

# CARACTERISTICAS DINAMICAS Y SEDIMENTOLOGICAS DEL ESTUARIO DE RIBADESELLA (ASTURIAS, N DE ESPAÑA)

G. FLOR Y C. CAMBLOR

TRABAJOS DE  
GEOLOGIA



Flor, G. y Cambor, C. (1989).- Características dinámicas y sedimentológicas del estuario de Ribadesella (Asturias, N de España). *Trabajos de Geología*. Universidad de Oviedo, Vol. 18 13-36. ISSN 0474-9588.

Se establecen las bases sobre el comportamiento dinámico del estuario de Ribadesella, asignándole, desde el punto de vista de las mezclas de agua, al tipo verticalmente homogéneo. Se estudian texturalmente los cantos y gravas y las arenas, al tratarse de los componentes mayoritarios y más móviles del sistema, fundamentales en el relleno, y se correlacionan con la dinámica global del estuario; los fangos son muy accesorios. Se distribuyen en diferentes ambientes morfosedimentarios: conjunto playaduna eólica, canal principal, canal secundario, bancal y llanuras de fangos, generalmente colonizadas por vegetación.

*Palabras clave:* Dinámica, sedimentación, estuario, Golfo de Vizcaya, España.

Dynamic bases of the estuary of Ribadesella (Asturias, N of Spain) are established. It is a vertically homogeneous estuary. The main sediments are gravels, sands and muds distributed in several morphosedimentary units: eolian dune-beach complex, main channel, secondary channel, shoal and mud flats partially colonized by vegetation in a small bay. Since gravels and sands are the main dynamic sediments filling and moving through the estuary, textural analyses of them are made. Also, the dynamics of waters and of sediment distribution are correlated.

*Key words:* Dynamic, sedimentation, estuary, Bay of Biscay, Spain.

*Germán Flor, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 33005 Oviedo, España. Constantino Cambor, Empresa Nacional Hunosa. Manuscrito recibido el 10 de Octubre de 1988; revisado el 10 de Marzo de 1989.*

## INTRODUCCION

La ría o estuario de Ribadesella está situada en el oriente de Asturias (N de España) en la longitud: 5° 2' 19,5" - 5° 4' 26,33", al Oeste del Meridiano de Greenwich, y en la latitud: 43° 28' 8,8" - 43° 27' 2,2" N (Fig. 1). Se origina en la desembocadura del río Sella, cuyo caudal medio anual es de 741 Hm<sup>3</sup>, con máximos y mínimos muy variables (Q<sub>mín</sub>/diarios=1.65m<sup>2</sup>/seg y Q<sub>más</sub>/diario=882.75m<sup>3</sup>/seg.). El clima es oceánico, templado húmedo, con amplia influencia atlántica que deja grandes precipitaciones de

agua de lluvia (aproximadamente 1200 mm/año), repartidas en inviernos y otoños secos y templados y primaveras e incluso veranos lluviosos. Las temperaturas oscilan entre 0°C y 26°C, siendo la media anual de 16°C.

El curso fluvial del Sella, en su tramo final, atraviesa perpendicularmente, con una dirección N-S, las estructuras de calizas y alternancias de limolitas y areniscas del Carbonífero, así como las areniscas y limolitas del Jurásico, que siguen direcciones E-O. Los materiales carboníferos están afectados por cabalgamientos de dirección E-O, subparalelos a la estratificación.

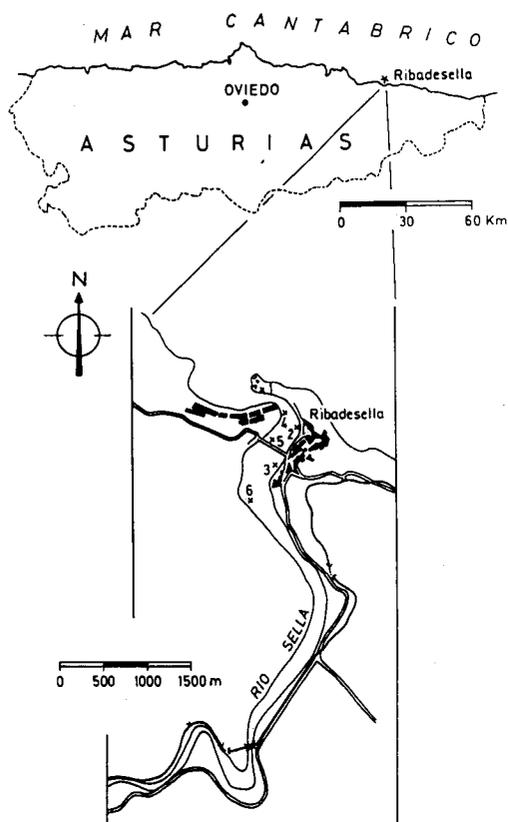


Fig. 1.- Esquema de situación del estuario de Ribadesella, en la provincia de Asturias. Se señalan las seis estaciones fijas de muestreo (1-6), en ambos márgenes de la ría.

Desde la cola del estuario aguas arriba, en un segmento de unos 2 Km, el río se adapta a una falla de dirección NO-SE (falla de La Cueva). En la propia desembocadura, tanto la posición del arroyo de San Pedro como el asentamiento de la barra de playa/dunas, que cierra el estuario, aprovechan sendas fallas de dirección E-O, las cuales separan los materiales jurásicos inclinados hacia el Este, situados en posición septentrional, de los carboníferos plegados (Fig. 2).

El estuario de Ribadesella tiene una forma triangular en planta, cuya bocana está ocupada por el sistema playa/duna, enlazando el límite interno de forma insensible con el canal fluvial del Sella; este último se establece determinando la cuña salina durante mareas vivas o extre-

mo hasta donde viaja la capa de agua salada por el fondo.

Es un estuario de valle fluvial inundado (Pritchard 1967), cuya última excavación importante tuvo lugar, con toda seguridad, en la fase glacial Würmiense más reciente (cuyo máximo se sitúa alrededor de 18.000 años BP), momento del que restan coladas de barro amarillentas en la margen derecha al S del núcleo de la villa, parcialmente recubiertas por fangos estuarinos. En las áreas externas de otros estuarios asturianos, se han cortado arenas mediante sondeos mecánicos que han llegado al sustrato rocoso a profundidades de 65 m (Eo), 45 m (Navia) y 60 m (Nalón), lo cual es indicativo de procesos de excavación en los estuarios, durante dicha regresión. Posteriormente, la costa sufrió la transgresión flandriense (+3.0 m), fácilmente reconocible en todo el litoral cantábrico y gallego (Flor 1987), que supuso el relleno sedimentario de los estuarios. En este momento, la extensión del estuario de Ribadesella alcanzó 28,73 Km<sup>2</sup>, donde funcionaba, además, una ensenada en la margen occidental (por detrás de la barra de playa y dunas) drenada por el arroyo de San Pedro, de 1,14 Km<sup>2</sup>, así como otra gran superficie de fangos al E de Junco (10,49 Km<sup>2</sup>). En la actualidad, la barra del conjunto playa-duna ocupa 4,42 Km<sup>2</sup>; la longitud del estuario, hasta el límite de la intrusión salina durante pleamares vivas, es de 4,6 Km y se extiende sobre 4,65 Km<sup>2</sup>, siendo el total activo de 10,07 Km<sup>2</sup>. Se conserva un pequeño afloramiento de llanura de fangos endurecidos en la margen derecha del área de cola, que recubren una barra longitudinal de cantos.

Se estudian las condiciones dinámicas del estuario de Ribadesella en lo que concierne a las mezclas de aguas dulce y salada, al objeto de obtener un esquema de circulación general y la respuesta sedimentaria. Esta se definirá por las características sedimentológicas de los diferentes subambientes: duna eólica, playa, bancal y barras fluviomareales, desde el punto de vista textural, para poder discriminar los efectos dinámicos de cada uno de los agentes actuantes y la dependencia del área fuente.

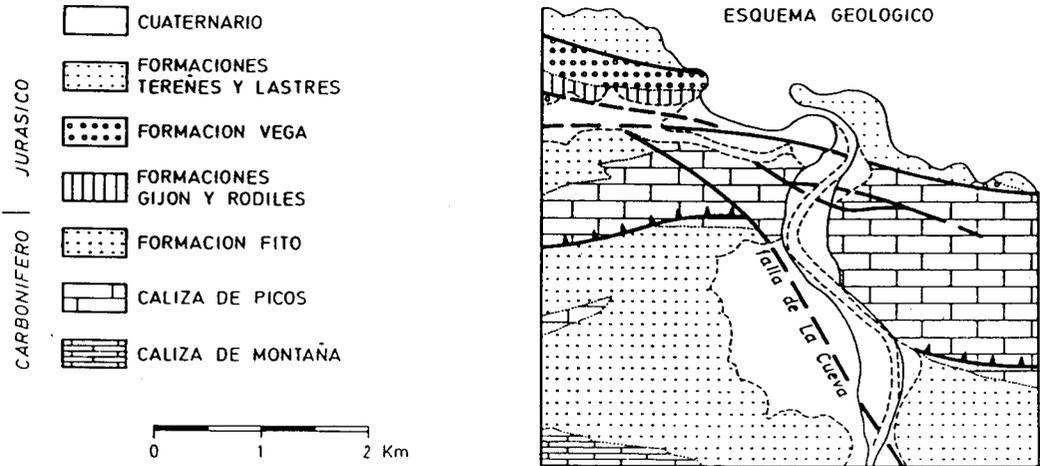


Fig. 2.- Esquema geológico de los alrededores de Ribadesella (según Navarro y Leyva, 1987). Los materiales carboníferos están afectados por cabalgamientos de dirección E-O, subparalelos a la estratificación, y fallas oblicuas NO-SE, alguna de las cuales controla indirectamente el tramo de cola del estuario. Los jurásicos siguen alineaciones similares, estando fracturados por fallas E-O, que incidieron en gran medida en la apertura de áreas planas, donde se desarrollaron el sistema playa-duna y el brazo estuarino antiguo de San Pedro. Los depósitos cuaternarios se limitan prácticamente a los relacionados con el estuario.

## METODOS DE ESTUDIO

Como quiera que los estuarios representan ambientes sedimentarios y dinámicos complejos, donde intervienen agentes dinámicos diversos (mareas, fundamentalmente, oleajes y vientos), en combinación con las fluctuaciones fluviales (otro de los agentes dinámicos esenciales), que actúan sobre sedimentos clásticos variados: cantos, gravas, arenas y fangos, durante ciclos temporales también muy variables, se hacen necesarias diferentes técnicas de trabajo muy laboriosas. El inicio de las investigaciones en este estuario tuvo lugar en 1983, extendiéndose hasta el año 1985, momento desde el cual hemos venido elaborando datos y realizando diferentes tomas suplementarias de muestras.

En primer lugar, se establece la influencia de las cuñas salinas para delimitar el límite interno o cola estuarina, mediante la realización de perfiles salinométricos en profundidad (Salinómetro portátil: Ysi Model 33, S-CT-meter), procediéndose a determinar los prismas de agua dulce y salada.

En segundo lugar, se determinan los cauda-

les fluviales que entran en el estuario durante un ciclo mareal, para evaluar el volumen de agua dulce que se mezclará con el agua salada introducida por la marea. Los datos de la Comisaría de Aguas del Norte de España (M.O.P.U.), con una corrección al alza del 7%, de acuerdo con las estaciones de aforo (Cambor 1985), sirven para determinar los caudales fluviales que llegan a Ribadesella.

A partir de la relación caudal fluvial/caudal mareal ( $QF/QM$ ) se define, conceptualmente, el tipo de estuario desde el punto de vista dinámico o de las mezclas de agua (Pritchard 1955; Simmons 1955; Dyer 1973 y Silvester 1974).

Para el estudio de las ondas mareales y salinas se fijan 6 estaciones de muestreo (Fig. 1) en las que se recogen datos de la altura mareal y de la salinidad superficial a intervalos de 15 minutos, durante aproximadamente un ciclo mareal (cercano a las 12 horas consecutivas). También se han realizado, combinadamente, registros de la onda mareal y de la salinidad en profundidad en varias estaciones, para condiciones variables de caudales fluvial y mareal (Fig. 3).

Las alturas mareales permiten conocer la

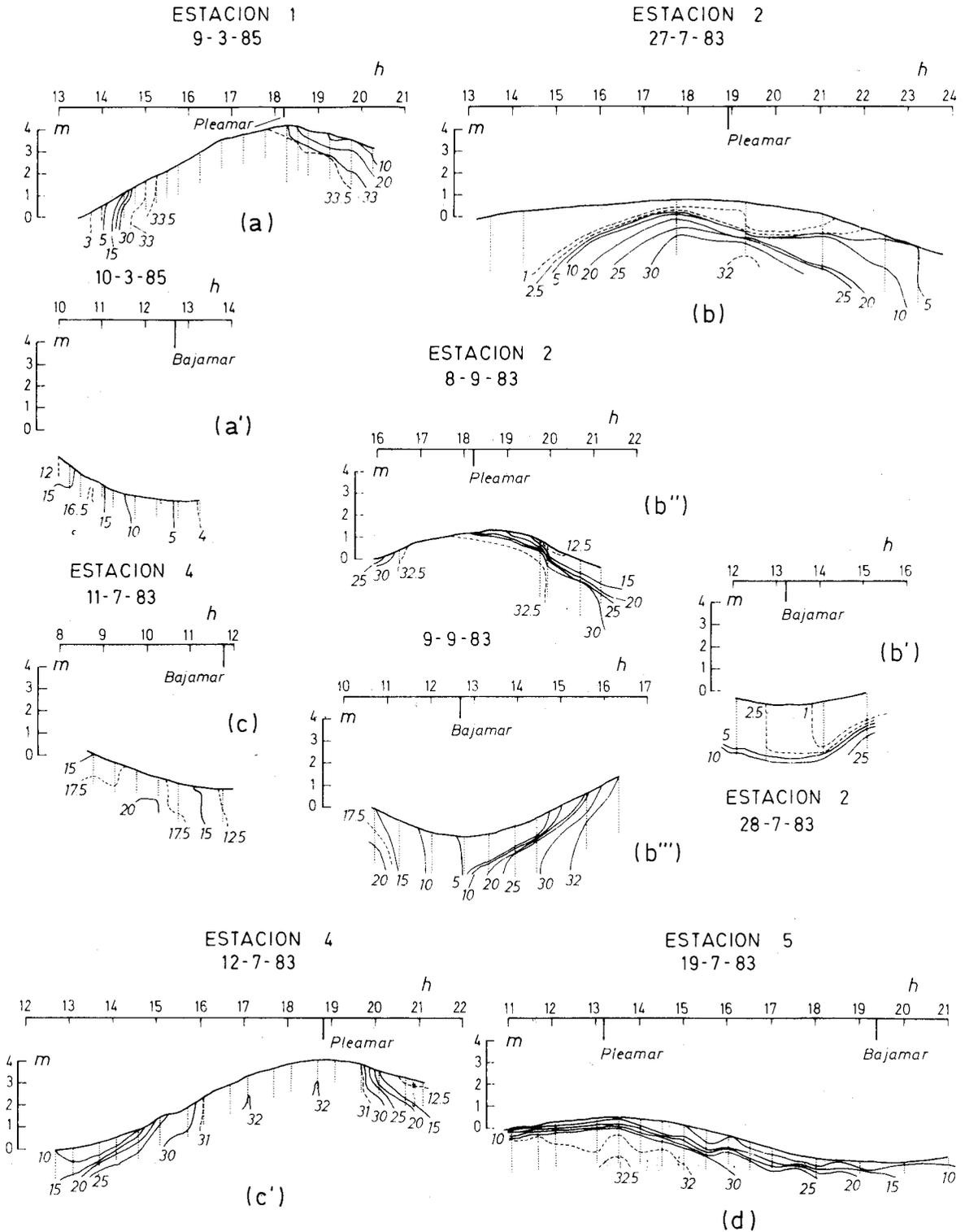


Fig. 3.- Registros de ondas mareales y salinas en varias estaciones y días.

distribución de la onda mareal y su evolución en el estuario en relación con la onda teórica en mar abierta, efectuándose los registros a lo largo de un ciclo mareal, a intervalos de 15 minutos, mediante jalones fijos.

Las ondas salinas se estudian puntualmente en las estaciones consideradas superficialmente o en perfiles de profundidad, durante un ciclo mareal; también, desde una embarcación con toma de datos en profundidad, al objeto de controlar las mezclas de agua; simultáneamente a esto último, se toman registros de las velocidades de corrientes, mediante un corrientómetro estándar General Oceanic, y de los sentidos a diferentes profundidades, primero, para definir los perfiles de velocidad y, segundo, para establecer los movimientos relativos de las masas de agua; obviamente, las superficiales son de procedencia fluvial, como corresponde a un agua menos densa, mientras que las profundas son marinas o de mezcla. De esta manera, se consigue un esquema de circulación general para el estuario, tanto en la vertical como en la horizontal y a lo largo de un ciclo mareal completo.

Los trabajos en la embarcación no siguen una periodicidad regular, procediéndose a la realización de perfiles transversales, con la toma de diferentes muestras, intentando abarcar toda la sección de la masa de agua. En cada una de ellas, se procede a medir las salinidades y las velocidades y sentidos de las corrientes en la vertical. Se comienza en las áreas de bocana hasta alcanzar el límite interno y, a continuación, se repiten los registros aguas abajo, intentando abarcar el ciclo mareal completo. El número de perfiles transversales fue de una media de 15 (cada 300 m), con una duración media de algo más de una hora, llegándose a realizar un promedio de 3 puntos de muestreo por perfil, con numerosos registros en cada uno, dependiendo de la variación de los datos; obviamente, durante las bajamares, las medidas se redujeron drásticamente al reducirse la superficie ocupada por el agua, tanto en extensión como en la vertical.

Se llevaron a cabo trabajos de cartografía superficial (Fig. 4), para individualizar las diferentes unidades morfosedimentarias o subambien-

tes de la ría de Ribadesella, y proceder a las tomas de muestras representativas. En la playa se recogieron a partir de 11 perfiles perpendiculares al nivel del agua; sobre las barras fluviomareales, según perfiles transversales al eje mayor de las mismas y, en el resto del estuario, al azar (Fig. 5).

Por lo que respecta a la distribución sedimentaria, se han considerado las litologías móviles del sistema: cantos, gravas y arenas. Cantos y gravas proceden exclusivamente de las aportaciones fluviales; también las arenas, de forma mayoritaria, tienen esta procedencia y son reintroducidas en el estuario; otra aportación minoritaria en este caso es la que tiene lugar por la corriente costera, que transporta la masa arenosa desde posiciones más occidentales hasta la playa (Flor 1978). La contribución bioclástica por parte del estuario es mínima, como lo demuestra el hecho de la existencia de comunidades muy reducidas de bivalvos (*Crassostrea*, *Mytilus* y *Cerastoderma*). La componente fangosa (arenas muy finas y limos, que proceden mayoritariamente del Sella, con abundante materia orgánica, producto de la actividad biogénica) es muy estable y se circunscribe a la pequeña ensenada del Ramu.

Se caracterizan granulométricamente los diferentes subambientes del estuario de acuerdo con la litología de cantos y gravas o arenas, propias de la carga de fondo, que presentan las litologías predominantes en el estuario. En el primer caso, se siguen los criterios de Emery (1955) para la toma de datos "in situ" y su procesamiento hasta construir las curvas acumuladas en papel probabilístico. La fracción arenosa se somete a tamizaje a intervalos de 0,25 phi, obteniéndose las correspondientes curvas acumuladas. Tanto para aquéllos como para ésta, se determinan los parámetros de rango, entre los que se individualiza el Centil o tamaño máximo de la población, indicativo de la energía máxima del depósito, y los parámetros de relación (Folk y Ward 1957), de manera que se dispongan de los índices dinámicos principales que caractericen el depósito. Se contrasta la Media (Mz) con los restantes parámetros: Centil (C), Clasificación o Calibrado ( $\sigma_1$ ), Asimetría ( $Sk_1$ ) y Angu-

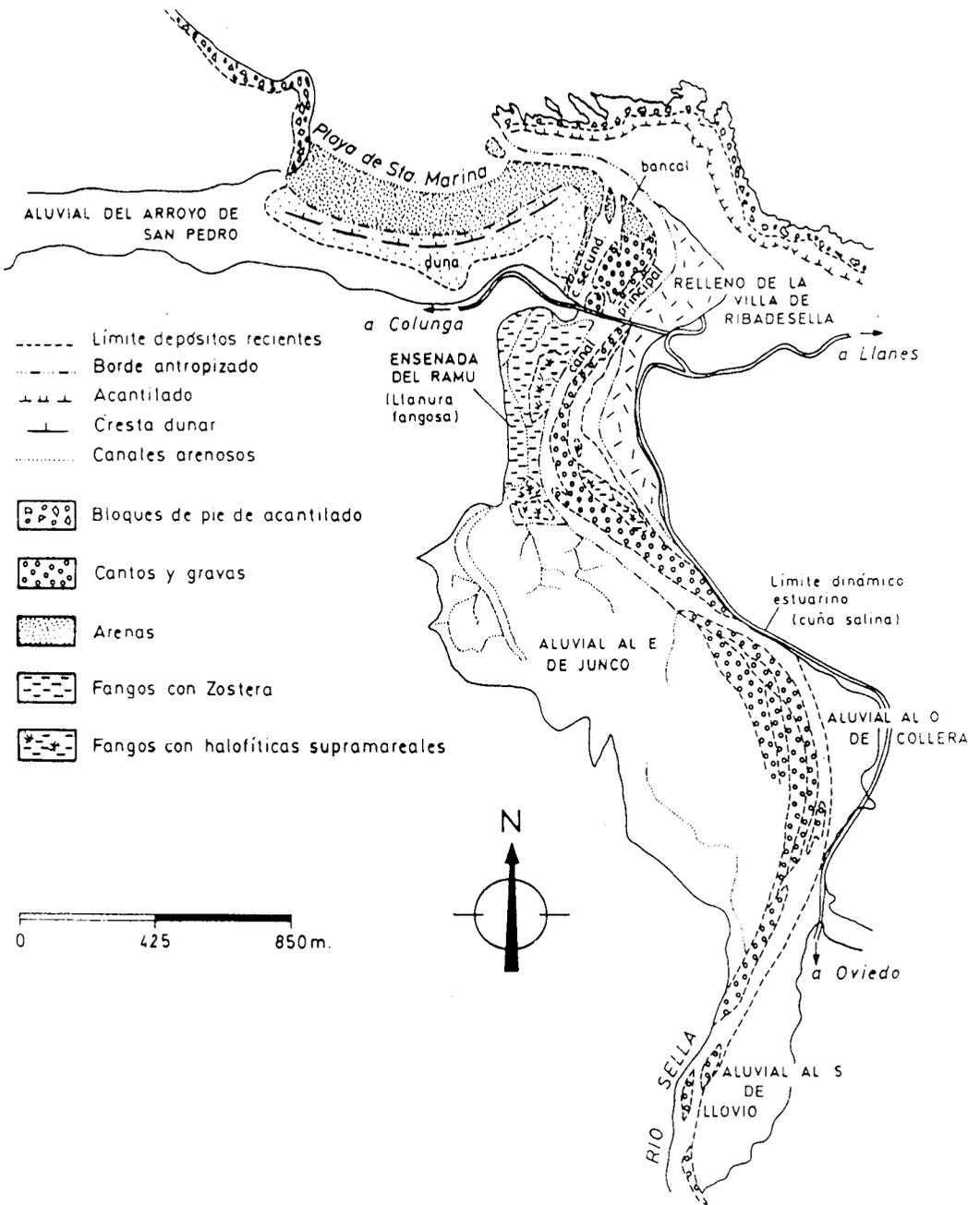


Fig. 4.- Esquema de las facies y zonas morfosedimentarias principales del estuario de Ribadesella. Las superficies aluviales, áreas de relleno y la franja dunar representan los materiales cuaternarios más importantes, ligados a la dinámica histórica del estuario, pero hoy día inactivos.

TABLA I.- Clasificación del estuario de Ribadesella de acuerdo con las mezclas de aguas fluvial y marina, considerando las caudales medios y extremos posibles.

A)	AVENIDA Y MAREAS MUERTAS	
	$QF/QM = 19 \times 10^6 / 6 \times 10^6 = 3,17$	cuña salada
B)	AVENIDA Y MAREAS VIVAS	
	$QF/QM = 19 \times 10^6 / 22 \times 10^6 = 0,86$	cuña salada
C)	ESTIAJE Y MAREAS MUERTAS	
	$QF/QM = 3,6 \times 10^4 / 6 \times 10^6 = 0,006$	verticalmente homogéneo
D)	ESTIAJE Y MAREAS VIVAS	
	$QF/QM = 3,6 \times 10^4 / 22 \times 10^6 = 0,0016$	verticalmente homogéneo
E)	AVENIDA Y MAREAS MEDIAS	
	$QF/QM = 19 \times 10^6 / 14 \times 10^6 = 1,36$	cuña salada
F)	ESTIAJE Y MAREAS MEDIAS	
	$QF/QM = 3,6 \times 10^4 / 14 \times 10^6 = 0,0026$	verticalmente homogéneo
G)	CAUDALES MEDIOS Y MAREAS MUERTAS	
	$QF/QM = 9,24 \times 10^5 / 6 \times 10^6 = 0,150$	verticalmente homogéneo evolucionando a mezcla parcial.
H)	CAUDALES MEDIOS Y MAREAS VIVAS	
	$QF/QM = 9,24 \times 10^5 / 22 \times 10^6 = 0,040$	verticalmente homogéneo
I)	CAUDALES MEDIOS Y MAREAS MEDIAS	
	$QF/QM = 9,24 \times 10^5 / 14 \times 10^6 = 0,070$	verticalmente homogéneo

losidad (Kg) y se calculan los índices de regresión lineal, para individualizar los segmentos de nubes de puntos característicos.

Se tiene en consideración el contenido carbonatado bioclástico en aquellos subambientes en que tenga una representación reseñable. Su determinación se lleva a cabo por el método volumétrico, mediante un calcímetro de Bernard. Además de constituirse en un parámetros dinámico, es un indicador sensible de la marinidad de los aportes arenosos costeros al estuario (Flor 1977).

### DINAMICA ESTUARINA

Las mareas en el Mar Cantábrico son semi-

diurnas, con rangos mareales variables entre micromareales (alrededor de 1,0 m) en mareas muertas y mesomareales (4,20 m) en mareas vivas.

En la Tabla I, se consigna cada uno de los tipos de estuario, obtenido a partir de los cálculos realizados, de acuerdo con las mezclas de agua fluvial y marina, combinando los caudales de avenida y estiaje con mareas vivas y muertas, así como las situaciones intermedias.

Se trata de un estuario del tipo verticalmente homogéneo que evoluciona al tipo de cuña salina cuando entran caudales de avenida y, raramente, de mezcla parcial.

Durante los días en que se llevaron a cabo

TABLA II.- Tipo de estuario deducido a partir de los datos de caudales fluviales y mareales obtenidos en los muestreos efectuados, desde el año 1983 al 1985, para el estudio de la ría de Ribadesella.

DIA	MES	AÑO	CANGAS DE			RANGOS	MAREALES	QM <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> )	CM <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	QF/QM <sub>1</sub>	QF/QM <sub>2</sub>	TIPO DE ESTUARIO
			ONIS	OZANES	RIBADESELLA							
4	JUNIO	1983	465,048	132,624	639,509,04	1,38	1,52	6,9×10 <sup>6</sup>	7,6×10 <sup>6</sup>	0,090	0,080	
11	JULIO	1983	192,672	70,416	261,504,16	3,38	3,77	16,9×10 <sup>6</sup>	18,85×10 <sup>6</sup>	0,020	0,015	
12	JULIO	1983	150,336	70,416	236,204,64	3,39	3,77	16,95×10 <sup>6</sup>	18,85×10 <sup>6</sup>	0,014	0,012	
19	JULIO	1983	113,400	70,416	186,683,12	1,96	1,96	9,8×10 <sup>6</sup>	9,8×10 <sup>6</sup>	0,020	0,020	
27	JULIO	1983	358,776	410,400	823,018,32	2,53	2,87	12,65×10 <sup>6</sup>	14,35×10 <sup>6</sup>	0,065	0,057	
28	JULIO	1983	252,072	221,616	506,846,16	2,48	2,81	12,4×10 <sup>6</sup>	14,05×10 <sup>6</sup>	0,040	0,036	
8	SEPT.	1983	113,400	160,704	239,291,28	3,68	4,21	19,4×10 <sup>6</sup>	21,05×10 <sup>6</sup>	0,015	0,014	
9	SEPT.	1983	113,400	150,552	282,428,64	3,86	4,00	19,3×10 <sup>6</sup>	20×10 <sup>6</sup>	0,015	0,014	
9	MARZO	1985	187,488	255,528	474,027,12	4,29	3,96	21,45×10 <sup>6</sup>	19,8×10 <sup>6</sup>	0,022	0,024	
10	MARZO	1985	176,904	211,464	415,553,76	3,99	3,63	19,95×10 <sup>6</sup>	18,15×10 <sup>6</sup>	0,021	0,023	
7	MAYO	1985	762,480	573,696	1,429,708,30	3,59	3,62	17,95×10 <sup>6</sup>	18,1×10 <sup>6</sup>	0,080	0,079	

VERTICALMENTE HOMOGENEO

Q (m<sup>3</sup>/6h) = Caudal fluvial en m<sup>3</sup>/6h  
 M<sub>1</sub> (m) = Rango mareal de la primera marea  
 M<sub>2</sub> (m) = Rango mareal de la segunda marea

QM<sub>1</sub>(m<sup>3</sup>) = Caudal mareal en m<sup>3</sup> para la primera marea  
 QM<sub>2</sub>(m<sup>3</sup>) = Caudal mareal en m<sup>3</sup> para la segunda marea  
 QF/QM<sub>1</sub> = Relación caudal fluvial-caudal mareal

los diferentes muestreos, el estuario se comportó como verticalmente homogéneo (Tabla II).

### ONDA MAREAL

Las ondas mareales responden principalmente a curvas sinusoidales armónicas simples, similares a la curva teórica, es decir, ondas estacionarias (Estaciones 1, 2, 3 y 4 del día 4-VI-83; Estación 1, los días 9-III-85 y 10-III-85; Estación 2, los días 27-VII-83, 28-VII-83, 8-IX-83 y 9-IX-83; Estación 4, los días 11-VII-83 y 12-VII-83 y en la Estación 5, el día 17-IX-83). Ocasionalmente, pueden ser curvas con longitudes de onda diferentes a la mareal, como la de la Estación 5, el día 4-VI-83, que es de  $1,5 \lambda$  la teórica. También, en la Estación 6, representativa de la cola estuarina, el 4-VI-83, la onda mareal sufrió un rebote desde la media marea ascendente (Fig. 6a); alcanza su mínimo durante la pleamar, constituyéndose en una onda con un período de 6 horas; este efecto se debe a la formación de una onda estacionaria, idéntica a la mareal cualitativamente y derivada de ella, con su punto nodal en la desembocadura y el antinodo en la cola (Eagleson y Dean 1966).

El desfase horario entre la onda teórica, obtenida a partir de las Tablas de Mareas, y la registrada en la desembocadura del estuario es de 20 minutos, lo que viene a indicar el tiempo que tarda la onda en alta mar en introducirse en el estuario. Entre esta zona de la bocana y la cola, solamente hay unos pocos minutos de retraso, significando que la amortiguación dentro del estuario apenas si afecta al período.

La onda mareal teórica no coincide en amplitud con los registros efectuados en la estación 1, donde es mayor. A medida que se adentra hacia la cola, la amplitud decrece progresivamente (Fig. 6a). Hacia la bajamar, las curvas tienden a la forma teórica, pudiéndose presentar pequeñas anomalías por el efecto del desagüe fluvial.

### ONDA SALINA

Las ondas salinas, cuyos datos de salinidad han sido tomados en superficie, muestran un comportamiento irregular. De hecho, en algu-

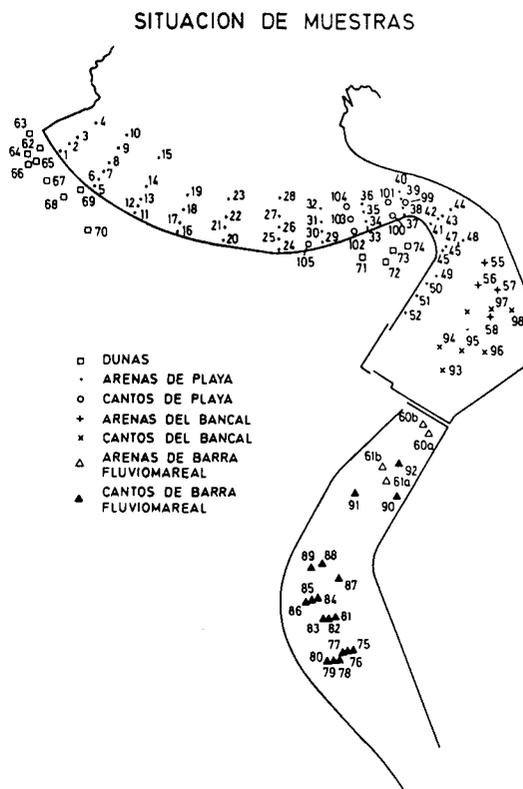


Fig. 5.- Situación de las muestras de las poblaciones de cantos y gravas y de arenas recogidas en las diferentes zonas morfosedimentarias del estuario.

nos casos, para visualizar la distribución de cada onda, debe procederse a un suavizado de las curvas resultantes (Estaciones 1 y 4. Fig. 6b; Estación 5. Fig. 3e').

En general, las ondas se hacen menos salinas hacia el interior del estuario, salvo en la Estación 5, sobre la que influye fuertemente el drenaje de la ensenada del Ramu, que rebaja considerablemente el registro y cambia la distribución, no sólo de la onda salina sino también de la onda mareal.

Hay curvas que presentan varios máximos, siendo más común las bimodales. El máximo mayor coincide con la pleamar (Estación 1, Fig. 6b), bien en un intervalo amplio de tiempo desde antes a después de la pleamar, lo que indica que la entrada de agua salada en esa estación alcanza un máximo, que se mantiene sin altera-

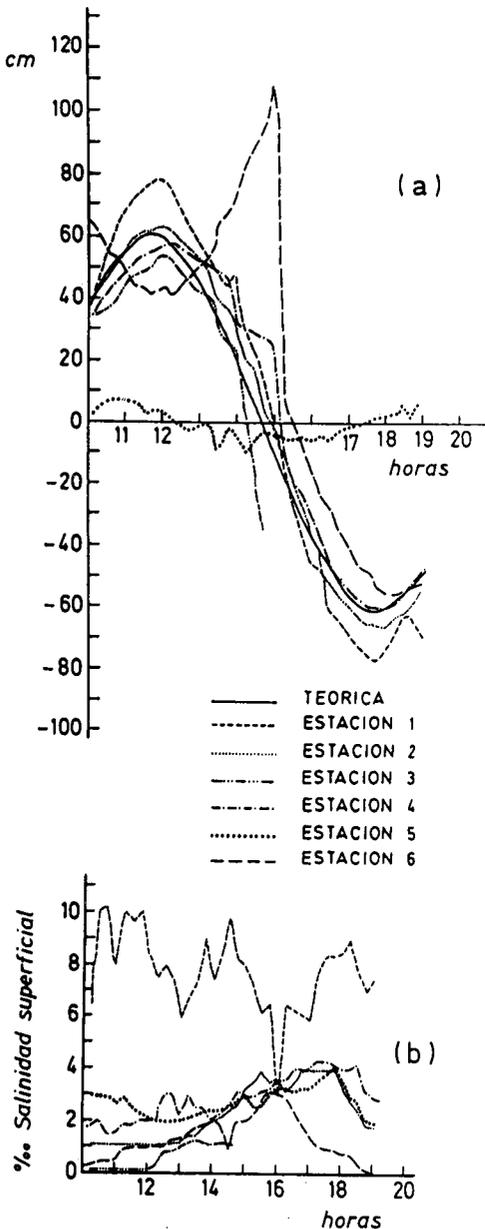


Fig. 6.- Registros de las ondas mareal (a) y salina (b) en las diferentes estaciones, durante el muestreo del día 4-VI-83.

ciones por reposición, durante episodios prolongados (Estación 1, Fig. 3a'; Estación 2, Fig. 3c' y d') o inmediatamente después de la pleamar (Estación 2, Fig. 3b'), que representa la en-

trada y/o salida de la pleamar en cada estación. El máximo menor puede aparecer antes de la bajamar (Estación 1, Fig. 3a) Estación 2, Fig. 3c'; Estación 4, Fig. 3d'), durante la bajamar (Estaciones 1, 2 y 4, Fig. 6b) o, de forma ocasional, entre la pleamar y la bajamar (Estación 5, Fig. 6b); este máximo se debe a la extrusión de agua de mezcla después de la media marea descendente en que el estuario muestra una tendencia al vaciado.

Los mínimos representan el paso de masas de agua dulces o de mezcla durante la bajamar, proceso que se realiza de manera desfasada, bien hacia media marea o algo después de la bajamar o la pleamar.

#### PERFILES SALINOS

Si se comparan ondas mareales y perfiles salinos, conjuntamente, en profundidad para cada estación, a lo largo de un ciclo mareal (Fig. 7), se tiene una imagen puntual de los procesos de mezcla de agua. Así, en la Estación 1, hay mezclas de agua dulce desde la pleamar, pero su importancia se acentúa hacia la bajamar y culmina durante la media marea ascendente; se inician dichas mezclas con un funcionamiento cuya tendencia es a la mezcla parcial, que evoluciona a verticalmente homogéneo. Permanece desde la media marea hasta la pleamar con aguas fuertemente salinas.

La Estación 2 (Fig. 7b' y b'') representa perfiles de mezcla parcial y cuña salina (en este caso, con un espesor de agua dulce muy reducido, salvo en la Fig. 7b'''). Su evolución es asimétrica, con una mezcla que se intensifica alrededor de una hora después de la pleamar. La entrada de agua salada por el fondo se produce, en ambos caso, entre hora y media antes y hora y media después de la pleamar. Durante la bajamar, las mezclas inducen a una circulación verticalmente homogénea de agua dulce, mostrando también una clara asimetría: tendencia a verticalmente homogéneo dos horas antes de la bajamar y de mezcla parcial inmediatamente después de ésta, pasando a media marea ascen-

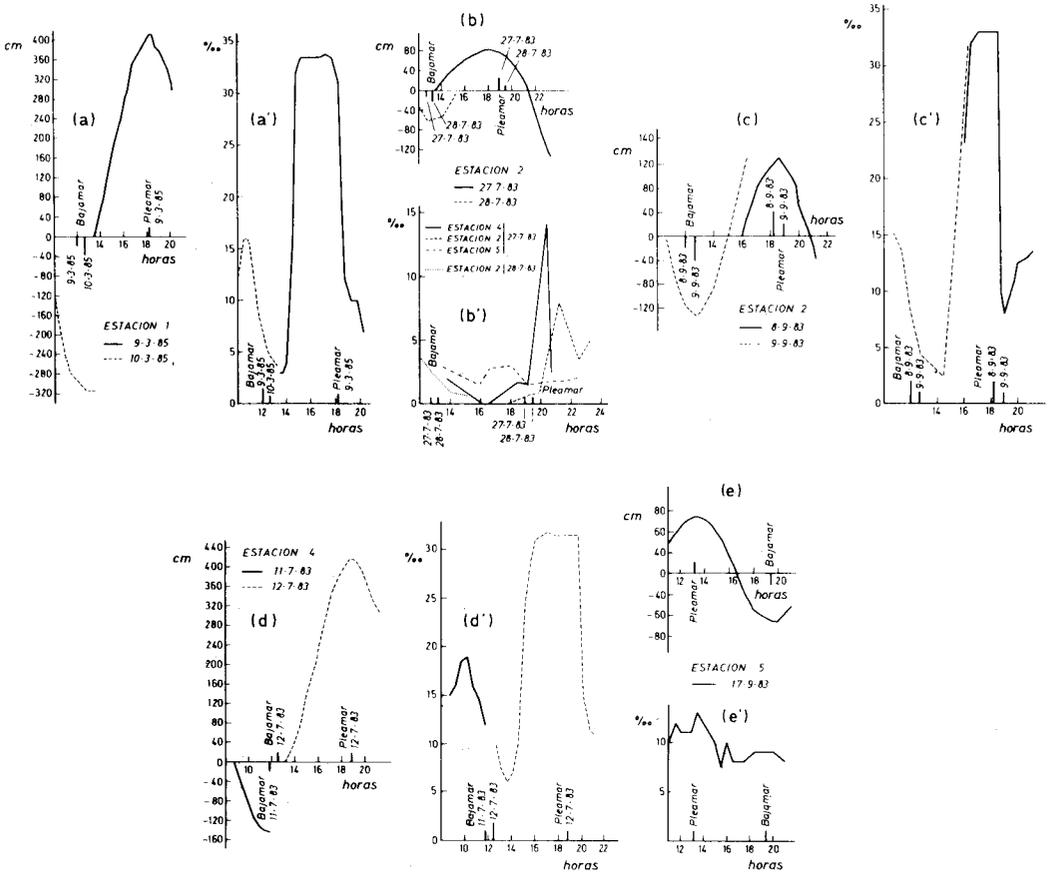


Fig. 7.- Evolución de las ondas mareales y de las mezclas de aguas a partir de perfiles de salinidad en profundidad en diferentes estaciones y días, a lo largo de ciclos mareales parciales.

dente a verticalmente homogéneo, pero con agua casi salada.

La Estación 4 (Fig. 7 c y c') tiene aguas de mezcla con perfiles de mezcla parcial desde una hora después de la pleamar hasta la bajamar en que son verticales de agua dulce y algo de mezcla; también, desde poco después de la bajamar hasta la media marea ascendente, son nuevamente de mezcla parcial, para estabilizarse hasta después de la pleamar en perfiles verticalmente homogéneos de agua salada con algo de agua de mezcla.

La Estación 5 (Fig. 7d) está marcada por funcionamientos en cuña salina, mucho más acen-

tuadamente desde la mitad de la marea ascendente (muy probablemente) hasta la mitad de marea bajando. Entre una y otra, pasando por la bajamar, los procesos de mezcla son muy importantes, rebajándose drásticamente la salinidad.

Se han sintetizado todos los datos de salinidades medidas en perfiles verticales a lo largo de los numerosos muestreos en las seis estaciones, reuniéndolos en cuatro momentos representativos del ciclo mareal: bajamar, media marea ascendente, pleamar y media marea descendente (Fig. 8).

Durante la bajamar, hay salinidades uniformes desde la superficie hasta el fondo, pero con

valores muy bajos (agua dulce y algo de mezcla); solamente, la Estación 5 registra aportes procedentes del drenaje de la ensenada del Ramu. A mitad de marea ascendente, se aprecia la formación de cuñas de agua dulce sobre fondos salados, más marcadamente en la Estación 2 y representativos de mezcla parcial en los restantes. En pleamar, predomina el funcionamiento con tendencia a verticalmente homogéneo, con agua salada y mezcla parcial en determinadas zonas del estuario, como en las Estaciones 3 y 5; en la primera, por la influencia del caudal del Sella y, en la segunda, por la del de la ensenada del Ramu. Durante la media marea descendente, el comportamiento en las diferentes estaciones es muy variado; en las próximas a la desembocadura, hay tendencia a formarse perfiles verticalmente homogéneos y, en las del interior, a mezclas parciales y con cuñas más o menos bien definidas.

De la consideración de los perfiles salinos durante un ciclo mareal, desde el punto de vista de su estratificación y características de las distribuciones de salinidad, se deduce que el estuario evoluciona desde un tipo de cuña salina y horizontalmente estratificado a verticalmente homogéneo, pasando por mezcla parcial.

La estratificación horizontal es más neta en el área de la cola y se desarrolla más extensamente en momentos de avenida; es de mezcla parcial en los intervalos entre pleamar y bajamar y en zonas laterales del canal principal en diferentes sectores; es verticalmente homogéneo durante bajamares y pleamares en prácticamente todo el estuario.

Asimismo, se constata que la interfase agua dulce/salada o, en su caso, la capa de agua de mezcla, alcanza una profundidad mayor en el borde oriental o bien está inclinada hacia el Este por efecto de la aceleración de Coriolis.

## DISTRIBUCION DE VELOCIDADES

Se han medido las velocidades de corrientes, así como su sentido, al objeto de reconstruir los movimientos de las masas de agua que permitan establecer el esquema de circulación general.

Se separan los registros en bajamar y pleamar, en que las distribuciones de velocidades si-

guen pautas más uniformes (Fig. 8e y f), mientras que en los episodios intermedios son muy irregulares y de difícil concreción.

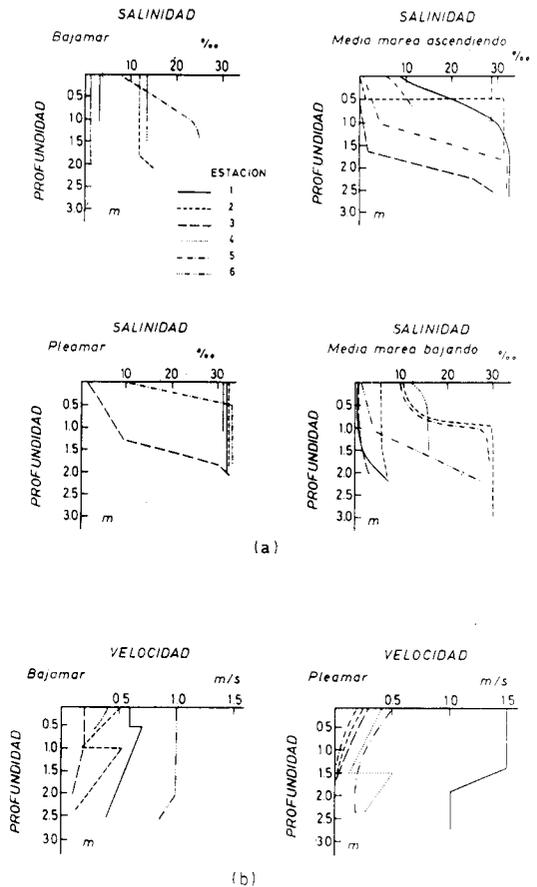


Fig. 8.- Perfiles de salinidad (a) y velocidad (b) en vertical deducidos para condiciones medias a lo largo de momentos extremos: pleamar y bajamar e intermedios: media marea ascendente y descendente, durante un ciclo mareal completo en las estaciones de registro.

Las velocidades oscilan por lo general entre 1.5 m/seg y 0.2 m/seg, aunque se llegan a cifras más bajas, e incluso de agua estancada, en determinados momentos. Se consideran convencionalmente en este trabajo como velocidades *bajas* o *débiles* a las inferiores a 0.3 m/seg, *moderadas* a las comprendidas entre 0.3 y 0.5 m/seg y *altas* a las superiores a esta última cifra.

Durante la bajamar, las velocidades son más intensas en la desembocadura, como corresponde al eje colector del drenaje, donde se concentra el mayor caudal de agua y se estrecha la sección, así como en la cola del estuario, por la actuación directa del cauce del Sella. Se pueden estratificar masas de agua con diferente intensidad de corriente (Estaciones 1 y 2), con una tendencia a decrecer la velocidad hacia el fondo por rozamiento. A medida que asciende la marea, se identifican dos o más masas de agua, de las cuales, las del fondo tienen una componente de entrada o de flujo, mientras que las superficiales se mueven hacia la desembocadura. Durante la pleamar, en la cola del estuario, las corrientes son intensas, particularmente en el área de influencia del canal; en la ensenada de Ribadesella, son débiles, excepto en las zonas donde actúa el canal, que varían de moderadas a fuertes; en la desembocadura, las velocidades son muy intensas, separándose dos masas de agua con velocidades diferentes. Al descender la marea, sigue extruyéndose el agua por los canales a gran velocidad y corrientes oblicuas laterales al canal, pudiendo producirse entrada de agua salada por el fondo hacia el interior.

## ESQUEMA DE CIRCULACION

De acuerdo con los datos obtenidos, fundamentalmente, a partir de las salinidades y corrientes (velocidad y sentido), se separan cuatro etapas principales en un ciclo mareal, que se han representado esquemáticamente en la Fig. 7. Se diferencian tres tipos de corrientes: *principales*, de gran intensidad, *secundarias*, moderadas o débiles, y *corrientes de fondo*, generalmente moderadas; asimismo, se tiene en cuenta la distribución del agua de mezcla de fondo, para visualizar fácilmente su desplazamiento, teniendo presente que el agua superficial es dulce o de mezcla dulce y la de fondo salada o de mezcla salada.

Durante la bajamar, debido a que se elimina la mayor parte del agua salada y de mezcla, el agua dulce fluye por el canal principal con alguna corriente secundaria lateral; se identifican corrientes débiles de flujo en la desembocadura; el agua

de mezcla, que disminuye su salinidad aguas arriba, se instala en el fondo del canal hasta rebasar, por el S, la ensenada de Ribadesella.

A media marea ascendente, en la cola del estudio, se mantienen prácticamente las mismas condiciones fluviales de la bajamar; en la ensenada de Ribadesella tiene lugar un reflujó de salida por el canal secundario y se produce una entrada de agua de mezcla salada por todo el fondo del canal principal; el agua de mezcla, que se mueve por el fondo, es mucho más importante ahora, aumentando su volumen, tanto en extensión como en altura y llegando hasta posiciones más meridionales.

Durante la pleamar, los procesos de entrada de agua de mezcla se hacen más importantes, siempre a través del canal principal, canales secundarios y transversalmente al bancal; durante este momento, se establece, en la columna de agua más superficial de la ensenada de Ribadesella, un giro levógiro, debido a la aceleración de Coriolis; el agua de mezcla, cada vez más dulce aguas arriba, llega hasta la cola del estuario, representada por el agua de mezcla dulce; existen aportaciones laterales desde el canal principal hacia la ensenada del Ramu.

A media marea descendente, aún se mantiene el giro, aunque de forma precaria; la circulación más importante vuelve a manifestarse a través del canal principal, reduciéndose el ascenso de agua marina; el agua de mezcla todavía llega hasta cerca de la cola del estuario, pero con salinidades generalmente más bajas.

## ZONAS MORFOSEDIMENTARIAS

Las zonas morfosedimentarias principales del estuario de Ribadesella se concretan en el conjunto de la duna eólica y la playa, bancal, canal principal, canal secundario y llanuras de fangos colonizadas por *Zostera* y algas halófitas. Fig. 4.

## DUNAS EOLICAS

La franja dunar eólica tiene una extensión similar a la de la playa, variando la anchura desde 105 m en su mitad occidental, donde muestra

una mayor uniformidad, hasta un máximo de 210 m en la mitad oriental, donde se distribuye irregularmente. Corresponden a dunas del tipo de cordón dunar, como las activas de Xagó y Salinas, pero menos evolucionadas (Barayo y Rodiles), y serían similares a otras también destruidas en San Lorenzo (Gijón) y San Juan de La Arena. Están totalmente degradadas por la construcción de un paseo y urbanizaciones diversas.

Se han recogido un total de 13 muestras arenosas representativas en puntos donde afloran aún las arenas eólicas. Fig. 5.

La distribución de las curvas acumuladas es simple, con variaciones escasas del tamaño medio, tendencia a clasificaciones muy buenas y transportes uniformes (saltación o suspensión intermitente). (Fig. 10).

Sus características granulométricas están reflejadas en la Tabla III.

## PLAYA

La playa intermareal tiene una extensión de 1.890 m, con una anchura media de 500 m, orientándose en una dirección E-O. Desarrolla una terraza de bajamar en su mitad occidental, con canales y banales paralelos a la línea de la bajamar.

Se limitan los estudios a la porción inter y supramareal, consideradas conjuntamente, dada la escasa representación de la segunda. Se parte de un total de 52 muestras arenosas y 7 estaciones de cantometrías. Predominan las litologías arenosas sobre las de granulometrías superiores. Cantos y gravas se disponen en parches y cordones de diferente extensión, paralelos a la línea del agua que, si se alojan en la porción superior, llegan a desarrollar arcos de playa ("beach cusps") no muy netos, y perpendiculares como barras paralelas y estructuras de barra y de barra y depresión ("ridge and furrow"). La composición de todas las fracciones es predominantemente cuarzosa, si bien las arenas contienen bioclastos (Moluscos fundamentalmente), variando del 9,58 al 28,33% (la media es de 16,43%).

Se separan, en condiciones de equilibrio, un talud intermareal (125 m) y su terraza de baja-

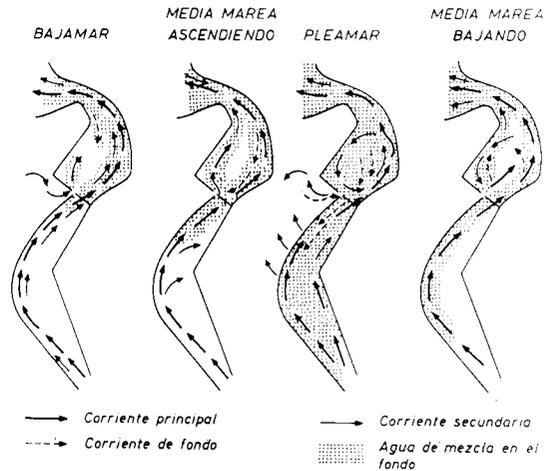


Fig. 9.- Esquema de la dinámica estuarina media durante un ciclo mareal completo.

mar correspondiente (375 m), dentro de la que se construye, en épocas de calma, un único sistema de bancal y canal ("ridge and runnel" o "longshore bar and trough"); estas formas adquieren un mayor desarrollo en la mitad occidental, mientras que hacia el extremo oriental la playa se reduce a un talud intermareal de fuerte pendiente con predominio de las granulometrías de cantos (áreas de mayor exposición a los oleajes más frecuentes del NO).

Las estructuras sedimentarias más características en superficie, visibles durante la bajamar, son: "ripples" romboidales de pequeña escala, que son los más abundantes, particularmente en la porción intermareal superior y en la franja de la bajamar, marcas horquilladas ("current crescent"), marcas de arroyada ("rill marks"), éstas especialmente bien desarrolladas en el contacto del talud intermareal con la terraza de bajamar, alineación paralela, marcas de vaivén, ("swash marks"), antidunas, dunas hidráulicas irregulares y ondas de arena con crestas cepilladas, tanto longitudinales como transversales a la línea del agua, etc.

Las curvas acumuladas de las arenas de playas muestran una distribución monomodal dominante, pero también bimodal. Las variaciones del tamaño medio son acusadas y tienden a clasificaciones buenas. El mecanismo de transpor-

Tabla III.- Valores medios, máximos y mínimos de los diferentes parámetros granulométricos, consignándose el número de datos (n). Los valores del Centil y la Media se plasman en unidades phi y en milímetros.

	Promedio		Máximo		Mínimo	
	$\phi$	mm	$\phi$	mm	$\phi$	mm
<b>DUNAS EOLICAS</b> (n = 13)						
	Arenas exclusivamente					
C (Centil)	1.11	(0.46)	0.50	(0.71)	1.40	(0.38)
M <sub>z</sub> (Media)	2.40	(0.19)	1.92	(0.26)	2.26	(0.21)
$\sigma_I$ (Clasificación)	0.40		0.48		0.34	
Sk <sub>I</sub> (Asimetría)	-0.21		0.17		-0.44	
K <sub>g</sub> (Angulosidad)	0.88		1.05		0.78	
<b>PLAYA (Internareal y Supramareal)</b> (n = 52)						
	Arenas					
C	0.46	(0.73)	-2.28	(4.86)	1.80	(0.29)
M <sub>z</sub>	1.99	(0.25)	1.10	(0.47)	2.50	(0.18)
$\sigma_I$	0.40		1.31		0.24	
Sk <sub>I</sub>	0.00		0.55		-0.46	
K <sub>g</sub>	1.16		2.16		0.53	
	Cantos y gravas					
(n = 7)						
C	-6.33	(80.45)-	6.83	(113.77)	-5.40	(42.22)
M <sub>z</sub>	-4.85	(28.84)	-5.24	(37.79)	-4.21	(18.51)
$\sigma_I$	0.62		0.78		0.38	
Sk <sub>I</sub>	-0.14		-0.01		-0.14	
K <sub>g</sub>	0.90		1.23		0.90	
<b>BANCAL</b> (n = 4)						
	Arenas		Máximo		Mínimo	
	$\phi$	mm	$\phi$	mm	$\phi$	mm
C	0.72	(0.61)	1.27	(0.41)	0.47	(0.72)
M <sub>z</sub>	2.12	(0.23)	2.73	(0.15)	1.86	(0.27)
$\sigma_I$	0.54		0.67		0.40	
Sk <sub>I</sub>	0.04		0.24		-0.24	
K <sub>g</sub>	1.09		1.18		0.98	
	Cantos y Gravas					
(n = 6)						
C	-6.88	(117.78)	-9.20	(588.14)	-6.07	(67.18)
M <sub>z</sub>	-5.35	(40.79)	-6.40	(84.45)-	4.81	(28.05)
$\sigma_I$	0.72		1.43		0.46	
Sk <sub>I</sub>	0.08		0.43		-0.13	
K <sub>g</sub>	1.02		1.26		0.74	
<b>CANAL PRINCIPAL</b> (n = 4)						
	Arenas					
C	-2.52	(5.73)	-5.50	(45.25)	-0.22	(1.16)
M <sub>z</sub>	1.33	(0.40)	1.03	(0.49)	1.80	(0.29)
$\sigma_I$	0.71		0.78		0.61	
Sk <sub>I</sub>	-0.10		-0.02		-0.23	
K <sub>g</sub>	1.31		1.58		0.96	
	Cantos y gravas					
(n = 18)						
C	-7.05	(1342.52)	-8.52	(367.09)	-6.36	(82.14)
M <sub>z</sub>	-5.32	(39.95)	-6.07	(67.18)	-4.93	(30.48)
$\sigma_I$	0.75		1.03		0.58	
Sk <sub>I</sub>	0.03		0.24		-0.93	
K <sub>g</sub>	1.05		1.31		1.05	

te esencial es el de tracción por vaivén, diferenciándose, en algunos casos, una fracción gruesa de escasa representación (nunca superior al 16% del total de la distribución), que viaja por rodamiento o arrastre sobre el fondo. Las curvas de gravas y cantos muestran una clasificación que oscila de buena a moderadamente buena, con variaciones importantes de las medias de tamaño. Se separan muy netamente las poblaciones granulométricas que sufren procesos de vaivén, con un 40% para la fracción más gruesa.

### CANAL PRINCIPAL

El canal principal representa la continuación natural del río Sella. Sigue una trayectoria sinuosa en planta, pudiéndose distinguir dos sectores. El más interno, en que el cauce se sitúa en el margen occidental, formando un recodo con barras longitudinales en su borde oriental. La litología fundamental está constituida por cantos, que se encuentran colonizados de forma bien distinta: el borde más cercano al canal, en una franja de 10-12 m de anchura, lo hace con algas del tipo *Enteromorpha*; hacia la parte alta, estas barras se recubren en su mayor parte por limos y arenas finas de tonos pardos, cuya estructura principal es la de marcas desecación; los cantos no cubiertos se colonizan por algas Fucáceas. Estas barras pueden llegar a desarrollar llanuras de fangos colonizadas por halofíticas (área de la cola estuarina). Ocasionalmente, sobre los cantos se fijan mejillones (*Mytilus edulis*) que, durante avenidas, acaban siendo enterrados; actualmente están restringidos a un pequeño canal lateral, donde además son estables colonias de berberechos (*Cerastoderma edule*), dentro del sedimento arenoso. Estas barras tienen una continuidad longitudinal aparentemente grande y se originan en la porción interna del recodo como barras laterales a modo de barras de meandro, pero con una fuerte componente horizontal de flujo y recimiento sedimentario en ese mismo sentido, con retoques debidos al flujo mareal. En el margen izquierdo, ligados a la escollera artificial, se desarrollan comunidades importantes de ostras (*Crassostrea angulata*) (L. M. Alvarez, com.

personal). La anchura media del canal en esta zona es de 50-60 m, con cauce permanente de agua durante la bajamar. En este sector, el canal presenta un perfil transversal claramente asimétrico, con el borde occidental más pendiente, enlazando con la escollera o, en la cola, con la llanura de fangos antigua; el margen oriental se someriza suavemente. Alcanza profundidades variables, comprendidas entre 2 y 3 metros. Está constituido esencialmente por cantos de cuarcita y, en mucha menor proporción, calizas, siempre subredondeadas; ocasionalmente, gravas y gravillas y aún menos arenas, en todos los casos muy lavadas. Las barras longitudinales son fusiformes en planta, adosándose unas a otras y, generalmente, son difíciles de individualizar; están mejor definidas en la cola del estuario. Pueden tener longitudes de 350 a 500 m y anchuras de 60 y 70 m.

El más externo queda permanentemente sumergido por las labores de dragado efectuadas para permitir una mejor navegación al puerto de Ribadesella, instalado en esta zona del canal principal. Su profundidad está en función de la periodicidad de tales dragados y de las avenidas del río Sella, pudiendo variar por término medio entre 3 y 4 m. Tiene un perfil transversal asimétrico, con mayor profundidad en el margen derecho. Los sedimentos varían desde cantos y gravas a arenas gruesas y medias, que son la fracción dominante. Estas enlazan con la porción sumergida de la playa, en la desembocadura, a través de una barra o bancal de eje transversal al canal, que migra y evoluciona continuamente por el doble efecto del oleaje y la dinámica mareal externa; esta estructura impide el acceso fluido de las embarcaciones al estuario, por lo que también se efectúan dragados sobre él.

El componente arenoso es muy escaso y está mejor representado en las áreas del canal próximas a la ensenada de Ribadesella. Las curvas acumuladas presentan distribuciones fuertemente bimodales, con grandes variaciones del tamaño medio de grano, y clasificaciones moderadas y moderadamente buenas. Se separan netamente las fracciones por rodamiento o arrastre (del orden del 10%), representadas por las frac-

ciones más gruesas, de las de saltación y suspensión (Fig. 10).

Los cantos de las barras fluviales longitudinales, medidos en 18 estaciones, revelan transportes uniformes de alto flujo, con tamaños medios muy contrastados y clasificaciones moderadamente buenas (Fig. 10).

Los parámetros texturales se recogen en la Tabla III.

Los sedimentos de la mitad interna del canal principal están controlados fundamentalmente por la acción fluvial, de forma especial durante las bajamares y, aún mejor, en momentos de avenida, en que se conforman las barras de cantos. Por lo que respecta a la mitad externa del canal, tiene lugar una sedimentación arenosa controlada doblemente por la dinámica fluvial, que funciona exclusivamente en bajamares y tiende a transportar los sedimentos hacia la desembocadura, y la estuarina con movimientos de flujo y reflujos, responsables de la entrada neta de material arenoso desde la playa.

## CANAL SECUNDARIO

Se reduce a un canal que delimita el bancal por el borde occidental. En parte, sirve de desagüe para el arroyo de San Pedro, hoy día artificializado. Tiene un fondo laxo, más amplio y arenoso en la porción externa (30 m) en donde está permanentemente sumergido, mientras que la más interna queda emergida durante las bajamares; disminuye de anchura hacia la cola en que desaparece y permanece rodeado por fangos colonizados por la gramínea *Zostera* y una estrecha franja más elevada topográficamente fijada por *Fucus*. El margen izquierdo es arenoso en la porción externa, procediendo dicho componente de la playa como resultado de la dinámica estuarina que, en los estuarios situados en el hemisferio Norte, supone la entrada de agua y sedimento por el extremo occidental. Las características granulométricas: Centil variable de 0,91 a 1,48  $\phi$  (promedio de 1,19  $\phi$ ), Media comprendida entre 1,82 y 2,13  $\phi$  (promedio de 1,95  $\phi$  = 0,26 mm), Clasificaciones entre 0,24 y 1,31 (media de 0,40 o bien clasificadas), Asime-

trías de 0,00 a 0,20 (0,09 o curvas con tendencia simétrica, ligeramente desplazadas hacia los finos) y Angulosidades muy variables entre 0,92 y 1,63 (media de 1,23 o leptokurtósica), así como los carbonatos, que oscilan entre 9,16% y 19,58% (promedio de 15,41%), son muy similares a las de la playa (ver Tabla III).

Son frecuentes las estructuras de acanaladuras de desagüe, marcas horquillada y ripples asimétricos de corriente, que dejan en algunas áreas, películas de fango en los frentes de sotavento; son abundantes restos bioclásticos completos y poco fragmentados, pequeños *Cerastoderma*, *Scrobicularia* y *Tapes*, en posición de vida, y *Crassostrea* fijada a los cantos cuarcíticos e incluso restos de *Mytilus*. El margen derecho entronca con el bancal arenoso y de cantos.

El canal secundario funciona durante la subida, pleamar y bajada de la marea. En el primer caso se introduce el material arenoso por el borde occidental, proveniente de la playa. Durante la pleamar, se generan corrientes de subida, que forman parte del giro occidental de componente horizontal sobre la ensenada de Ribadesella, debido al efecto de Coriolis. Finalmente, durante el descenso de marea hacia la bajamar, actúa como un canal de desagüe.

## BANCAL

Se desarrolla entre el canal principal por el Este y el secundario por el Oeste, dentro de la ensenada de Ribadesella. Tiene una forma alargada fusiforme, en planta, con un extremo puntiagudo en la porción externa. Está incidido oblicuamente en su borde occidental por canales muy laxos, que se estrechan y somerizan hacia el SE, según una dirección NO-SE y juegan hacia la bajamar y la pleamar. Queda emergido durante las bajamares, alcanzando una longitud de 400 m y una anchura máxima de 160 m. Está constituido por cantos cuarcíticos subredondeados en sus 4/5 partes, siendo sustituidos por arenas estables hacia el extremo externo. Prácticamente todos los cantos están colonizado por *Fucus* y *Enteromorpha* y, en los canales, aparecen, además, *Ulva* y *Zostera*. Viven escasos

ejemplares de *Littorina* y, algunos cantos pueden estar colonizados por *Crassostrea*. Estos clastos colonizados permiten suponer que la tasa sedimentaria es bajísima, predominando el lavado del agua con corrientes intensas; tan sólo en el ápice arenoso se produciría un mayor movimiento sedimentario.

Las poblaciones arenosas presentan tamaños medios variables con clasificaciones buenas a moderadamente buenas y transportes generalmente uniformes por suspensión intermitente, aún cuando se pueden individualizar subpoblaciones representativas de flujos complejos (Fig. 10).

La fracción de cantos y gravas está representada por curvas monomodales y, ocasionalmente, polimodales que implican flujos de alta energía y muestran una variación pequeña de la media de tamaños, con clasificaciones buenas.

En la Tabla III, se reúnen las características texturales, tanto para las arenas como para los cantos y gravas.

El bancal se desarrolla mediante diversos mecanismos. El material de cantos y gravas es aportado por el río en avenidas, mientras que las arenas penetran en el estuario a través del canal principal, procedentes del sistema playero; otra porción menor es aportada por el propio río. No obstante esto, hay que remarcar que el volumen arenoso del sistema provienen, en primera instancia, de la excavación del Sella a lo largo de su historia de encajamiento y, en menor proporción, de las aportaciones de la corriente costera. Su instalación en la ensenada de Ribadesella se debe al doble hecho de la existencia de una superficie extensa y, en estas circunstancias, la posibilidad para la actuación del efecto de Coriolis durante las pleamares, en que el espesor de la capa de agua es suficiente para la creación de una componente horizontal de flujo. El bancal se retoca, de forma acusada, por la acción fluvial durante las bajamares, como lo demuestra la forma alargada en planta del conjunto.

## CARACTERIZACION SEDIMENTOLOGICA

En la Tabla III se recogen las características granulométricas de los diferentes ambientes

morfo-sedimentarios: cantos (cantos y gravas) y arenas, mientras que en la Fig. 11 y Tabla IV se registran gráfica y numéricamente (índices de regresión lineal), los contrastes entre los parámetros texturales.

En las fracciones de cantos y gravas, se individualizan los tres conjuntos, desde el de playa con mayores tamaños máximos y medios, menores en el bancal y los mínimos en las barras fluviomareales. Las barras fluviomareales y bancal tienen peores clasificaciones, mejorando en la playa. Las simetrías evolucionan de valores positivos en el bancal a negativas en la playa, y valores intermedios en las barras fluviomareales. Hay una tendencia clara a pasar de curvas chatas en la playa a medias en barras y bancal.

Los cantos son aportados claramente por el río que marca distribuciones granulométricas bastante similares en bancal y barras, con ciertas diferencias; en las barras la acción es casi exclusivamente fluvial, mientras que en el bancal se deja notar el ligero retoque de la circulación estuarina (menor tamaño máximo en promedio y valores ligeramente positivos de la asimetría). En la playa, los oleajes, fundamentalmente, y las mareas retrabajan intensamente los cantos sacados por el estuario, que llegan a su dominio imprimiendo tamaños máximos y mínimos menores, mejores clasificaciones, asimetrías más negativas y curvas tendentes a achatadas.

Las arenas muestran tamaños máximos y medios mayores en las barras fluviomareales, que disminuyen hacia la playa y el bancal, situándose las eólicas en el extremo más fino. Las clasificaciones son moderadamente buenas en barras fluviomareales, mejorando ligeramente en el bancal y alcanzando las mejores cifras medias en playa y duna (la diferencia entre éstas reside que en la playa los valores tienen un espectro más amplio). Las asimetrías son negativas en las barras fluviomareales, muy negativas en las dunas, simétricas en la playa y positivas en el bancal. Las curvas son angulosas en las barras, pasan a medias en el bancal y playa (más picudas en esta última) y chatas en las dunas.

La acción fluvial se deja sentir en las granu-

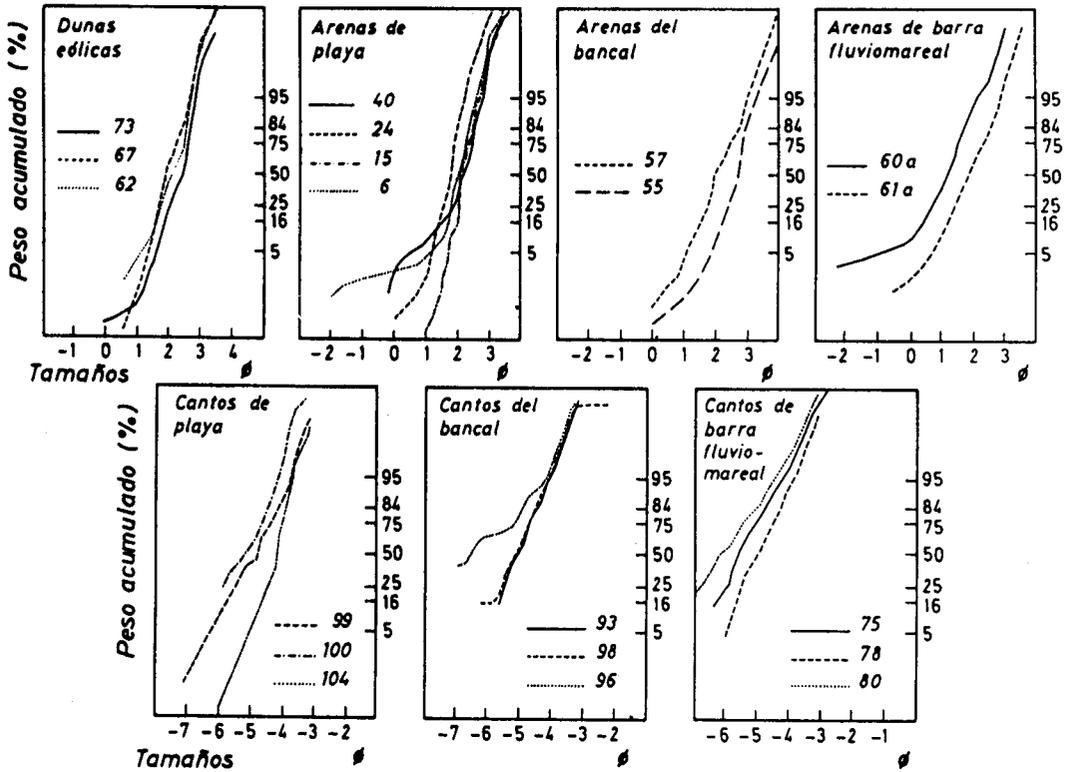


Fig. 10.- Curvas acumuladas más representativas de las facies morfosedimentarias estuarinas

lometrías de las arenas, con una clara dependencia genética en la aportación al bancal, playa y dunas. Esto queda de manifiesto en la selección del tamaño medio y en la disminución del carbonato biogénico transportado por la corriente costera, que se ve superado en la playa por un exceso de material insoluble (cuarzo) (Flor, 1978). La acción de la circulación mareal sobre el bancal, con entrada de arenas playeras, provoca la mezcla de poblaciones fluviales y de la playa (clasificaciones y asimetrías intermedias); en la playa las arenas alcanzan valores de buena clasificación, curvas simétricas y angulosidades medias por la acción del oleaje, mientras que en las dunas el tamaño de grano disminuye considerablemente, las curvas se hacen negativas y achatadas.

Se contrasta la Media ( $M_z$ ), representativa de la energía cinética media del depósito, frente

a los restantes parámetros texturales para evaluar la evolución de cada uno de ellos en los ambientes morfosedimentarios, representados por dichos parámetros. Esto se traduce en una valoración de las distribuciones de las nubes de puntos y sus índices de correlación lineal, así como de los mecanismos de transporte, que permitan identificar cada ambiente sedimentario.

En todos los casos, los dos grupos de tamaños (cantos+gravas y arenas) se separan muy netamente en todas las gráficas.

Al ser menor el tamaño medio, las clasificaciones se hacen peores y las curvas positivas y, para las arenas del bancal, las curvas se agudizan. Las nubes de puntos representativas de arenas se reparten, en las gráficas, con fuertes oscilaciones del segundo parámetro contrastado:  $C$ ,  $\sigma_1$ ,  $Sk_1$  y  $Kg$ , lo mismo que para el caso de cantos en la relación  $M_z$ - $Kg$ . Todo esto viene a indicar

TABLA IV.-Valores de los índices de regresión lineal en la correlación de la Media con los parámetros Centil, Clasificación, Asimetría y Angulosidad. En el contraste Mz/C para las arenas de playa, se calculan los índices globales y los parciales, cuando C es mayor o menor de 0.25  $\phi$ .

**DUNA**

Arenas exclusivamente

Mz/C	0.42
Mz/ $\sigma_1$	0.35
Mz/Sk <sub>1</sub>	0.86
Mz/K <sub>g</sub>	0.41

**PLAYA**

	Arenas	Cantos y gravas
	0.10 (C < 0.25 $\phi$ )	
Mz/C	0.01	0.87
	0.58 (C > 0.25 $\phi$ )	
Mz/ $\sigma_1$	0.17	0.70
Mz/Sk <sub>1</sub>	0.42	0.46
Mz/K <sub>g</sub>	0.33	0.54

**BANCAL**

	Arenas	Cantos y gravas
Mz/C	0.33	0.69
Mz/ $\sigma_1$	0.26	0.00
Mz/Sk <sub>1</sub>	0.33	0.40
Mz/K <sub>g</sub>	0.14	0.33

**CANAL PRINCIPAL**

	Arenas	Cantos y gravas
Mz/C	0.59	0.82
Mz/ $\sigma_1$	4.47 x 10 <sup>-3</sup>	0.46
Mz/Sk <sub>1</sub>	0.78	0.20
Mz/K <sub>g</sub>	0.79	0.24

que los agentes dinámicos son muy selectivos, dominando los mecanismos fluviales que promueven una fuerte selección de los espectros de tamaños, y los transportes, consecuentemente son también muy simples: arrastre y/o rodamiento sobre el fondo, para cantos y gravas, y suspensión intermitente y/o uniforme, para las arenas.

Los índices de correlación, al contrastar Media y Centil, son buenos, mejorando desde el bancal, pasando por el canal principal, hasta la playa; viene a indicar la estrecha correlación existente entre la energía media y máxima; el material procede principalmente, en esta ría, de los aportes fluviales (cuarzo) con ligeros aportes marinos (bioclastos fundamentalmente y

componente cuarzoso), acentuándose la mejora de los índices con los procesos selectivos del oleaje. El contraste de la Media con la Clasificación, Asimetría y Angulosidad revela una cierta independencia, pero, como en el caso anterior, hay una tendencia a mejorar los índices hacia la playa. La playa parece representar, por tanto, el conjunto sedimentario más evolucionado en lo que concierne a las poblaciones de cantos y gravas.

Los índices de correlación lineal, resultantes de enfrentar los parámetros texturales del componente arenoso, son muy variables y oscilan de moderadamente buenos, los menos, a nulos. Solamente las arenas del canal principal parecen responder mejor al contraste de la

Media con la Asimetría y Angulosidad y, en las dunas, de la Media con la Asimetría; para el Mz-C, es moderado en el canal, empeorando en la duna y bancal y se hace mínimo en la playa; para el Mz- $\sigma_1$ , es muy moderado en la duna y el bancal, malo en la playa y nulo en el canal; para el Mz-Sk<sub>1</sub>, es mejor en la duna y bueno en el canal y moderado en playa y bancal (peor en éste); para el Mz-Kg, es bueno en el canal, moderado en playa y duna y muy bajo en el bancal.

### CONCLUSIONES

- El estuario de Ribadesella es del tipo de valle fluvial inundado con una circulación global verticalmente homogénea; en condiciones de avenida, evoluciona a cuña salina y, ocasionalmente, a mezcla parcial.
- Las ondas mareales responden al esquema general por el cual la amplitud de la onda teórica en mar abierta se amortigua hacia la cola del estuario. En algunas ocasiones, se forman ondas estacionarias internas con períodos de 6 horas, que se manifiestan en las áreas de cola del estuario.
- Las ondas salinas son complejas, generalmente bimodales. Los máximos coinciden, el mayor, con la pleamar, lo que indica la entrada de agua salada de forma neta y, el menor, alrededor de la bajamar, debido a la extrusión del agua de mezcla que aún queda en el estuario.
- La mezcla de aguas en el estuario, deducida a partir de perfiles verticales de salinidad, revela la tendencia del estuario al tipo verticalmente homogéneo (de agua salada en pleamar y dulce en bajamar), pasando por mezcla parcial en los intervalos intermedios. En determinadas áreas y momentos, se registran perfiles de cuña salina característicos.
- La circulación general del estuario revela la fuerte influencia de la extrusión de agua durante todo el ciclo mareal. Durante buena parte del final de la marea ascendente

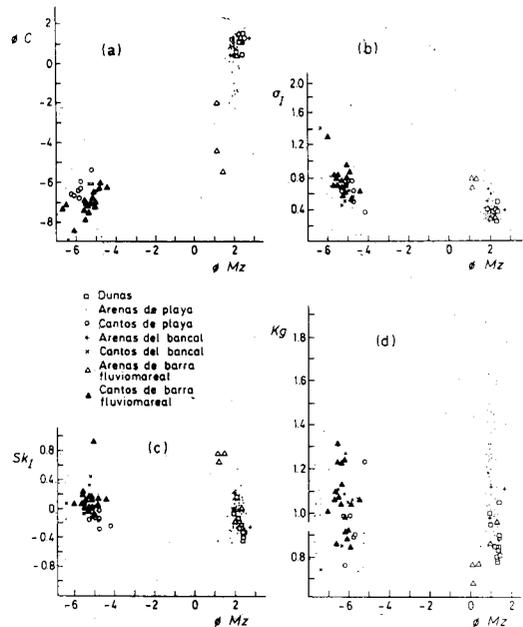


Fig. 11. -Gráficos en que se enfrenta la Media (Mz) a los siguientes parámetros: Centil (C), Clasificación o Calibrado ( $\sigma_1$ ), Asimetría (SK<sub>1</sub>) y Angulosidad (Kg).

e inicio de la descendente, se crea, en la ensenada de Ribadesella, un giro horizontal de agua en sentido contrario a las agujas del reloj, debido al efecto Coriolis. La entrada de agua salada se realiza mayoritariamente por el canal principal, a la que se superpone el agua dulce y/o de mezcla en superficie.

- Se separan diferentes subambientes morfo-sedimentarios: dunas eólicas, playa mareal, canal principal, canal secundario y bancal. El mayor volumen de material sedimentario procede de la aportación del río Sella que, en parte, puede reintroducirse en el estuario (fracción arenosa); está constituido por cantos y gravas, arenas y fangos, éstos últimos restringidos a una pequeña ensenada. Las dunas son exclusivamente arenosas, la playa mayoritariamente arenosa con cantos y gravas dispersas, el canal principal con cantos y gravas predo-

minantes en la porción interna y arenas en la externa y, finalmente, el bancal con cantos en su mayor parte y una pequeña proporción de arenas en el ápice externo.

- La distribución sedimentaria en el estuario es el resultado de la dinámica general. El canal principal desarrolla barras longitudinales y de meandro, que se trabajan principalmente durante las bajamares y en avenidas; el componente arenoso de la mitad externa se instala durante el flujo mareal, por arrastre desde la playa sumergida, y, en parte, por el aporte del propio río. El canal secundario se alimenta de arenas de la playa y de fangos fluviales, que decanta en su parte interna. El bancal recibe aportes fluviales directos (cantos y gravas), que apenas si se remueven, como lo demuestra el hecho de no contener sedimentos finos de recubrimiento y estar colonizados por algas, y de la playa (arenas), que son retrabajadas por los efectos de la extrusión fluvial, entrada desde la playa durante el flujo mareal y circulación horizontal en la ensenada de Ribadesella alrededor de la pleamar.
- Desde un punto de vista textural, se pueden discriminar los sedimentos de cantos y gravas y arenas de cada uno de los subambientes considerados.
  - En lo que respecta a cantos y gravas, las barras fluviomareales y el bancal tienen múltiples coincidencias: tamaños máximos y medios similares, clasificaciones moderadas, diferenciándose en que el canal posee asimetrías negativas y curvas agudas. La playa tiene tamaños menores, clasificaciones buenas, así como curvas negativas y achatadas.
  - En lo referente a las arenas, el canal principal interno tienen los tamaños más gruesos, que disminuyen en el bancal y más aún en la playa, siendo en las dunas los más finos; también, las clasificaciones son peores en el canal

(moderadas), pasando a moderadamente buenas en el bancal y buenas, tanto en la playa como en la duna; las asimetrías son más negativas en dunas que en playas y canal, para hacerse positivas en el resto; las curvas son chatas en las dunas, medias en el bancal y agudas en el canal principal y en la playa. Es, por tanto, sobre los parámetros Centil, Media y Clasificación donde se puede establecer algún tipo de caracterización y transición textural clara desde unos subambientes a otros.

- Esta última conclusión puede comprobarse también mediante el contraste de la Media con los restantes parámetros. En un primer momento se pueden separar netamente las poblaciones de cantos+gravas y arenas. Las distribuciones de las nubes de puntos permiten separar las siguientes tendencias: en todos los casos, a menor tamaño medio, el tamaño máximo es menor, la clasificación mejor y las curvas más negativas; en el contraste Mz-Kg, el bancal arenoso sigue la tendencia inversa: a menor tamaño las curvas se tornan más picudas. No obstante, las nubes de puntos representativas de arenas se reparten en las gráficas con fuertes oscilaciones del segundo parámetro contrastado, lo mismo que para el caso de cantos en la relación Mz-Kg. Indica que los agentes dinámicos son muy selectivos en los tamaños y los transportes son por arrastre y/o rodamiento en los cantos y gravas y por suspensión intermitente y/o uniforme en las arenas.
  - Gravas y cantos en las barras fluviomareales, bancal y playa parecen tener una cierta discriminación en la relación Mz-C, por cuanto existe una gradación de las nubes de puntos; así, los tamaños máximos y medios son mayores en el canal, haciéndose menores en el bancal y mínimos en la playa. Una tendencia en este mismo sentido se aprecia en el contraste Mz- $\sigma_1$ , con me-

jores clasificaciones y tamaños menores en la playa, solapándose los de bancal y canal, éstas últimas con peores clasificaciones y tamaños más gruesos. También, en Mz-Sk<sub>1</sub>, las curvas son más negativas y el tamaño es menor en la playa, mientras que en la relación Mz-Kg apenas si se observa discriminación clara.

- El contraste Mz-C muestra una cierta transición entre arenas fluviomareales con tamaños máximos y medios mayores, que disminuyen hacia la playa y más aún en la duna. Playas y dunas tienden a clasificaciones mejores y tamaños menores que el resto. Las barras fluviomareales, con tamaños me-

dios mayores y asimetrías más positivas, pasan a la playa cuya tendencia es a curvas simétricas y dunas con las curvas más negativas. Las curvas más angulosas se reparten por la playa, siendo intermedias en el bancal, achatadas en barras y aún más en dunas.

- Los índices de regresión lineal, en los contrastes para cantos y gravas, son buenos en la relación Mz-C, mejorando desde el bancal a la playa, pasando por ser intermedios en el canal. Los de los contrastes de Mz con  $\sigma_1$ , Sk<sub>1</sub> y Kg no son tan claros, pero se evidencia esta misma tendencia. Para las arenas, el paso de índices buenos a malos es muy variable según el contraste y el subambiente considerado.

### AGRADECIMIENTOS

Nuestra gratitud al Dr. Ortea y a la Sra. Llera, biólogos, quienes participaron desinteresadamente y con enorme esfuerzo en la toma de multitud de datos sobre salinidad y alturas mareales en varios muestreos, lo que ha permitido una información exhaustiva imprescindible para la deducción de las

condiciones dinámicas medias.

También a D. Alfonso González por su dedicación en la realización de los análisis granulométricos y calcimétricos en el laboratorio y a D. Manuel Coca por su excelente trabajo de delineación.

### BIBLIOGRAFIA

- Camblor, C. (1985).- *Dinámica y sedimentación en el estuario de Ribadesella*. Tesis de Licenciatura (inédita). Departamento de Geología. Area de Estratigrafía. Universidad de Oviedo. 279 pp.
- Dyer, K. R. (1973).- *Estuaries: A Physical Introduction*. John Wiley and Sons. London. 140 pp.
- Eagleson, P. S. y Dean, R. G. (1966).- Small Amplitude Wave Theory. In: Ippen, A.T. (Ed). *Estuary and Coastal Hydrodynamics*. Engineering Societies Monography, Mc Graw-Hill Book Co. Inc. 1-92.
- Emery, K. O. (1955).- Grain size of marine beach gravel. *Journal of Geology*, **63**, 39-49.
- Flor, G. (1977).- Los carbonatos biogénicos en los depósitos arenosos de las playas del litoral asturiano. *Brev. Geol. Astur.*, **21**, 51-62.
- Flor, G. (1978).- Relación entre la distribución de sedimentos y la circulación costera en la región de Cabo Peñas. *Trabajos de Geología*, **10**, 183-194. Universidad de Oviedo.
- Flor, G. (1987).- Evolución del borde costero del noroeste peninsular: un modelo de costa acantilada progradante. *Actas de la VII Reunión sobre el Cuaternario (A.E.Q.U.A.)*, 215-218. Santander.
- Folk, R. L. y Ward, W. C. (1957).- Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrol.*, **27**, 3-26.
- Navarro, D. y Leyva, F. (1987).- *Hoja nº 31 (Ribadesella)*. Escala 1/50.000 (Plan Magna). I.G.M.E. España.
- Pritchard, D.W. (1955).- Estuarine circulation patterns. *Am. Soc. Civil Engineers Proc.*, **81**. Separate nº 717, 1-11.
- Pritchard, D. W. (1967).- What is an estuary: physical view-point. In: *Lauff Estuaries*. *Am. Assoc. Adv. Sci.*, 3-5.
- Silvester, R. (1974).- *Coastal Engineering II. Sedimentation, estuaries, tides, effluent and modelling*. Developments in Geotechnical Engineering, 4B. Elsevier. 338 pp.
- Simmons, H. B. (1955).- Some effects of upland discharge on estuarine hydraulics. *Proc. Amer. Soc. Civil Eng.*, 81-92.

