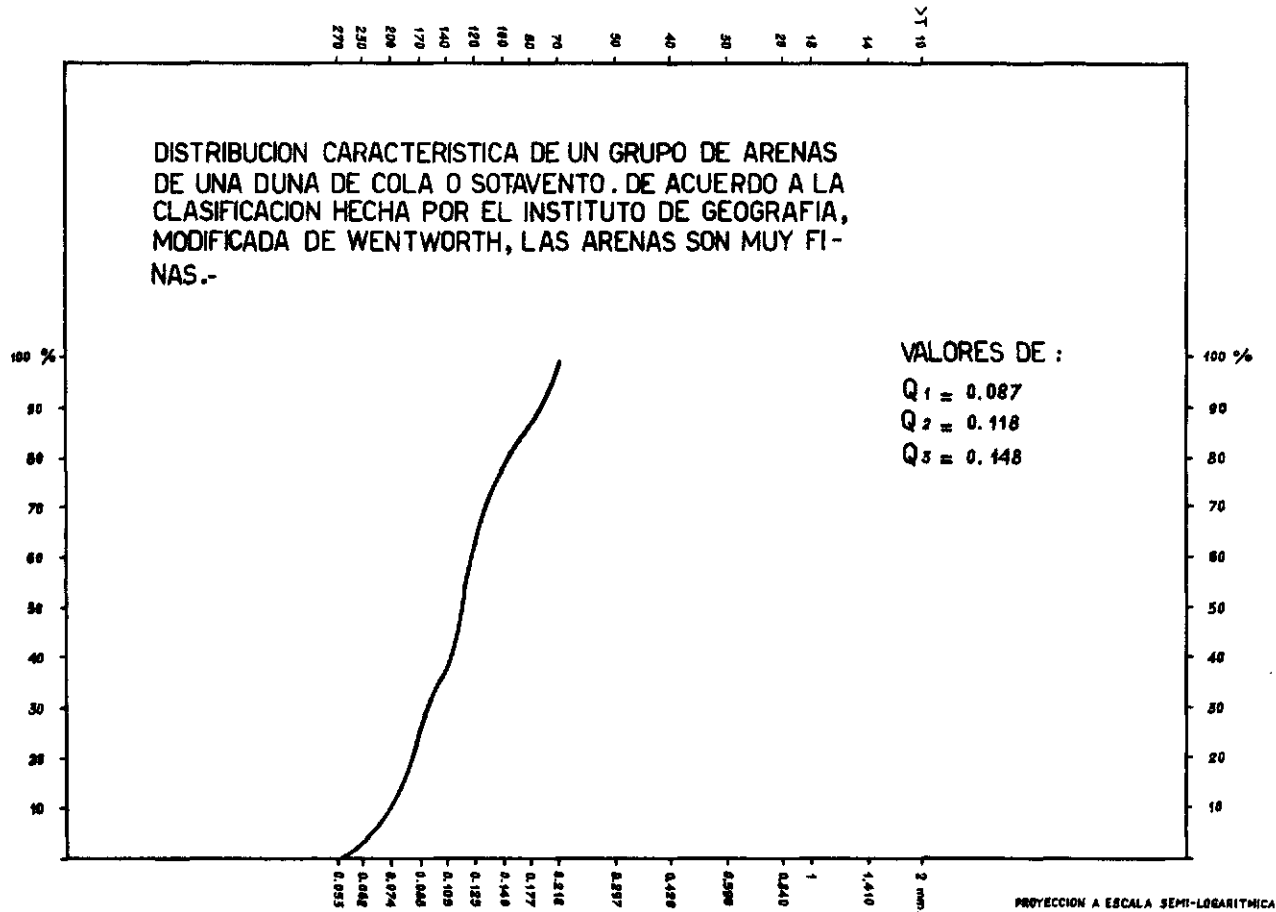
SEDIMENTO Nº RCH 62.11.27.3
 PLAYA HACIENDA AGUA AMARILLA - NORTE CHICO



SEDIMENTO N° RCH 62.11.27.3
 PLAYA HACIENDA AGUA AMARILLA - NORTE CHICO



SEDIMENTO NºRCH 62.11.27.3
 PLAYA HACIENDA AGUA AMARILLA - NORTE CHICO



A P E N D I C E I I
O R I E N T A C I O N B I B L I O G R A F I C A

Considerando que la mayor parte de las ideas expuestas en este trabajo son resultado de experiencias directas del trabajo de campo realizado por el autor en el litoral chileno, nos ha parecido útil presentar una lista de obras y artículos sobre esta materia. Hemos preferido seleccionar aquellos títulos más recientes y en especial, aquellos que discuten o exponen un método de trabajo. De este modo, tanto el geógrafo como el ingeniero pueden valorar por sí mismo, la importancia de conceptos tan útiles como los de competencia eólica, tipos de dunas, dinámica del viento, etc. Algunos títulos tienen antigua data, pero los hemos incluido porque aun son beligerantes en esta materia.

- COTE, MARC - Le vent et ses conséquences en Laponie norvégienne et au Spitzberg - págs. 275 - 293 - Revue de Géographie de Lyon, vol. XXXV, 1960, Nº 3. Con excepción de la obra precedentemente citada, las que se citan a continuación han sido extraídas del GUIDE BOOK DENMARK, Actas del Congreso Internacional de Geografía, Noruega 1960, Editado por Niels Kingo Jacobsen, 372 págs.
- ANDERSEN, S. A. 1935: En Forekomst af looslignende Finsand ved Homborg Vest for Horsens. Medd. f. Dan. Geol. For. 8 p. 477 - 479. Kobenhavn.
- ANDRESEN, C. C. 1861: Om Klitformationen og Klittens Behandling og Bestyrelse. Kobenhavn.
- BAGNOLD, R. A. 1935: The movement of desert sand. Geogr. Jour. 85 p. 342 - 369. London.
- BAGNOLD, R. A. 1937: The size - grading of sand by wind. P. R. S. L. a 163 p. 250-264.
- BAGNOLD, R. A. 1938: The measurement of sand storms. P. R. S. L. a 167 p. 282-291.
- BAGNOLD, R. A. 1951: The movement of a cohesionless granular bed by fluid over it. British Journal of Applied Physics. 2 p. 29 - 34 London.
- BAGNOLD, R. A. 1954: The physics of blown sand and desert dunes. (1. ed. 1941) London
- BRADLEY, J. S. 1957: Differentiation of marine and subaerial sedimentary environments by volume percentage of heavy minerals, Mustang Island, Texas. J. S. P. 27: 2 p. 116 - 125.
- BASCHIN, O. 1899: Die Entstehung Wellenähnlicher Oberflächenformen. Zeit. Ges. für Erdkunde 34 p. 408-424. Berlin.
- BASCHIN, O. 1903: Dünenstudien. Zeit. Ges. für Erdkunde 38 p. 422 - 430 Berlin.
- BEHRENS, S. E. 1953: Morfometrisk, morfogenetiska och tektoniska studier av de nordvästskanska urbergsarna, särskilt Kultaberg. Lund.
- BEHRMANN, W. 1933: in Klute, F. : Handbuch der geographischen Wissenschaft. Allgemeine Geographie I, p. 485-501 . Potsdam.
- BRAUN, G. 1911: Entwicklungsgeschichtliche Studien an europäischen Flachlandsküsten und ihren Dünen. Veröff. Inst. f. Meereskunde 15. Berlin.
- CAILLEUX, A. 1949: Morphoscopie de quelques sables de Palestine. Imprinta del Instituto francés de arqueología oriental. El Cairo.
- CAILLEUX, A. 1942: Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. Mém. Soc. Géol. France 46. Paris.

- CHEPIL, W. S. 1945-6: Dynamics of wind erosion. *Soil Science* 60-61 . Baltimore.
- CHEPIL, W. S. 1957: Sedimentary Characteristics of dust storms. 1. Sorting of wind - eroded soil material . *American Journal of Science*. 255 p. 12-22. New Haven, Connecticut.
- COOPER, W. S. 1958: Coastal sand dunes of Oregon and Washington. *Geol. Soc. of Amer. Memoir* 72 . New York.
- CORNISH, V. 1897: On the formation of sand-dunes. *Geogr. Jour.* 9 p. 278-309. London.
- DIEREN, J. W. VAN 1934: Organogene Dünenbildung. Haag.
- DCEGLAS, D. J. 1946: Interpretation of the results of mechanical analyses. *J. S. P.* 16 p. 19-40.
- DCEGLAS, D. J. 1949: Loess, an eolian product. *J. S. P.* 19: 3 p. 112-117.
- DUCKER, A & MAARLEVELD, G. C. 1958: Hoch - und spätglaziale kolkische Sande in Nordwestdeutschland und in den Niederlanden. *G. J.* 73 p. 215-234.
- EDELMAN, VON C. H. & MAARLEVELD, G. C. 1958: Pleistozän - geologische Ergebnisse der Bodenkartierung in den Niederlanden. *G. J.* 73 p. 639-684.
- EXNER, F. M. 1927: Über Dünen und Sandwellen. *Geogr. Annaler* 9. p.81-99. Stockholm
- FINKEL, H. J. 1959: The barchans of southern Peru. *Jour. Geol.* 67 p. 614-647. Chicago.
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. 1957 BRAZO RIVER BAR: A study in the significance of grain size parameters. *J. S. P.* 27: 27: 1 p. 3-26.
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. 1958: Ver Mason and Folk (1958)
- GERHARDT, P. 1900: Handbuch des deutschen Dünenbaues. Berlin.
- GROSS, N. C. 1847: Vejledning ved Behandling af Sandflugtstrækninger i Jylland. København.
- HACK, J. T. 1941: Dunes of the western Navajo Country. *Geogr. Rev.* 31 p. 240-263. New York.
- HANSEN, S. 1948: En Lossanflejring i NV - Jylland. *Medd. f. Dan. Geol. For.* 11 p. 391-393. København.
- HANSEN, V. 1957: Sandflugten i Thy og dens indflydelse på kulturlandskabet (resumen en inglés) . *Geogr. Tidsskrift* 56 p. 69 -92 København.
- HARRIS, S. A. 1957: Mechanical constitution of certain present-day egyptian dune sands. *J. S. P.* 27: 4 p. 421-434.
- HARRIS, S. A. 1958a: Probability curves and the recognition of adjustment to depositional environment. *J. S. P.* 28: 2 p. 151 - 163.
- HARRIS, S. A. 1958b: Differentiation of various egyptian eolian microenvironments by mechanical composition. *J. S. P.* 28: 2 p. 164 - 174.
- HEFLEY, H. M. & SIDWELL, R. 1945: Geological and ecological observations of some High Plains dunes. *Amer. Jour. Sci.* 243 p. 361. New Haven.
- HOGGOM, J. 1923: Ancient inland dunes of North and Middle Europe. *Geogr. Annaler* 5 p. 113-243 . Stockholm.
- INMAN, D. L. 1949: Sorting of sediments in the light of fluid mechanics. *J. S. P.* 19 p. 51 -70
- INMAN, D. L. 1952: Measures for describing the size distribution of sediments. *J. S. P.* 22 p. 125 - 145.
- JACOBSEN, N. KINGO 1956: Summary: Soil investigations in the salt-marsh area at Tender. Method and interpretation. *G. T.* 55 p. 106-146.
- JACOBSEN, B. & JENSEN, K. M. & NIELSEN, NIELS 1956: Forslag til landvindingsarbejder langs den sønderjyske Vadehavskyst. (resumen en inglés) *G. T.* 55 p.82-87

- JENNINGS, J. N. 1957: On the orientation of parabolic or U-dunes. *Geogr. Jour.* 123 p. 474-480. London.
- JESSEN, A. 1897: Kortbladene Laeso og Anholt. *Dan. Geol. Und.* 1: 4. København.
- JESSEN, A. 1922: Kortbladet Varde. *Dan. Geol. Und.* 1: 4 København.
- JESSEN, A. 1925: Kortbladet Blaavandshuk. *Dan. Geol. Und.* 1: 16 København.
- JONASSEN, H. 1954: Dating of sand-drift east of Uirfborg. *Botanisk Tidsskrift* 51 København.
- JONASSEN, H. 1957: Bidrag til Filsoegnens naturhistorie. (Resumen en inglés) *Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening* 13: 4 p. 192-205. Kbhvn.
- KIHLS TROM, J. E. 1957: Dynfältet på Sandskar i Haparanda skargård. *Geographica* 31 p. 148-165. Upsala.
- KRUMBEIN, W. C. & PETITJOHN, F. J. 1938: *Manual of sedimentary petrography.* New York.
- KUHLMAN, H. 1957 a: Sandflugt og klitdannelse. *Geogr. Tidsskrift* 56 p. 1-19. København.
- KUHLMSN, H. 1957 b: Kornstorrelser i klit og strandsand. *Geogr. Tidsskrift* 56 p. 20-56 København.
- KUHLMAN, H. 1958: Quantitative measurements of eolian sand transport. *Geogr. Tidsskrift* 57 p. 51-74 Kbhvn.
- KUHLMAN, H. 1959: On identification of blown sand. *Geogr. Tidsskrift* 58 p. 182-195. Kbhvn.
- LANDSBERG, S. Y. 1956: The orientation of dunes in Britain and Denmark in relation to wind. *Geogr. Jour.* 122 p. 176-189. London.
- LEMBERG, B. 1933 - 34-35: Über die vegetation der Flugsandgebiete an den Küsten Finnlands. I - II - III. *Acta Bot. Fennica* 12 - 13 - 14. Helsingfors.
- MAARLEVELD, G. C. 1958 a: ver: Dicker & Maarleveld, 1958.
- MAARLEVELD, G. C. 1958 b: ver: Edelman & Maarleveld, 1958.
- MASON, C. C. & FOLK, R. L. 1958: Differentiation of beach, dune and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island. *Texas. J. S. P.* 28: 2 p. 211-226.
- MATSCHINSKI, M. 1955: La formation des dunes dans les déserts. *La Nature* 83 p. 169-175. Paris.
- MATTSSON, A. 1957: Windgeschliffenes Gestein im südlichsten Schweden und auf Bornholm. *Svensk Geogr. Årsbok* 1957 p. 49-68. Lund.
- MELTON, F. A. 1940: A tentative classification of sand dunes. *Jour. Geol.* 48 p. 113-145 Chicago.
- MILTHERS, V. 1925: Kortbladet Bække. *Dan. Geol. Und.* 1: 15 København.
- MILTHERS, V. 1939: Kortbladet Brande. *Dan. Geol. Und.* 1: 18 København.
- NIELSEN, N. & SCHOU, A. 1958: In *Trap: Danmark* 1: 1, 5 edit. p. 9-17 and 32-90 Kbhvn.
- OHLSON, B. 1957: Om Ålsandfältet på Hietatievat i östra Enontekiö. *Terra* 69 p. 129-137. Helsinki.
- OLSON, J. S. 1958: Lake Michigan dune development 1-2-3. *Jour. Geol.* 66. p. 254-263, p. 345-351 and p. 473-483. Chicago.
- PAUL, K. H. 1944 y 1953: *Morphologie und Vegetation der Kurischen Nehrung I (and) II.* *Nova Acta Leop.N.. F.* 13: 96-16: 113. Halle - Leipzig.

- PETTIJOHN, F. J. 1938: *ver Krumbein & Pettihohn, 1938.*
- PETTIJOHN, F. J. 1957: *Sedimentary rocks.* 2 ed. New York.
- RASMUSSEN, KJELD 1956: *Investigations on marsh soils and wadden sea sediments in the Tonder region.* G. T. 55 p. 147-170.
- SCHELLING, J. 1957: *Herkunft, Aufbau und Bewertung der Flugsande im Binnentande.* Erdkunde 11 p. 129-135. Bonn.
- SCHOU, A. 1945: *Det marne forland. Folia Geogr. Danica IV.* Kbhvn.
- SCHOU, A. 1949: *Atlas of Denmark I, The landscapes.* Kbhvn.
- SINDOWSKI, K. H. 1956: *Korngrößen- und Kornform - Auslese beim Sand-transport durch Wind.* Geol. Jahrbuch 71 p. 517 - 526 . Hannover.
- SINDOWSKI, K. H. 1958: *Die synoptische Methode des Kornkurven Vergleiches zur Ausdeutung fossiler Sedimentationsräume.* G. J. 73 p. 235-275.
- SMITH, H. T. U. 1953: *Classification of sand dunes. Abstract in Capot- Rey: Congres geologique international Alger 1952. Comptes rendus 19. session.*
- SMITH, H. T. U. & MESSINGER, C. 1959: *Sand dunes shore - line history in the Provincetown area Cape Cod, Massachusetts. Abstract in Geol. Soc. Amer. Program 1959 Annual Meetings p. 119A . Pittsburgh.*
- SCKOLOW, N. A. 1884; 1894: *Die Dünen, Bildung, Entwicklung und innerer Bau.* Berlin
- SOLGER, F. 1908: *Parabeldünen.* Zeit. Deut. Geol. Ges. 60 Monatsberichte 3 p. 54. Berlin.
- STEENSTRUP, K. J. V. 1894: *Om Klitternes Vandring.* Medd. f. Dan. Geol. For. 1 p. 1-14. Kbhvn.
- SUNDBORG, A. 1955: *Meteorological and climatological conditions for the genesis of aeolian sediments.* G. A. 37: 1-2 p. 94-111.
- SUNDBORG, A. 1956: *The river Klarälven. A study of fluvial processes.* G. A. 38: 2 p. 127-316.
- TANNER, W. F. 1958: *The zig - zag nature of type I and type IV curves.* J. S. P. 28: p. 372-375.
- TRIKALINOS, J. 1928: *Windrippeln.* Petermanns Mitt. 74 p. 266-271 . Gotha.
- UDDEN, J. A. 1914: *Mechanical composition of clastic sediments.* Bulletin of the Geological Society of America. 25 p. 655-744.
- VIBORG, E. 1788: *Eftretning om Sandvexterne og deres Anvendelse til at daempe Sandflugten pa Vestkanten af Jylland.* Kbhvn.
- WALTER, W. 1951: *Neue morphologisch-physikalische Erkenntnisse über Flugsand und Dünen.* Rhein-Main. Forsch. 31. Frankfurt /M.
- WESSELY, J. 1873: *Der europäische Flugsand und seine Kultur.* Wien.
- ZINGG, A. W. 1953: *Wind - tunnel studies of the movement of sedimentary material.* State Univ. Iowa, Stud. in Eng. Bull 34 p. 111-135. Iowa City.

Finalmente, como obra general para el estudio de los mecanismos que rigen la geomorfología dinámica recomendamos la obra en francés de Jean Tricart y André Cailleux "Cours de Géomorphologie - Introduction a la Geomorphologie Climatique" C. D. U. La Sorbonne. Paris.

* * *