

M.<sup>a</sup> P. FUMANAL  
P. CARMONA  
M.<sup>a</sup> J. MEYER

## TRES MEDIOS SEDIMENTARIOS ACTUALES EN EL MEDITERRÁNEO

### RESUMEN

Este artículo se propone la caracterización de las distribuciones granulométricas de tres medios sedimentarios mediterráneos: ambiente fluvial efímero, (ramblas), ambiente sólido, (dunas) y ambiente costero, (playa).

Se utiliza para ello la escala phi en la individualización de los distintos tamaños de grano, trazando curvas de probabilidad logarítmica, y ponderando las subpoblaciones visibles en el trazado de la curva y sus puntos de ruptura.

Finalmente se obtienen las medidas estadísticas de las diferentes muestras al objeto de identificar correctamente la distribución textural de estos sedimentos para así poder posteriormente interpretar por comparación la génesis de depósitos cuya facies sea desconocida.

### ABSTRACT

This paper deals with the characterization of the granulometric distribution in three different sedimentary environments in the mediterranean area: ephemeral fluvial environment, (rambla), eolic environment (dunes) and coastal environment, (shore).

To do this analysis we have used the phi scale to separate the different grain sizes, drawing curves of logarithmic probability with them, and calculating the sub-populations which can be seen from the curve and from the breaking points.

Finally, statistical measurements are obtained from the different samples in order to identify with accuracy the textural distribution of these sediments and then to be able to make a further interpretation of the deposits origin of which the facies are unknown, by means of the comparison with other deposits whose source is well known.

### INTRODUCCIÓN

El estudio de las distribuciones granulométricas debidas a la acción predominante de un agente de transporte en un medio sedimentario concreto, ha sido enfocado por los diferentes especialistas bajo distintos puntos de vista. De una parte, y como ya especifica SUGIO, (1982), un grupo interpreta la composición

textural de un depósito como consecuencia directa de los materiales generadores de los sedimentos, o sea presta especial atención al área madre como responsable del producto final de su desintegración. En este enfoque se puede mencionar a TANNER, (1959), MOGERS et al. (1963), SMALLEY (1966), etc. Otros investigadores apoyan la interpretación hidrodinámica que relaciona directamente las distribuciones granulométricas con los procesos de transporte. Entre ellos figuran, INMAN, (1949), ROSS, (1962), FRIEDMAN, (1967) o VISHER, (1969). Un tercer grupo, trabajando paralelamente, se limita a efectuar un estudio empírico de las distribuciones granulométricas de varios ambientes sedimentarios para intentar una síntesis de relación entre ellos. En esta línea de investigación podemos mencionar los trabajos de UDDEN, (1914), WENTWORTH, (1931), FRIEDMAN, (1961), MASON y FOLK. (1958), FOLK, (1966), SHEPARD, y YOUNG, (1961) y muchos otros.

El presente trabajo sigue preferentemente como línea investigadora, la determinación del comportamiento o respuesta de diversos medios sedimentarios en un ámbito concreto, el mediterráneo, sometido a unas condiciones geomorfológicas y climáticas conocidas.

Las medidas estadísticas extraídas del estudio de un número de muestras tipo constituyen el avance de un intento de síntesis del comportamiento de los medios dinámicos del área estudiada, que, en cualquier momento, podrán ser confrontados con otros ambientes afines o diferentes, relictos o actuales, cuyo estudio requiera un baremo comparativo.

Al efecto de insertarnos en la expresión estadística sedimentológica más extendida y que responde más sensiblemente a las condiciones ambientales, todos los datos obtenidos en la cuantificación se expresan en escala *phi*, con obtención de índices y parámetros cuya adecuación ha sido ya ampliamente comentada y modificada por numerosos autores como son KRUMBEIN, (1938); FOLK y WARD, (1957); FOLK, (1966); FRIEDMAN, (1961); VISHER, (1969); REINECK (1975), y tantos otros. En la línea de trabajo iniciada con este artículo tres ambientes sedimentarios son analizados y determinados estadísticamente, previo conocimiento de sus procesos genéticos. En su elección se ha procurado objetivamente que fueran característicos de un medio concreto e inequívoco de transporte y que reflejaran en su pluralidad las diferencias que pudieran derivarse de la removilización secundaria sin salir del ambiente en que previamente se depositaron.

Así los resultados obtenidos pertenecen a tres zonas de acumulación geográficamente próximas, (fig. 1), en un ámbito típicamente mediterráneo, cuyas particularidades son patentes. La primera refleja las condiciones hidrodinámicas de un medio fluvial efímero representado por un segmento de cauce activo libre de acción antrópica, acotado en dos ramblas, Castellarda y Cervera. El segundo ejemplo se refiere a los distintos microambientes sedimentarios desarrollados en un medio litoral, (Platja de la Romana, Alcalá de Xivert). Finalmente la acción eólica, libre de interferencias secundarias ha sido captada en un ambiente de formación dunar (Delta del Ebro).

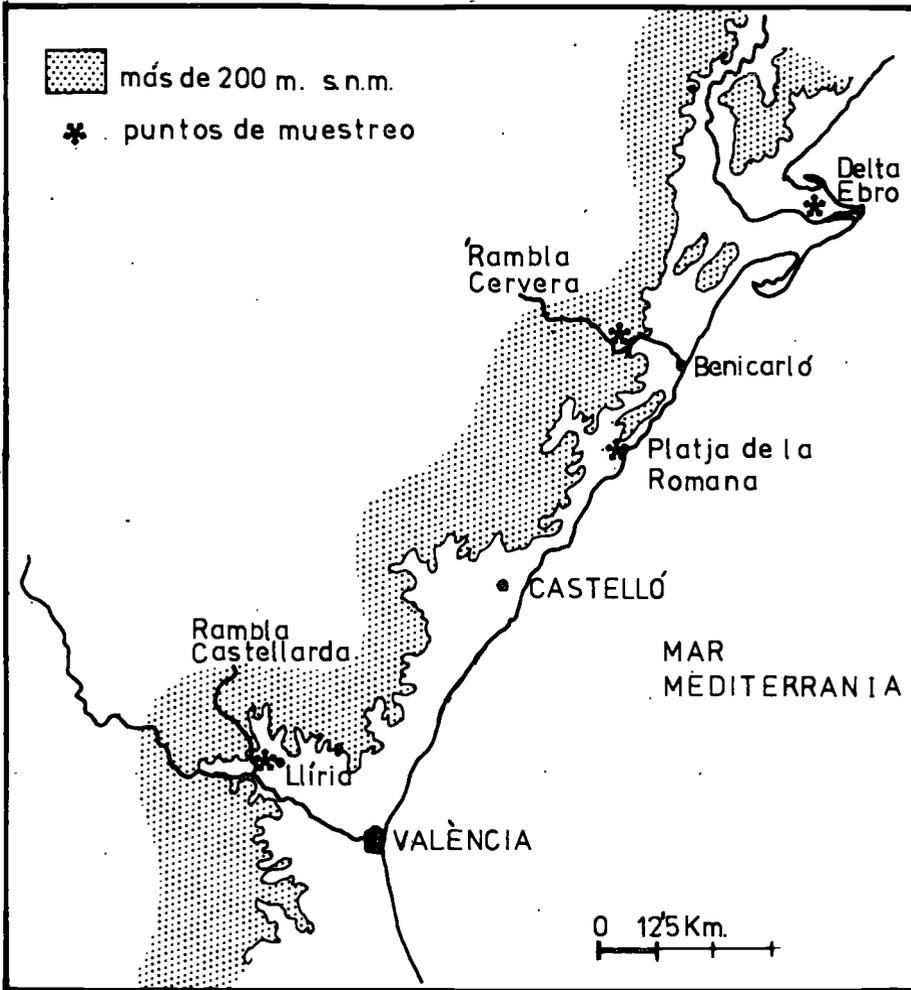


Figura 1.—Plano de situación. Los puntos de muestreo están señalados con un asterisco.

MEDIO FLUVIAL EFIMERO

Localización:	Rambla de Cervera	Coordenadas UTM 31 TBE
	40° 27' 18" N	x = 269059
	0° 16' 36" E	y = 4481925
	Rambla Castellarda	Coordenadas UTM 30 SYJ
	39° 36' 52" N	x = 700650
	0° 39' 45" E	y = 4387670

Este medio fluvial, tan característico en la vertiente mediterránea, presenta unas particularidades sedimentológicas complejas. Su funcionamiento se produce únicamente «con ocasión de sucesos extraordinarios de precipitaciones horarias cuando se supera la capacidad del sistema de drenaje subterráneo», (MATEU, 1982, p. 138), siendo precisamente en este momento cuando se producen todos los procesos sedimentarios propios de este ambiente. Las estructuras formadas por la redistribución de los materiales finos o gruesos quedan fijadas en el cauce cuando cesa la escorrentía y permanecen inalteradas hasta el próximo episodio de circulación de las aguas que, en estas latitudes, puede ocurrir con un lapso intermedio de años.

El criterio que ha guiado la elección de estas muestras ha sido, como en los otros dos casos estudiados, la intención de caracterizar estadísticamente tanto las megaestructuras generales observadas en los cauces activos, como los morfotipos sedimentarios aislados, propios de la amplia gama de subambientes formados en un mismo curso fluvial.

Una gran mayoría de las ramblas observadas antes de iniciar el muestreo presentaban el cauce completamente cubierto por aluviones pedregosos alternando con sectores en que aparecía al descubierto la roca madre. En muy escasos puntos se ha observado formaciones inalteradas de textura fina. Otra dificultad ha constituido el aprovechamiento de los sedimentos groseros en concepto de «áridos», lo que con enorme rapidez ha alterado totalmente las estructuras naturales sedimentarias, especialmente en las inmediaciones de poblaciones, fábricas, etc.

Bajo estas circunstancias se eligió para toma de muestras en primer lugar un tramo del cauce de la Rambla de Cervera, que mantiene una sedimentación activa, homogénea y *pedregosa* a lo largo de todo su curso, y por otro, el último tramo de la Rambla Castellarda, antes de su unión con el río Turia, donde se pudieron encontrar morfotipos sobre *texturas finas* cuya génesis sedimentaria podía adscribirse a procesos bien estudiados.

### *Los sedimentos en la Rambla Cervera*

Este curso fluvial intermitente se inicia en la confluencia de dos barrancos. El Barranco de Salvasória y el de Vallibona. Su cuenca tiene una extensión de 385'5 km<sup>2</sup>, y corre en dirección WE desembocando en el mar cerca de Benicarló. En su recorrido atraviesa dolomías, calizas y calizas dolomíticas jurásicas. Las barras aluviales pedregosas y los pilancones son lo más destacado de la morfología de su cauce.

La elección de este primer punto obedeció al hecho de que esta rambla mantiene libres de alteración antrópica grandes tramos de su cauce. En un principio se pensó en un muestreo sistemático, siguiendo perfiles transversales efectuados de forma aleatoria en el canal. Luego al comprobar una uniformidad constante a lo largo de los sedimentos que van rellenando el cauce, tanto en sus macroestructuras como en la organización del drenaje, se optó por otro método que consistió

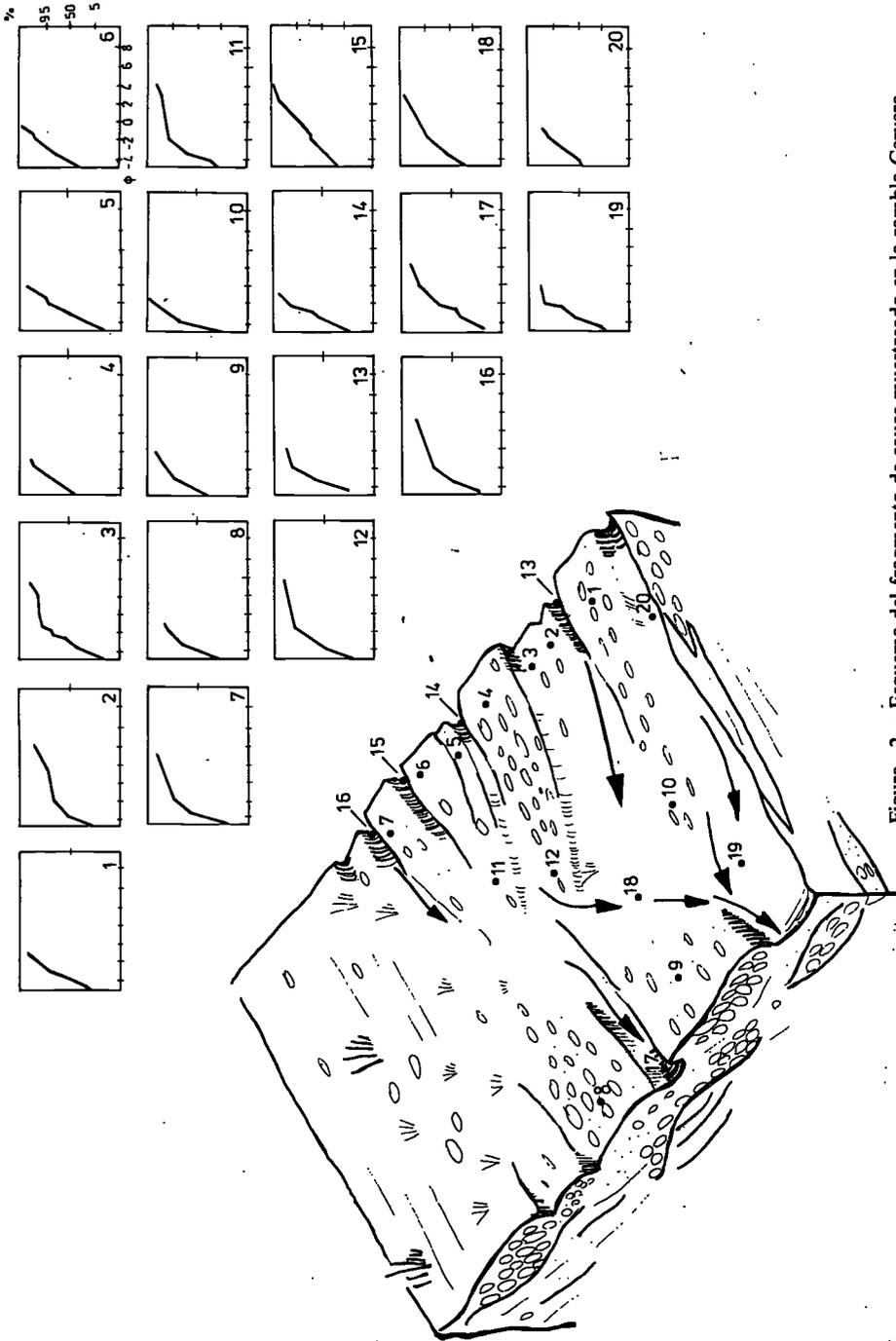


Figura 2.—Esquema del fragmento de cauce muestreado en la rambla Cervera.

en acotar un tramo amplio y representativo del canal activo, efectuando dentro de él un estudio detallado, siguiendo la metodología empleada por WILLIAMS, (1969).

El tramo considerado como unidad de sedimentación (fig. 2), está situado en un meandro de la rambla, al pié del pueblo de Cervera del Maestre. En esta zona el agua había circulado recientemente, siguiendo las pulsaciones pluviales de los máximos de precipitación en primavera (mes de abril 1982), y en el momento del muestreo la zona subsuperficial estaba totalmente húmeda.

Su topografía estaba determinada por tres niveles que siguen la emigración del canal, por la parte convexa del meandro. El superior corresponde a una superficie de aluviones que integran un lóbulo lateral (*point bar*), ya apartados de los cauces activos actuales, y a unos dos metros de altura sobre estos últimos. Esta superficie aparece muy vegetada con matorrales, arbustos y algunos árboles frutales. La segunda superficie, apoyada en la anterior, adopta una forma escalonada, fijada por una vegetación de matorral bajo. La tercera es la correspondiente a la circulación actual.

En la parte cóncava, el río discurre excavando lateralmente la roca cretácica que, a poca distancia y a cierta altura sobre el cauce, sirve de cimiento a la población de Cervera.

Los canales estudiados en la superficie de circulación actual son de curso oscilante y sinuoso, de corto trecho, en su mayoría difuso, excepto cuando se ven forzados en su trayectoria o interrumpidos por la presencia de grandes bloques desprendidos de la masa rocosa que jalona la orilla izquierda. No se ha observado una jerarquización marcada.

Las barras están formadas por gravas y cantos. Su estructura es lobular con la parte anterior de forma apuntada, probablemente a causa de la intersección de los canales. Su disposición en el canal adopta la forma de lentejones transversales y curvos. No se observan microestructuras dentro de estas unidades sedimentarias cuya disposición interna aparece totalmente masiva. La fracción arena, que en mínima proporción se integra en algunas muestras, se deposita en un momento de disminución de la energía del medio, rellenando los huecos formados entre los cantos y generalmente no aparece en las zonas superficiales.

### *Descripción de las muestras*

Su situación exacta se indica en la fig. 2.

- R 1 Corresponde a una barra. Estructura masiva. Sólo contiene material grueso, algo heterogéneo.
- R 2 Barra lobular. Contiene algo de arena. Estructura masiva.
- R 3 Barra lobular. Sin arena. Estructura masiva.
- R 4 Barra muy heterométrica, está formada por un amplio rango de partículas, desde arena hasta bloques de 50 cm.
- R 5 Barra de canal.

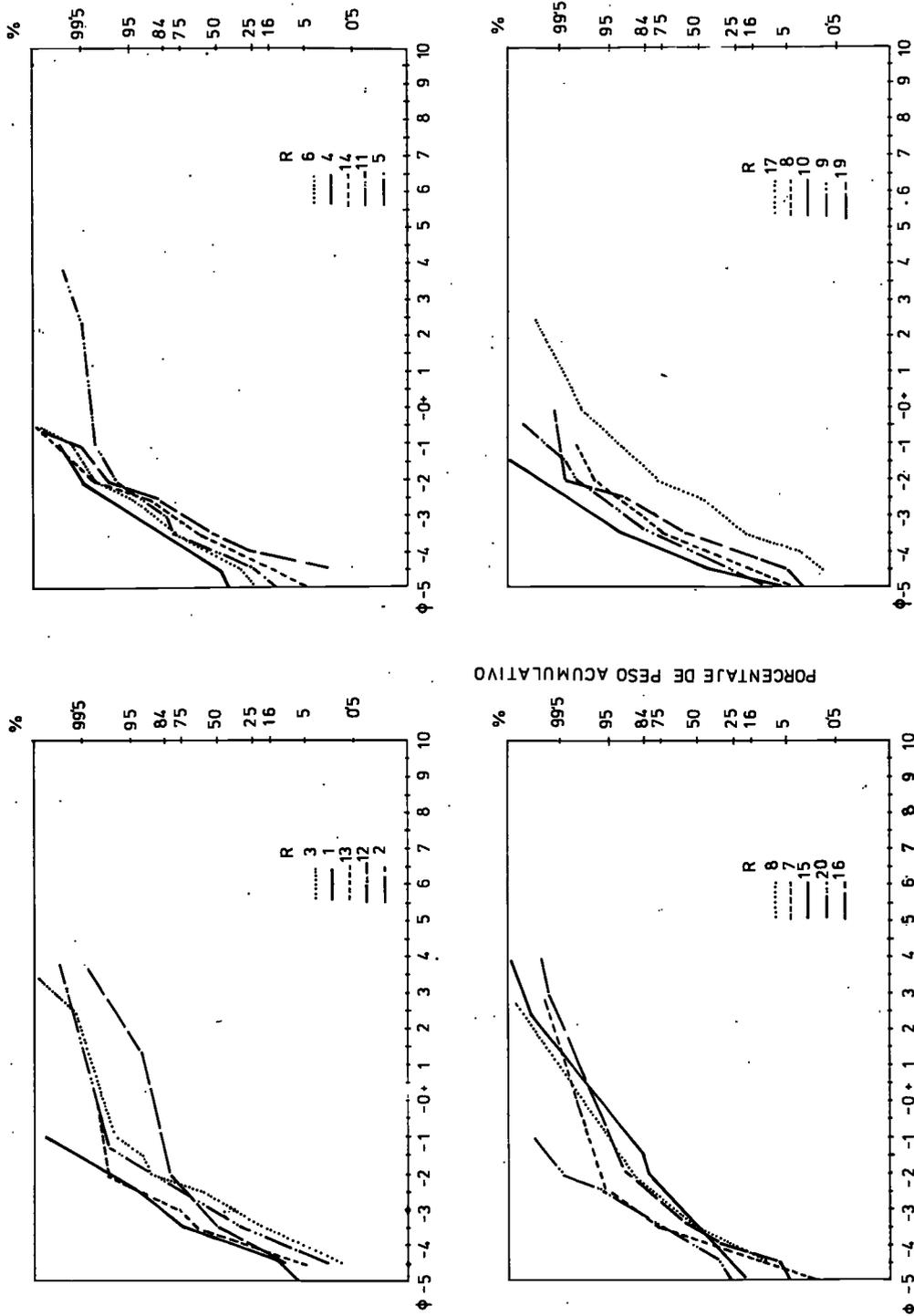


Figura 3.—Curvas acumulativas de sedimentos gruesos y finos de la rambla Cervera:

- R 6 Barra de canal.
- R 7 Barra de canal.
- R 8 Barra de canal.
- R 9 Barra de canal, ancha y plana.
- R 10 Barra muy plana con cantos y bloques de hasta 20 cm. de diámetro.
- R 11 Extremo de la barra n.º 6.
- R 12 Extremo de la barra n.º 3.
- R 13 Cauce pequeño. Disminución del tamaño de cantos. Estructura masiva.
- R 14 Hueco excavado en un pilancón. Heterometría.
- R 15 Cauce.
- R 16 Cauce.
- R 17 Cauce.
- R 18 Canal resuelto en la confluencia de tres canales.
- R 19 Pilancón excavado en cauce cerca de un bloque.
- R 20 Cauce de fondo plano.

### *Comentarios de los análisis y medidas estadísticas*

Las curvas correspondientes a las muestras descritas (fig. 3) tienen en general un trazo rectilíneo, muy empinado y los puntos de ruptura, cuando se dan, no son significativos lo que hace pensar que toda la muestra está formada por una sola población que se ha transportado y depositado en una fase única.

Excepción clara existe en aquellas muestras que contienen una población de arena, dándose entonces un punto de ruptura alrededor de  $-2 \phi$ . Este separa dos poblaciones, la primera, gruesa, bien clasificada, depositada en una primera fase de transporte y una segunda subpoblación de menor tamaño (a veces alcanza la fracción limo), mucho peor clasificada, que se depositaría en una segunda pulsación de menor energía (fig. 4).

Los histogramas en general son unimodales (fig. 5), salvando las excepciones de puntos donde se daba la presencia de cantos aislados de un tamaño fuera de la media, y que por su peso provocan una bimodalidad que no corresponde con la realidad.

La curva granulométrica realizada por separado en las muestras que contenían arena, sobre esta fracción aislada, siguen un trazo lineal, aunque a veces presentan un punto de ruptura hacia  $2 \phi$ , iniciando una forma parabólica propia de los procesos de decantación. (Fig. 4).

Las medidas estadísticas que determinan estos sedimentos están detalladas en el cuadro (1) y sus características generales son las siguientes: El tamaño medio tiene un rango poco amplio, que va del  $-4,36$  al  $-2,83 \phi$ . La clasificación en general es buena, con valores entre el 0,53 al 1,59, aunque la mayor incidencia se da entre el 0,6 y el 0,7.

Este rasgo, que señala la aptitud del medio para segregar un tamaño concreto de partícula, es tal vez el más sorprendente dentro de las características de las me-

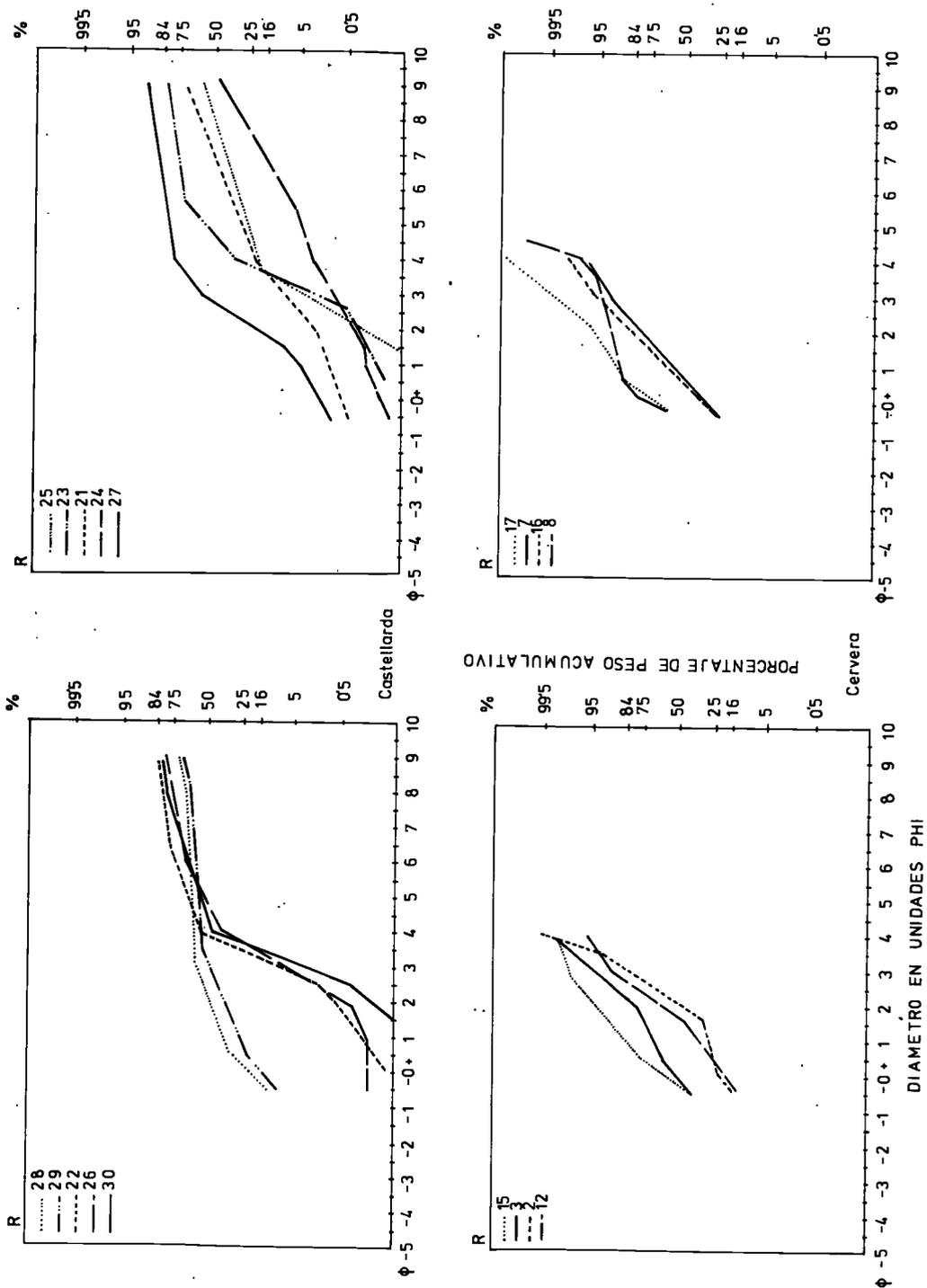


Figura 4.—Curvas acumulativas de sedimentos finos de la rambla Castellarda y Cervera.

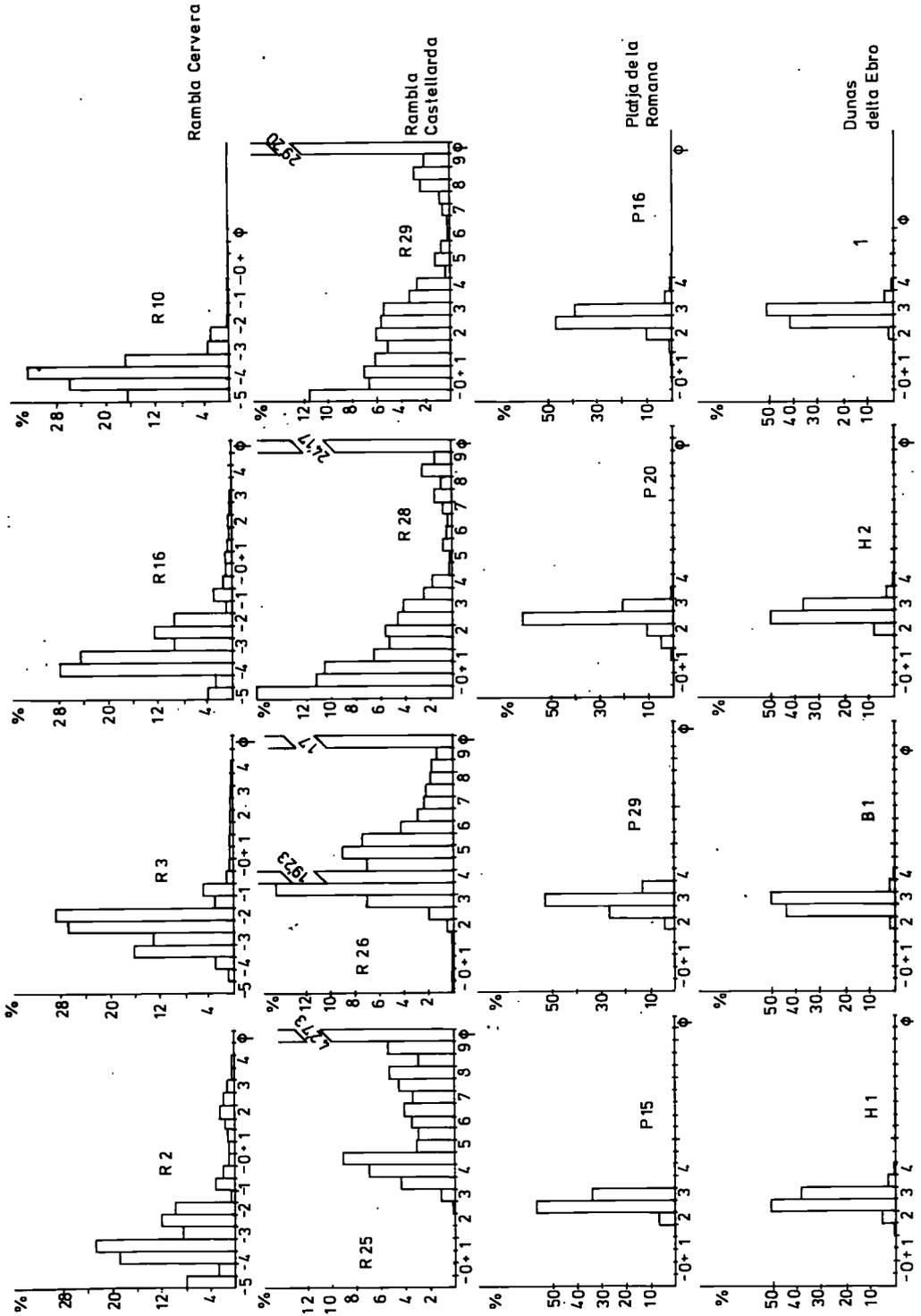


Figura 5.—Histograma de frecuencia de algunas de las muestras analizadas.

CUADRO 1(a)  
RAMBLA CERVERA

Muestra	Clasificación general	Medidas estadísticas		
		Mz	Sk	Kg
R - 1	0,67	-3,83	0,14	1,46
R - 2	1,59	-3,30	0,48	1,83
R - 3	0,75	-2,83	0,02	1,02
R - 4	0,66	-4,30	0,47	0,95
R - 5	0,69	-3,43	0,33	0,86
R - 6	0,75	-4,10	0,28	1,02
R - 7	0,63	-3,83	0,21	1,28
R - 8	0,74	-3,83	0,14	1,33
R - 9	0,71	-4,10	0,12	1,09
R - 10	0,53	-4,36	0,19	0,99
R - 11	0,85	-3,93	0,18	1,10
R - 12	0,77	-3,03	0,12	0,93
R - 13	0,64	-3,63	0,35	0,95
R - 14	0,83	-3,70	0,14	1,10
R - 15	1,57	-3,26	0,22	0,89
R - 16	1,02	-3,40	0,27	1,05
R - 17	0,96	-2,90	0,82	1,05
R - 18	0,84	-3,70	-0,18	0,32
R - 19	0,64	-3,50	0,18	0,95
R - 20	0,72	-4,06	0,14	0,94

En los cuadros 1a, 1b, 2 y 3 quedan reflejados los valores de las medidas estadísticas de las muestras analizadas. Exceptuando el cuadro 1a, que corresponde a materiales gruesos, se expresa el porcentaje de las distintas poblaciones que integran la curva, con indicación de los puntos phi de ruptura entre ellas.

Abreviaturas:

PBL.	Población.
Mz	Calibre medio de partícula.
Sk	Asimetría.
Kg.	Aplanamiento.

didias estadísticas. Probablemente estará determinado por unas condiciones de flujo bastante uniformes y enérgicas, que ven forzada la deposición por la propia geometría del cauce, que en este punto cambia su dirección al formar el meandro, propiciando una acumulación de tipo forzado y sobre un tamaño homométrico de partícula, continuando el transporte de las fracciones más finas.

El valor SK, siempre positivo, oscila entre 0,02 a 0,82, y está explicado por la forma de trazo hiperbólico de las curvas que, como ya es conocido en los sedimentos fluviales añade una pequeña «cola» en los materiales finos, subordinados.

a otra población principal que en este caso será la grava, a la que se añade en una segunda fase, provocando el valor siempre positivo de este índice estadístico.

Cabe resaltar la homogeneidad de las cuatro medidas estadísticas en todas las muestras, constatando que no queda reflejada en los parámetros una diferenciación entre las morfo estructuras señaladas de canales y barras.

### *Los sedimentos de la Rambla Castellarda*

Este curso fluvial se inicia en la confluencia de las ramblas de Castell y Artaj. Su lecho corre en dirección aproximada N-S atravesando calizas cretácicas y arcillas y margas miocenas para desembocar en el río Turia cerca de Vilamarxant. En su cauce de tipo *braided* (entrelazado) se han observado estructuras sedimentarias en textura fina.

El tramo acotado para efectuar el muestreo se eligió siguiendo un criterio de identificación individual de morfotipos del cauce actual correspondientes a procesos cuya génesis fuese conocida. Se trata de estructuras acumuladas durante el transporte y deposición que serían las barras y *ripples* formados dentro del canal o en la superficie un poco más elevada correspondiente al llano de inundación. Asimismo las estructura post-deposicionales, corresponden a los procesos de decantación del sedimento más fino en cubetas aisladas con una posterior desecación y agrietamiento. Se atendió exclusivamente a la localización en el canal activo, procesos sedimentarios y estructuración interna.

CUADRO I(b)

#### RAMBLA CASTELLARDA

Muestra	Clasif. general	Pobl. rodación		Pobl. saltación		Suspensión %	Medidas estadísticas		
		%	ruptura	%	ruptura		Mz	Sk	Kg
R - 21	2,92	3,25	2	20,50	4	48,75	6,70	0,03	0,70
R - 22	2,41	2	2,5	48,75	4	34,25	5,16	0,74	1,15
R - 23	2,42	0,62	2,5	39,38	4	42	5,66	0,61	1,41
R - 24	1,98	0,25	1	4,75	4,5	31,5	8,66	-0,31	1,06
R - 25	2,91	—	—	20	3,8	37,5	7,26	-0,14	0,50
R - 26	2,51	0,4	1,9	42,22	4	39,38	5,60	0,55	0,86
R - 27	2,35	6,5	1	73,50	4	11,50	3,26	0,55	2,24
R - 28	4,47	40	0,6	25	3,15	10	3,73	0,55	0,55
R - 29	4,34	26,20	0,5	31,30	3,5	15	4,20	0,41	0,56
R - 30	2,42	0,37	2,5	49,63	4	34	5,50	0,77	0,85

*Descripción de las muestras*

En la zona del cauce que funcionaba como llano de inundación se observó procesos de decantación de sedimento fino, estructuras laminadas y estratificación cruzada.

Siguiendo una trayectoria transversal se obtuvieron las siguientes muestras:

- R 21 Textura fina. Extratificación masiva.
- R 22 *Ripple*, con estratificación planar.
- R 23 Estratificación cruzada en textura fina.

En la zona del canal se reconoció procesos de circulación rápida y decantación en cubetas marginales. Se obtienen las muestras:

- R 24 Lámina de decantación sin arena de fondo en cubeta de dentro del canal.
- R 25 Lámina de decantación con arena de fondo en cubeta de canal.
- R 26 Barra arenosa en canal con estratificación cruzada.
- R 27 Barra arenosa en canal, estratificación cruzada.
- R 28 Gradación negativa en barra de canal. Textura de grava y arena.
- R 29 Gradación positiva en barra de canal.
- R 30 Estructura laminar y entrecruzada, con decantación de arcilla en la parte superior.

*Comentario a los análisis de las muestras*

Las curvas correspondientes a las muestras descritas en el llano de inundación (fig. 4), tienen un trazo típicamente fluvial, con forma hiperbólica. Los puntos de ruptura entre las sub-poblaciones presentes son también próximos a los fluviales; en el 2 *phi* se pasa de la población en rodamiento a la de saltación, ocurriendo una segunda ruptura alrededor del 4 *phi* donde comienza a extenderse una mal clasificada población en suspensión. Los histogramas también reflejan la preponderancia de la arena fina y arcilla. Las medidas estadísticas correspondientes, dan un parecido tamaño medio y una clasificación discreta. El SK, siempre positivo, como es propio de los medios fluviales, presenta mínimas oscilaciones.

En cuanto a las tomadas en el canal activo, con gradación positiva o negativa en su estructura interna, dan como resultado una curva hiperbólica que se divide en dos puntos de ruptura (fig. 4). Queda patente su bimodalidad. Mala clasificación y similar tamaño medio.

Las muestras correspondientes a decantación en cubetas adoptan la forma parabólica si pertenecen a las laminaciones formadas por la decantación de la ar-

cilla, e hiperbólica cuando se toma la muestra incluyendo la arena del fondo. Los histogramas señalan un máximo en la fracción arcillosa. Su tamaño medio queda dentro del rango arcillo-limoso y la clasificación es moderada.

#### UN MEDIO LITORAL

Localización:	Platja de la Romana Alcalá de Xivert (CS)	Coordenadas: UTM 31 -TBE
	40° 14' 20'' N	x = 268250
	0° 16' 32,9''	y = 4457910

La playa estudiada se encuentra situada entre Torreblanca y Peñíscola, al SE de la Serra d'Hirta y al NW de la desembocadura del río de les Coves o de Sant Miquel. Está resguardada de los vientos de componente N y NW por la mencionada sierra, por lo que predomina el de levante y el de SE (garbí). Se ha formado por la incidencia marina sobre sedimentos cuaternarios de abanico aluvial que dan lugar por el E a un resalte de unos 2 m. de altura que cierra la playa y por el S a un cantil de 3 m. Por el N, un relieve de roca caliza de menor altura se prolonga dentro del mar hasta unos 3-4 m de profundidad, protegiendo la playa de corrientes y favoreciendo la sedimentación en la misma. Su forma pues es semielipsoide, con una longitud aproximada de 400 m. por unos 100 m. de anchura.

#### *Descripción de las muestras*

El muestreo se ha realizado en función de tres puntos de vista diferentes:

- A) Estructuras sedimentarias formadas por flujo eólico o de oscilación marina. (fig. núm. 6: X, V, Z.)
- B) Zonas individualizadas en función de la diferente intensidad de flujo dentro del medio estudiado. (fig. núm. 7.)
- C) Muestreo de una *catena* efectuada en relación a un punto fijo de la costa, comprendiendo desde el punto máximo de inundación de pleamar hasta una profundidad de 3,5 m, con la finalidad de observar las variaciones sufridas por un sedimento procedente de unas fuentes de aprovisionamiento en principio comunes y comprobar metodológicamente la variabilidad de este material en función de la intensidad de flujo, así como su interrelación según pasa de un ambiente subacuático a otro totalmente subaéreo. (Fig. n.º 8.)

Se trata de *ripples* cuya estructura se debe a corrientes de flujo poco intenso, (eólico), u oleajes de baja energía, (oscilación). Su disposición interna es cruzada y sus láminas presentan una inclinación que da lugar a un ángulo máximo que, según MCKEE (1966), oscila entre 20 y 35° en el sentido de la corriente; dicho án-

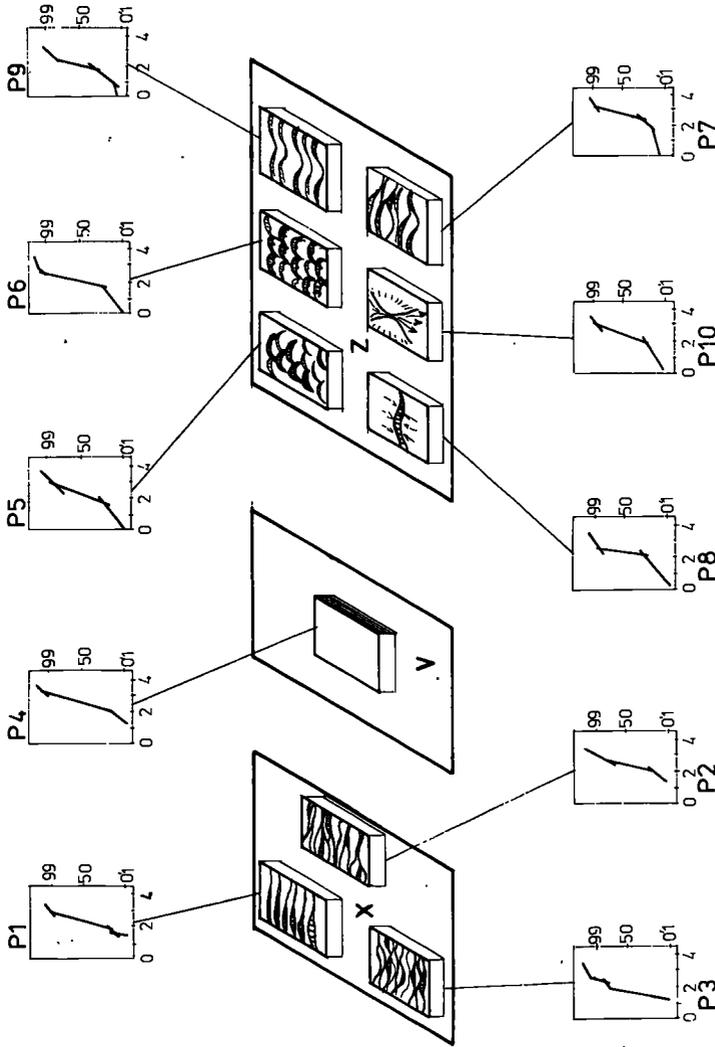


Figura 6.—Curvas acumulativas e identificación de morfotipos sedimentarios en la playa.

gulo no variará con la diferencia de tamaño de la estructura. Atendiendo a su génesis, hemos clasificado los ripples estudiados en:

*Ripples* de corriente unidireccional o eólicos

Sinuoso, en fase	P-1
Sinuoso desfasado	P-2
Anastomosado	P-3

Por su morfología externa, los ripples desarrollados sobre una superficie de arena seca pueden recordar a los formados bajo el agua, pero el mecanismo de transporte eólico de la arena es fundamentalmente la saltación y reptación superficial, lo que les confiere unas características que no se dan en los sub-acuáticos.

*Ripples* de corrientes de oscilación (*wave ripples*)

Linguoide	P- 5
Creciente o media luna	P- 6
Anastomosado	P- 7
Sinuoso asimétrico	P- 8
Sinuoso en fase	P- 9
Oleaje	P-10

Estas estructuras sedimentarias debidas a corrientes de oscilación son ondulaciones simétricas, generalmente producidas por el oleaje sobre sedimentos no coherentes. Según demuestra INMAN (1957), su presencia y tamaño está en función de dos variables: la velocidad del oleaje o intensidad de flujo y la granulometría del sedimento, formándose en la superficie arenosa sub-acuática cuando la velocidad de propagación de la onda sobrepasa los 9 cm./seg., desapareciendo cuando excede los 90 cm/seg. debido a que a partir de este límite de velocidad las partículas de sedimento no se desplazan formando órbitas sino con un movimiento laminar más o menos paralelo. Según la intensidad de flujo, aparecen en primer lugar los *ripples* de crestas rectilíneas (*straight crested*), más o menos paralelas, que corresponden a estructuras de baja energía. Si la intensidad de flujo aumenta aparecerán los *ripples* ondulatorios, que son una forma de transición entre éstos y los linguoides, desarrollados ya bajo condiciones de alta energía. Estos últimos, presentan sus crestas discontinuas y truncadas, extendiéndose en el sentido de la corriente en forma de lengua o lóbulo.

*Estratificación paralela planar P-4*

Obedece a condiciones de alta energía. Las capas que la forman no presentan elevaciones ni depresiones y la arena pertenecerá principalmente al tamaño medio y grueso.

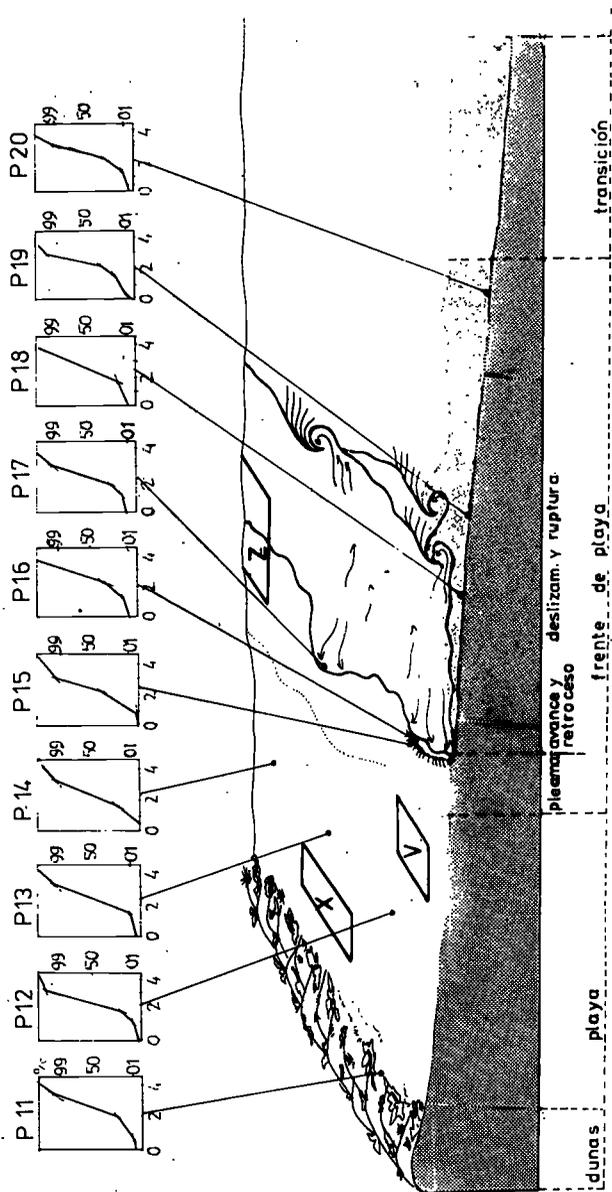


Figura 7.—Curvas acumulativas y localización de puntos de muestreo en la playa.

B) Se ha dividido la playa en zonas individualizadas, dentro de dos grandes grupos (fig. 7):

Frente de playa:

Zona profunda, inmediata al rompiente ( <i>offshore</i> )	P-20
Rompiente de olas ( <i>breaker</i> )	P-19
Zona de oleaje ( <i>surf</i> )	P-18
Transición	P-17
Cordón de acumulación de playa ( <i>berm crest</i> )	P-15
Zona pre-estrán ( <i>swale</i> )	P-16
Playa, ( <i>estrán</i> ):	P-14
	P-13
	P-12
	P-11

C) Area de oleaje, rompiente transición y playa, hasta el punto máximo de pleamar (fig. 8):

	P-21
	P-22
	P-23
	P-24
	P-25
	P-26
a 1 m. profundidad	P-27
a 1,5 m. profundidad	P-28
a 2 m. profundidad	P-29
a 2,5 m. profundidad	P-30
a 3 m. profundidad	P-31
a 3,5 m. profundidad	P-32

### Resultados

Las curvas pertenecientes a procesos de removilización por las olas, (*ripples* del recuadro Z y curvas de oleaje), presentan gran variabilidad de formas y sus características son:

- Población en rodamiento mal clasificada.
- Población en saltación con clasificación excelente y con un punto de ruptura intermedio.
- Población en suspensión mínima, con un punto de ruptura con la población en saltación, alrededor del  $3\phi$ .

Como excepción, los *ripples* linguoides y de barra intramareal tienen muy bien desarrollada la población en rodamiento.

La zona de ruptura de olas tiene la población en rodación muy pobre y a veces no existe la población en suspensión. (fig. 9).

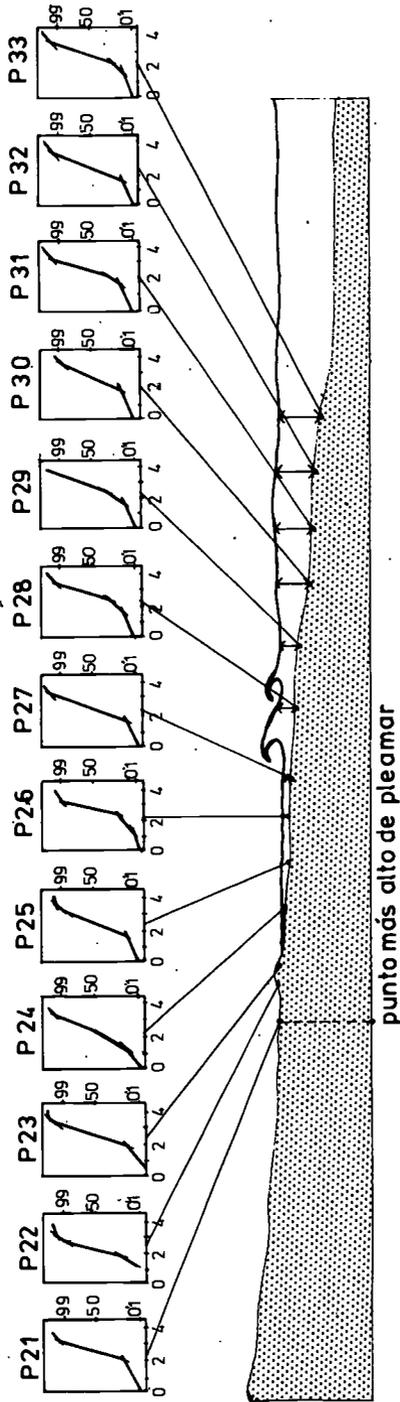
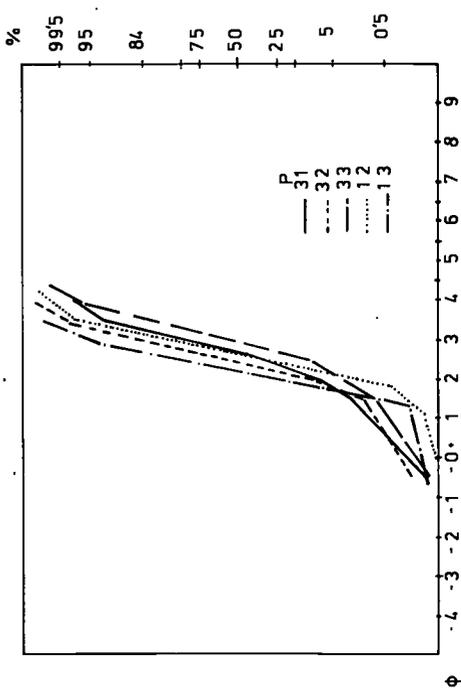
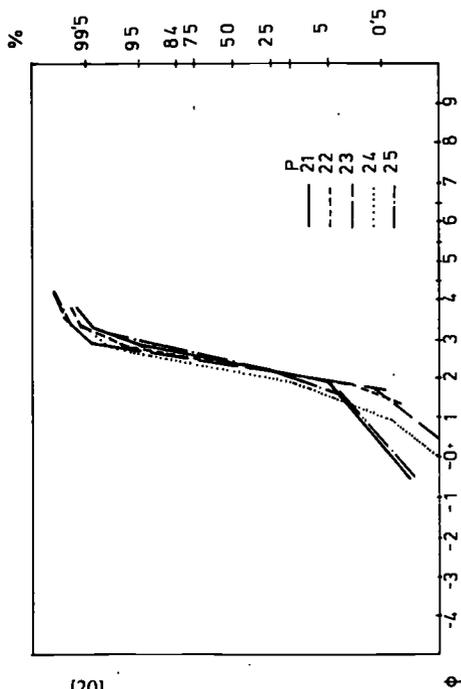
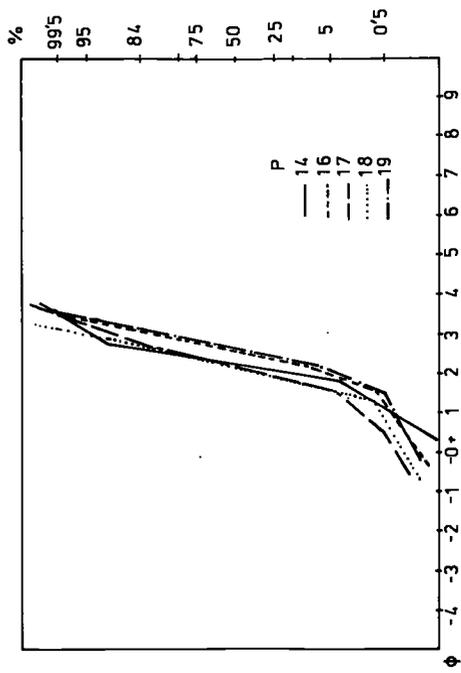
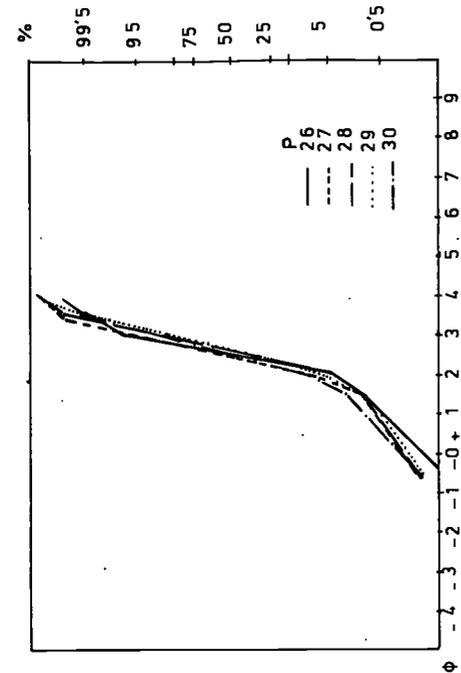


Figura 8.—Curvas acumulativas y puntos de muestreo de la catena realizada en la playa.



[20]

Figura 9.—Curvas acumulativas de la Platja de la Romana.

Curvas pertenecientes a los procesos eólicos. Ripples del recuadro X y duna:

- Población en rodamiento ausente. Si existe, es siempre inferior al 2%.
- Población en saltación óptimamente clasificada, sin la presencia de puntos de ruptura intermedios.
- Población en suspensión bien clasificada.

La duna presenta menor clasificación de la que cabría esperar en un depósito de este tipo, debido a la existencia de vegetación, que actúa como obstáculo al recorrido de los granos y a una sedimentación libre.

Respecto a los sedimentos en la zona de frente de playa y *estrán*, ofrecen las siguientes características:

- Población en rodación pequeña y mal clasificada.
- Población en saltación a veces con pequeños puntos de ruptura, y muy bien clasificada.
- Población en suspensión mínima en todas ellas.

La buena clasificación general en las curvas puede deberse a que los vientos intervienen activa y continuamente en la dinámica de la sedimentación.

### *Catena*

- Población en rodamiento mejor clasificada de todo el conjunto y en porcentajes mayores conforme se avanza en profundidad.
- Población en saltación bien clasificada y sin puntos de ruptura internos.
- Ausencia de población en suspensión.

Respecto a la posible fuente de suministro de los materiales, siguiendo a *McLaren* (1981), podría señalarse la zona de frente de playa u oleaje, como última fuente de suministro para las muestras de playa, (*estrán*), ya que presenta las condiciones del caso III (pág. 614), el cual obedece a una deposición selectiva en el transporte, debido a que la energía en el proceso es decreciente, los valores de SK son más positivos, el Mz es igual y la clasificación es mejor que la de la fuente de origen. (Cuadro 2).

Asimismo las muestras del *estrán* son la fuente última de suministro de las dunas, y de los morfotipos eólicos. Siguiendo las mismas características del paso III, se redepositan los materiales de esta playa mediante una última selección eólica.

### UN MEDIO EOLICO

Localización	Delta del Ebro	Coordenadas UTM 31 TCS
	40° 49' 34" N	x = 309500
	0° 44' 27" E	y = 4522000

El Delta del Ebro se extiende a lo largo de una franja de unos 23 Km. de longitud por 5 de anchura, con dirección NNWSSE, formando una llanura con una

CUADRO 2  
PLATJA DE LA ROMANA

Muestra	Clasif. general	Pobl. rodación		Pobl. saltación		Suspensión %	Medidas estadísticas		
		%	ruptura	%	ruptura		Mz	Sk	Kg.
P - 1	0,19	2	2	94	3	4	2,70	0,16	1,22
P - 2	0,28	2	2	97,50	3,5	0,5	2,60	0,05	0,92
P - 3	0,17	—	—	99,50	3	0,5	1,90	0,25	1,63
P - 4	0,24	0,03	2	96,97	3,2	3	2,66	-0,10	1,09
P - 5	0,41	8	1,8	91,80	3,5	0,2	2,43	-0,33	1,14
P - 6	0,27	1,5	1,5	97,50	3	0,1	2,36	-0,20	1,36
P - 7	0,40	7	1,7	92,60	3,5	0,4	2,36	-0,17	1,22
P - 8	0,33	16,	2,4	83,60	3,3	0,4	2,60	-0,16	1,22
P - 9	0,40	1	1	98,90	4	0,1	2,13	0,17	1,22.
P - 10	0,33	2	1,4	97	3	1	2,26	0,16	1,22
P - 11	0,30	2,5	2	97,50	3,25	1	2,56	0,26	1,02
P - 12	0,30	0,3	1,5	99,50	3,25	0,2	2,40	0,00	1,02
P - 13	0,30	0,1	1,5	97,90	3	2	2,36	0,26	1,02
P - 14	0,22	0,15	1,5	97,50	3	1	2,53	-0,03	1,63
P - 15	0,28	—	—	98	3	2	2,4	-0,05	0,92
P - 16	0,31	0,75	1,4	99,25	—	—	2,4	-0,04	1,12
P - 17	0,39	2,5	1,5	97,50	—	—	2,40	0,03	0,88
P - 18	0,34	0,75	1,5	97,25	—	—	2,4	-0,35	1,12
P - 19	0,31	0,5	1,4	98,50	3,5	1,5	2,53	-0,21	1,12
P - 20	0,29	0,3	1,5	98,90	3,4	0,8	2,66	-0,14	1,51
P - 21	0,30	5	2	94,20	3,5	0,8	2,5	0,00	1,02
P - 22	0,24	—	—	99,60	3,5	0,4	2,46	-0,15	1,09
P - 23	0,27	0,75	1,8	98,25	3	0,5	2,43	-0,29	0,81
P - 24	0,39	0,3	1	98,20	3	1,5	2,1	0,03	1,06
P - 25	0,36	3	1,5	96,80	3,5	0,2	2,4	-0,04	0,90
P - 26	0,28	4,5	2	93,50	3	1,5	2,5	-0,05	0,92
P - 27	0,34	1,5	1,5	98,30	3,5	0,2	2,46	-0,11	1,12
P - 28	0,31	1,2	1,5	98,60	3,5	0,2	2,6	-0,04	1,12
P - 29	0,35	1,25	1,5	98	3,5	0,8	2,63	0,07	1,22
P - 30	0,42	3	1,5	96,50	3,5	0,5	2,53	-0,22	1,53
P - 31	0,41	2,5	2	96,50	3,5	0,2	2,63	-0,19	1,14
P - 32	0,34	1	1,5	98,80	3,5	0,2	2,46	-0,11	0,90
P - 33	0,37	0,5	1,5	99	4	0,5	3,03	0,03	1,06

superficie de 28.260 has, que adopta una disposición triangular, con dos prologaciones o brazos laterales que parten del mismo frente deltaico.

El clima de esta zona ofrece una precipitación media comprendida entre 400-700 mm anuales, mientras que las temperaturas son suaves, dándose las más elevadas en julio y agosto, (media de las máximas del orden de 33° C y de las mínimas hacia los 20,5° C). Los vientos, muy activos y de gran fuerza, son predominantes, especialmente los de dirección NW (*mistral*) y N (*tramuntana*), durante los meses de diciembre y enero, desarrollándose en condiciones atmosféricas caracterizadas por altas presiones en el centro de la península y bajas en el medio

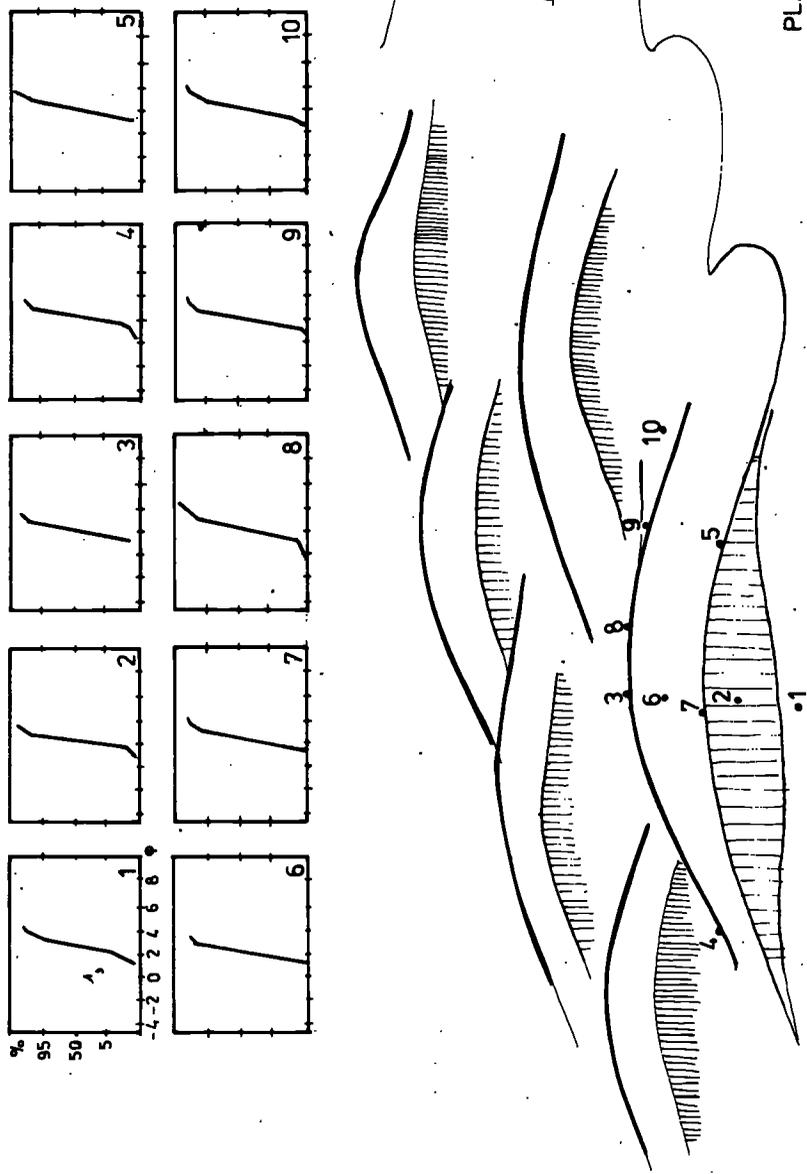


Figura 10.—Curvas acumulativas y localización de puntos de muestreo en las dunas.

rráneo. Asimismo importantes son los *llevantí*. (NE-ESE), que soplan en los meses de febrero, marzo, abril, mayo y noviembre. Finalmente, actúa con cierta frecuencia, aunque con menor velocidad el *garbí* (S-SW) y el *migjorn* (S-SE), durante los meses de julio y agosto.

Los materiales sedimentarios aportados por la acción fluvial posteriormente removilizados por el trabajo de las aguas marinas, han sido objeto de un activo aprovechamiento humano como es habitual en esta clase de medios, siendo difícil ya encontrar zonas no alteradas. No obstante, en puntos marginales cercanos a los límites con ambiente puramente litoral puede observarse la formación de estructuras sedimentarias de origen eólico muy desarrolladas, y, hasta el momento, sin señales de mediatización antrópica.

Con este criterio se eligió como punto de muestreo una playa situada en la zona NE del delta, en el Golfo de Sant Jordi, al N de la actual desembocadura del río Ebro. En ella el trabajo eólico ha construido extensos campos dunares, que se extienden en tres alineaciones paralelas a la costa, con una envergadura media que sobrepasa los dos metros de altura. No hay influencia o interferencia de otros medios o agentes sedimentarios, si exceptuamos el marino, que es el que abastece de sedimento. Las dunas, en su conjunto, son activas, sin rastro alguno de vegetación.

A grandes rasgos, se observó tres tipos de estructuras primarias dunares, bien caracterizadas:

a) Un primer conjunto está formado por varias alineaciones de dunas parabólicas, cabalgantes, y se halla en situación inmediata a la línea de costa. Estas dunas presentan su cresta suavemente incurvada hacia barlovento (al contrario de lo que sucede con las dunas transversales o barjanas) y para su formación requieren una abundancia de material y vientos dominantes hacia tierra. En planta adoptan una forma de herradura, mientras la vertiente de sotavento, que avanza hacia el interior, es abrupta, y muy suave por el contrario la correspondiente a barlovento. (Fig. 10).

b) El segundo conjunto corresponde a un grupo de barjanas, situadas hacia el interior de la primera alineación y se extienden de forma más irregular e inconexa. Vistas en planta adoptan la dirección del viento, que es constante. Estas dunas emigran por el movimiento de la arena que se desliza rápidamente por la vertiente de sotavento, pero con la particularidad de que lo hacen más activamente por los extremos que por la parte central, lo que termina por configurar su estructura característica (Fig. 11).

c) La tercera formación corresponde a unas estructuras en horquilla. Su desarrollo es mucho menor, especialmente por su escasa altura, y su disposición espacial es dispersa así como su orientación, que no obedecía a una dirección de flujo determinado. (Fig. 12)

Definidas y caracterizadas las estructuras sedimentarias el muestreo se efectuó eligiendo aquellos puntos que por su situación podían implicar un cambio en la dinámica del fluido que causó la acumulación, a fin de comprobar si ello establecía alguna diferencia en los valores estadísticos correspondientes.

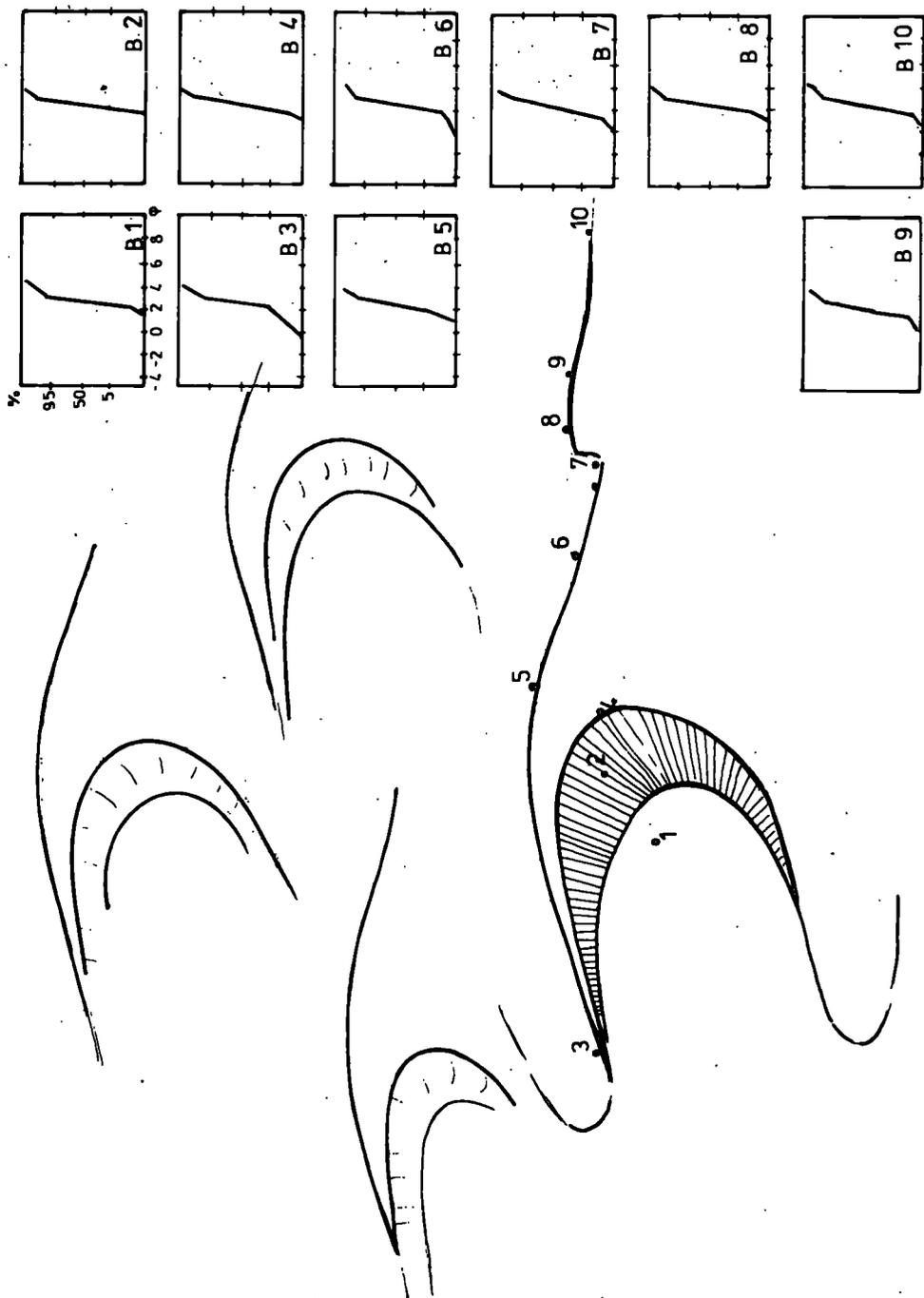


Figura 11.—Curvas acumulativas y localización de puntos de muestreo en las dunas.

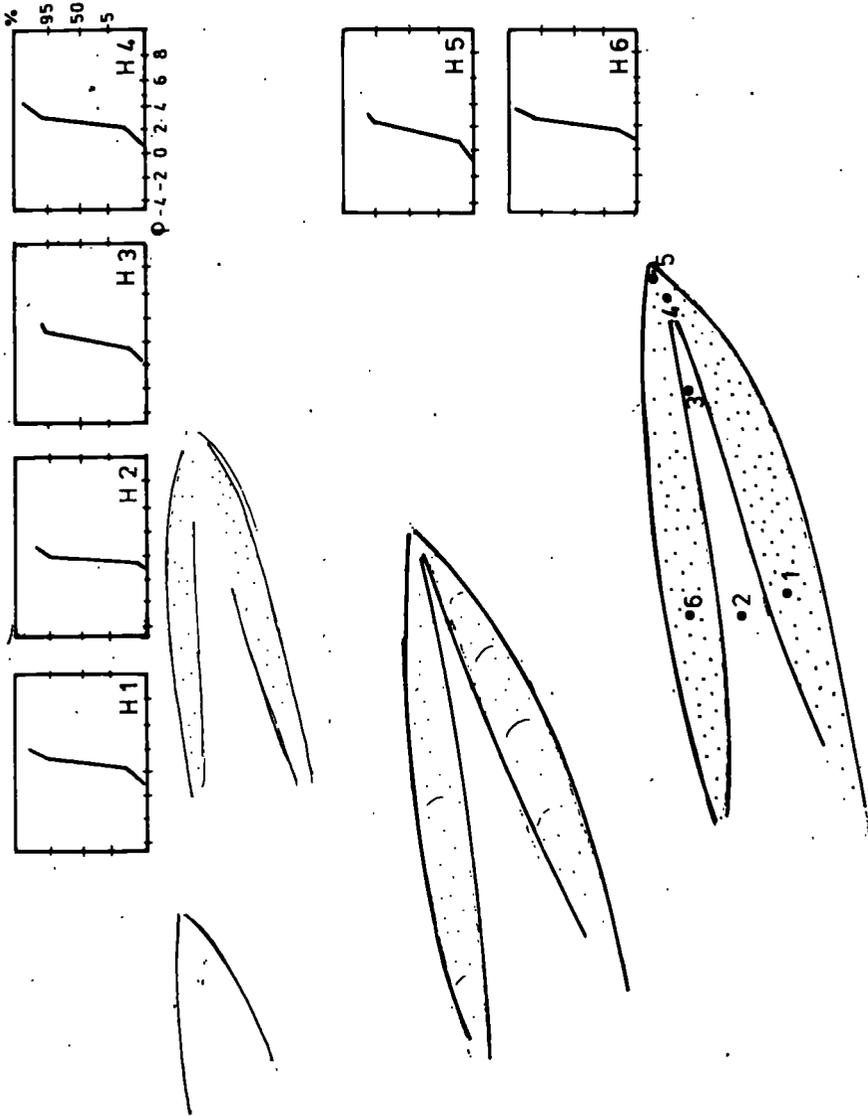


Figura 12.—Curvas acumulativas y localización de puntos de muestreo en las dunas.

Para ello, se tuvieron en cuenta varios puntos en la zona de barlovento, sotavento, flancos y crestas, anotando exactamente la situación de los mismos.

### *Características generales*

*Grupo «A»* — A éste pertenecen las muestras 1 a 10, cuya distribución de frecuencia puede observarse en el trazo de las curvas acumulativas semilogarítmicas (fig. 13), y los histogramas, (fig. 5). Una primera observación nos muestra que las dos poblaciones típicas en saltación propias de la removilización por las olas en la playa, ya comentadas al comienzo de este trabajo, se ha reclasificado en una sola población, sin puntos de ruptura. Esta única población en saltación está presente en todos los ejemplos considerados, significando casi la totalidad de la distribución, (alrededor del 98%). Su clasificación es excelente.

En cuanto a los materiales transportados en rodamiento son escasos, débilmente clasificados y su punto de ruptura se encuentra en 1,5 *phi*. La subpoblación transportada en suspensión, también en mínima cantidad, aparece tras el punto de ruptura, siempre alrededor del 3 *phi*.

*Grupo «B»* — Estas características se repiten fielmente en el segundo grupo estudiado, al cual pertenece 10 muestras denominadas B-1, B-2..., etc., cuyo trazo queda reflejado en la fig. 13, (curvas acumulativas) y fig. 5, (histogramas de frecuencia). Siguiendo a VISHNER, (1969) la importancia del proceso de saltación en el transporte por viento es muy notable. La carencia de competencia del medio eólico para mover una población gruesa en un proceso de *creep* superficial explica el pequeño porcentaje de la población inferior a 1,5 *phi*, y la escasa presencia de material en suspensión sugiere que los vientos unidireccionales actúan como el transporte fluvial, y que los materiales en suspensión son incorporados dentro del sedimento en la fase interdeposicional.

Respecto a las medidas estadísticas, reflejan que el tamaño medio (*Mz*), oscila en estos dos grupos entre los 2,2 a 2,5 *phi* o sea, dentro del rango de la arena fina. (Cuadro 3).

La clasificación es óptima, y sus valores se agrupan en torno al 0,3. El valor SK, asimetría, es en la mayoría de los casos positiva, mientras el valor de aplanamiento oscila entre los valores leptocúrticos.

Corroborando lo indicado por FOLK, (1971 pp. 26-27) los valores estadísticos parecen señalar un ligero aumento de tamaño en las crestas dunares, (muestras 3 y B-3, B-4). Este autor señala como causa el que estas crestas se acumulen fuera del ámbito de la arena fina, que avanza con más rapidez por saltación (2,5 *phi*). En este sentido también la clasificación mejora en la superficie de las crestas y en los espacios interdunares. Respecto a los valores de asimetría, su carácter positivo probablemente se debe al flujo unidireccional ya comentado, al que al ser incorporado una población mixta a partir del 3 *phi*, da como consecuencia un trazo ligeramente hiperbólico en la curva de frecuencia, y esta «cola» en los finos pro-

CUADRO 3  
DUNAS DEL DELTA DEL EBRO

Muestra	Clasif. general	Pobl. rodación		Pobl. saltación		Suspensión %	Medidas estadísticas		
		%	ruptura	%	ruptura		Mz	Sk	Kg.
1	0,28	2,25	2	93,25	3	4,5	2,50	0,05	0,92
2	0,26	0,07	1,5	99,23	3	0,7	2,36	-0,15	1,22
3	0,28	—	—	99,12	3	0,88	2,30	0,05	0,92
4	0,23	1,25	2	97,45	3	1,3	2,46	-0,17	0,95
5	0,26	—	—	99,25	3	0,75	2,33	0,15	1,22
6	0,24	—	—	99,12	3	0,88	2,36	-0,10	1,09
7-A	0,24	—	—	98,12	3	1,88	2,43	0,22	1,09
7-B	0,20	—	—	98,25	3	1,75	2,46	0,46	0,95
8	0,28	0,10	1,5	98,25	3	1,65	2,40	0,05	0,92
9	0,28	0,06	1,5	98,54	3	1,4	2,40	0,05	0,92
10	0,32	0,40	1,5	96,10	3	3,5	2,46	-0,17	0,81
B - 1	0,27	0,10	1,5	97,40	3	2,5	2,5	0,00	0,81
B - 2	0,22	—	—	99,37	3	0,63	2,4	0,00	1,63
B - 3	0,41	1,5	1	97	3	1,5	2,33	-0,26	1,14
B - 4	0,24	0,20	1,5	99,50	3	0,3	2,26	-0,10	1,09
B - 5	0,24	4,5	2	94,50	3	1	2,43	0,10	1,09
B - 6	0,28	0,5	1,5	98,50	3	1	2,36	0,22	0,92
B - 7	0,31	0,15	1	99,05	3	0,95	2,30	-0,04	1,12
B - 8	0,28	0,62	1,5	98,94	3	0,44	2,20	0,05	0,92
B - 9	0,26	0,45	1,5	98,67	3	0,88	2,33	0,15	1,22
B - 10	0,28	0,45	1,5	99,10	3	0,45	2,30	0,05	0,92
H - 1	0,31	0,05	1	99,55	3,5	0,40	2,50	-0,04	1,12
H - 2	0,34	0,10	1,5	95,40	3	4,5	2,46	-0,11	1,12
H - 3	0,31	—	—	95	3	5	2,50	-0,04	1,12
H - 4	0,30	0,75	1,7	96,75	3	2,5	2,40	0,00	1,02
H - 5	0,27	0,25	1	99,25	3	0,5	1,96	-0,20	1,36
H - 6	0,30	0,27	1,5	97,23	3	2,5	2,40	0,00	1,02

voca en la mayoría de los casos un predominio de valores positivos sobre los sedimentos de playa, por lo menos más marcadamente positivos que aquellos.

*Grupo «C»* — Finalmente, en el resto de las muestras correspondientes al tercer grupo mencionado (muestras H-1 al H-6, S-1 al S-3), se observa cierta diferencia respecto a lo ya indicado para las dos primeras formaciones eólicas. La subpoblación en saltación es única, sin rupturas dentro de su trayectoria, y su clasificación continúa siendo excelente aunque empeora levemente si se compara con otras formaciones dunares. El tamaño medio está dentro de un rango parecido (1,96 a 2,5 *phi*). El valor SK es predominantemente negativo o simétrico. Todo ello parece deberse a que estas estructuras sedimentarias de menor envergadura deben su formación al medio eólico aunque posteriormente pueden haber sido retocadas por la acción de las mareas u otras fluctuaciones, cuya oscilación, dada

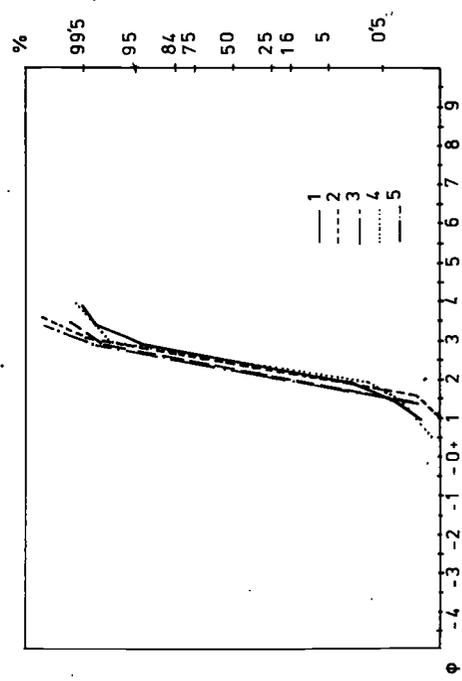
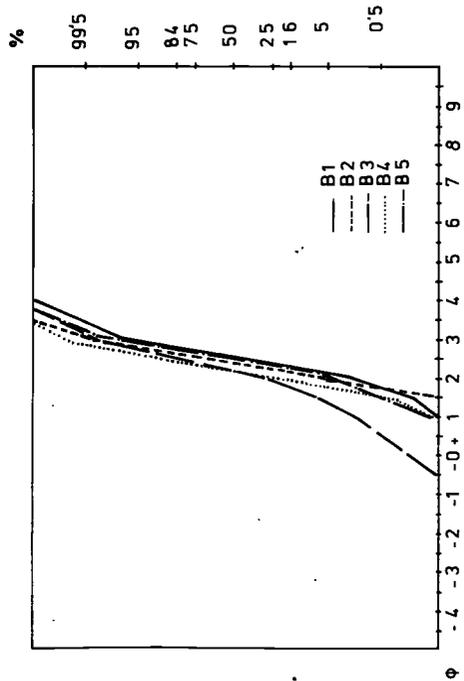
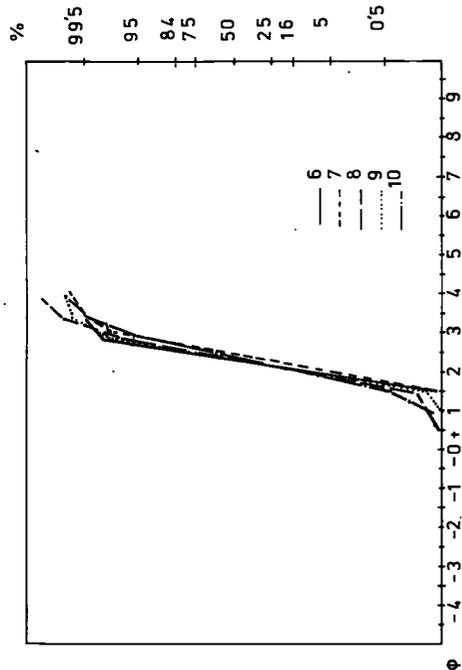
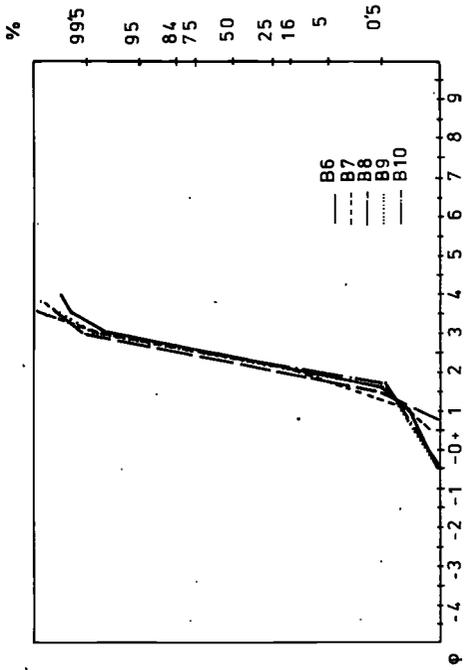


Figura 13.—Curvas acumulativas correspondientes a las dunas del delta del Ebro.

la configuración de este brazo deltaico, totalmente rodeado por aguas someras, no es importante pero sí repetida en este espacio aún indeciso de ambiente mixto.

### *Comentarios finales*

Las muestras tomadas en un medio de playa señalan repetidamente un valor SK negativo. Como ya indican MASON y FOLK, (1958), p. 223, la adición de una cola pequeña de granos gruesos produce esta particularidad, diferenciándose de la arena dunar en que la cola de gruesos disminuye ostensiblemente al ser depositada en una fase anterior, con lo que el predominio de fracción fina sobre gruesa, decrece, variándose el valor SK y es superior a las arenas que forman otro tipo de estructuras de playa. Esta clasificación puede empeorar sus valores si la acción del viento efectúa su trabajo partiendo de un área fuente peor clasificada, como ya deja indicado en sus trabajos FOLK, (1971), sobre las dunas del desierto Simpson, cuya fuente de abastecimiento es una llanura de inundación de pobre clasificación.

Respecto a las arenas o sedimentos fluviales, están dotadas con un valor SK positivo, al igual que las dunares. Ambos transportes, fluvial y eólico tienen en común, como ya señala FRIEDMAN, (1961, p. 520), un transporte unidireccional, lo que provoca la existencia de una población principal de gruesos con una cola en los finos, determinando así, los valores positivos, al contrario que los sedimentos marinos, que deben su deposición final a la acción de dos fuerzas que actúan en direcciones opuestas, lo que facilita la eliminación de las partículas más finas.

Los valores de clasificación de los sedimentos considerados son también muy buenos, debido a que la energía del medio de transporte ejerce un gran poder selectivo sobre los materiales removilizados. Estas condiciones decrecen claramente en algunos depósitos fluviales que reflejan una evidente disminución de la potencia de flujo, como es el caso de las muestras tomadas en la Rambla Castellarda.

Finalmente podemos asimismo observar que la acción eólica selecciona el tamaño de grano o partícula y, pese a que el área estudiada presenta generalmente acumulaciones de grano muy fino, el calibre medio es menor regularmente en las acumulaciones dunares.

### BIBLIOGRAFIA

- FOLK, R. L. y WARD, W. C. (1957), «Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters». *J. Sedimentary Petrol*, 27, 3-26.
- FOLK, R. L. (1966), «A review of grain size parameters». *Sedimentology*, 6, 73-93.
- FOLK, R. L. (1971), «Longitudinal dunes of the northwestern edge of the Simpson desert, Northern territory, Australia. Geomorphology and grain size relationships». *Sedimentology*, 16, 5-54.
- FRIEDMAN, G. M. (1961), «Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics». *J. Sedimentary Petrol*, 31, 514-529.

- FRIEDMAN, G. M. (1967), «Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands», *J. Sedimentary Petrol.* 37, 327-354.
- INMAN, D. L. (1949), «Sorting of sediments in the light of fluid mechanics». *J. Sedimentary Petrol.* 19, 51-70.
- INMAN, D. L. (1957), «Wave-generated ripples in nearshore sands.» Department A. C. of Engineers, *Beach erosion Board. Technical Mem.* 100. 1-65.
- KRUMBEIN, W. C. (1938), «Size frequency distribution of sediments and the normal «phi» curve», *J. Sedimentary Petrol.* 8, 84-90.
- MASON, C. C. y Folk, R. L. (1958), «Differentiation of beach, dune and aeolian flat environments by size analysis. Mustang Island, Texas», *J. Sedimentary Petrol.* 28, 211-226.
- MATEU BELLÉS, J. F. (1982), *El norte del País Valenciano. Geomorfología litoral y prelitoral.* Universidad de Valencia, sección de Geografía, 286 pp.
- MCKEE, E. D. (1966), «Structures of dunes at White Sands National Monument, New Mexico, and a comparison with structures of dunes from other selected areas». *Sedimentology*, 7, 1-69.
- MCLAREN, P. (1981), «An interpretation of trends in grain size measures». *Journal of Sed. Petrol.* 51, 2 - 611-624.
- MOSS, A. J. (1962), «The physical nature of common pebbly deposits». Pt. 1 *Amer. J. Science*, 260, 337-373.
- REINECK, H. E. y SINGH, I. B. (1975), *Depositional sedimentary environments.* Springer Verlag, Nueva York, Berlín. 439 p.
- ROGER, J. J. et al. (1963), «Size of naturally abraded materials». *J. Sedimentary Petrol.* 33, 628-632.
- SHERPARD, F. P. y YDUNG, R. (1961), «Distinguishing between beach and dune sands». *J. Sedimentary Petrol.*, 31, 196-214.
- SMALLEY, I. J. (1966), «Origin of quartz sand». *Nature* 211, 476-479.
- SUGUID, K. (1980), *Rochas Sedimentares.* Edgard Blücher Ltda. ed. Sao Paulo.
- TANNER, W. F. (1959), «Sample components obtained by the method of differences». *J. Sedimentary Petrol.* 29, 408-411.
- UDDEN, J. A. (1914), «The mechanical composition of clastic sediments». *Bull. Geol. Soc. Amer.* 25: 655-774.
- VISHER, G. S. (1969), «Grain size distributions and depositional processes». *Journal of Sed. Petrol.* 39, 3, 1074-1106.
- WENTWORTH, C. K. (1931), «The mechanical composition of sediments in graphic form». *Univ. Iowa Studies Nat. Hist.* 14, 1-127.
- WILLIAMS, P. F. y RUST, B. R. (1969), «The sedimentology of a braided river». *Journal of Sed. Petrol.* 39, 649-679.

