



Aspectos dinámicos y morfosedimentarios del estuario de Tina Menor (Occidente de Cantabria, NO de España)

GERMÁN FLOR BLANCO Y GERMÁN FLOR

*Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. c/ Jesús Arias de Velasco, s/n. 33005 Oviedo.
gfb@geol.uniovi.es; gflor@geol.uniovi.es*

Resumen: El estuario mesomareal de Tina Menor se ha caracterizado dinámicamente definiendo la onda mareal (hiposincrónico), las mezclas de aguas (de mezcla parcial y cuña salina) y las corrientes durante un ciclo mareal. Se ha zonificado geomorfológicamente, distinguiendo las unidades morfosedimentarias y dinámicas: complejo de desembocadura (paso de desembocadura y playa intermareal), bahía arenosa (canal principal, barras horquilladas de flujo y reflujo, llanuras arenosas, playas estuarinas arenosas y de gravas y cantos, así como una barrera interna anómala culminada con dunas), llanuras fangosas (canal principal, marismas con canales mareales y marismas reclamadas) y canal superior (canal principal y llanuras fluvio-mareales). Se reproducen las tendencias superficiales de los parámetros granulométricos y porcentaje carbonatado, y los promedios para las unidades morfosedimentarias y dinámicas. Se deduce el modelo morfodinámico para el conjunto estuarino.

Palabras clave: dinámica, morfología, sedimentación, estuario

Abstract: The mesotidal estuary of Tina Menor has been dynamically characterized through the tidal wave (hyposynchronous), their stratification and the characteristics of their salinity distributions (vertical homogeneous and partially mixed), and directions and velocities of currents during a tidal cycle. It has been geomorphologically zoned, identifying their morphosedimentary and dynamic units: mouth complex (inlet and intertidal beach), sandy bay (main channel, spillover lobes, sand flats and estuarine beaches together with an anomalous inner barrier), muddy flats (main channel and marshes) and upper channel (main channel and fluvial-tidal flats). Surficial tendencies of granulometric parameters and carbonate percent including the average for each unit are included. The morphodynamic model of this estuary has been established.

Key words: dynamics, morphology, sedimentation, estuary

Una gran parte de los estudios geológicos sobre estuarios se ha focalizado en la relación existente entre los procesos dinámicos y su respuesta morfosedimentaria, así como en la caracterización de las facies, con una aplicación para su traslado a series fósiles. Dentro de esta línea se han investigado los estuarios asturianos del Eo (Encinar y Flor, 1983;

Flor *et al.*, 1992), Nalón (Flor *et al.*, 1998)), Villaviciosa (Vázquez Argüelles, 1974; Flor *et al.*, 1996) y Ribadesella (Flor y Cambor, 1990).

En numerosos estuarios peninsulares, se ha establecido la secuencia evolutiva superior del relleno estuarino o de la totalidad del conjunto, en estos casos bien

sea mediante sondeos mecánicos y el correspondiente muestreo (Borrego, 1992; Morales, 1993; Morales, 1997; Borrego *et al.*, 1995; Borrego *et al.*, 1999), cada vez más apoyados en dataciones y en la macro y microfauna acompañante (Pascual *et al.* 1999, Cearreta, 1994), o a través de sísmica stratigráfica (Dabrio *et al.*, 2002; Lobo *et al.*, 2003). También se han establecido secuencias históricas en algunos estuarios donde la incidencia antrópica ha significado cambios sustanciales (Rivas, 1990, Cabrera Ceñal y Flor, 1993; López Peláez, 1999; López Peláez y Flor, 2006).

Este estuario de Tina Menor ha sido estudiado con una dedicación muy diferente; así, Rivas (1991) calcula la extensión que alcanzaría la inundación estuarina durante la transgresión flandriense y las superficies perdidas posteriormente, fundamentalmente por reclamación (2.130.000 y 1.729.000 m², respectivamente). Fernández Iglesias (1999) aporta una estimación porcentual de la ocupación antrópica frente al área natural. Fontan (2001) ha estimado una reducción del prisma de marea del orden del 16% por causa del aislamiento de una amplia porción de la zona oriental, donde se ubicó una piscifactoría en 1973, hoy día en plena producción. Fernández Iglesias y Marquínez García (2002) proponen una serie de características geomorfológicas muy generales, separando unidades sedimentarias (llanuras intermareales fangosas, depósitos arenosos y marismas) y erosivas (canales fluviales, mareales y escarpes) y una zonación morfodinámica basada en la altura que alcanzan las mareas sobre una carrera mareal de 3,1 m, cifra muy alejada de los 4,50 m de los rangos de mareas vivas para este meridiano de la costa cantábrica, que también es aplicada para los cálculos y cartografía; estos autores identifican tres unidades: terrazas inferior, media y superior, separadas por escarpes naturales, ninguno de cuyos elementos han podido ser comprobados en este trabajo, incluso después de numerosas campañas de campo y de los minuciosos análisis de los diferentes juegos de fotografías aéreas y planos topográficos disponibles.

Más recientemente, Flor Blanco y Flor (2003 y 2004) y Flor Blanco (2007) avanzan el modelo morfodinámico de Tina Menor y algunas características geomorfológicas y sedimentarias que permiten establecer las analogías y diferencias entre éste y el contiguo de Tina Mayor, basadas fundamentalmente en las unidades morfosedimentarias y dinámicas más importantes. Destaca la gran abundancia de facies de cantos y gravas en todas las zonas geomorfológicas de Tina Mayor, debido a la mayor cuenca hidrográfica que drena dicho estuario condicionando aportes voluminosos y fracciones groseras.

Por su parte, Fernández Iglesias *et al.* (2004) atribuyen al estuario de Tina Menor una morfología mixta (zona de cabecera con forma de valle y una zona intermedia o externa con morfología abierta), tratándose de un ambiente juvenil (grado de colmatación sedimentaria importante) y de tamaño mediano (entre 60 y 200 ha).

Las primeras investigaciones sistemáticas sobre este estuario de Tina Menor (Flor Blanco, 2001) se continuaron en los de Tina Mayor y San Vicente de la Barquera con motivo de la elaboración de la memoria de Tesis Doctoral (Flor Blanco, 2007).

En este trabajo se aporta una información detallada sobre su funcionamiento dinámico y la correspondiente distribución de las diferentes unidades morfosedimentarias y dinámicas en el momento actual dentro del contexto de la zonación geomorfológica longitudinal y la caracterización sedimentológica y composicional, como paso previo a la modelización morfosedimentaria del conjunto estuarino.

Área de estudio

El estuario de Tina Menor está situado en el extremo occidental de Cantabria (Fig. 1), representando el tramo inferior del río Nansa. Atraviesa materiales y estructuras mesozoicas de dirección dominante E-O en la mayor parte de su recorrido y, justo en la desembocadura, afloran también materiales terciarios y el conjunto paleozoico. Constituye la franja de interferencia entre la Cuenca Vasco-Cantábrica al E, y la Zona Cantábrica (límite oriental del Macizo Asturiano) al O (Tosal, 1968). Los materiales predominantes son siliciclásticos de tipo arena, limo y margas en su mayoría, junto con calizas y dolomías cuyas edades varían desde el Cretácico, pasando por el Terciario e incluso el Pleistoceno. La porción más amplia del estuario (externa), se ubica sobre los materiales más antiguos (Paleozoico) que corresponden a las cuarcitas ordovícicas (Formación de Barrios) y, en la misma desembocadura, se sitúan concordantemente las calizas carboníferas de las Formaciones Alba (griotte), Barcaliente y Valdeteja (Portero *et al.*, 1976).

La costa estudiada es del tipo rocoso abrupto o acantilada. Se alinea en una dirección general E-O por adaptación a las estructuras paleozoicas, concretamente a las calizas carboníferas, que determinan un perfil algo recortado sobre el que se emplazan playas entre promontorios de dimensiones hectométricas rellenas con materiales de cantos, gravas, gravillas y arenas, éstas con una composición principal siliciclástica.



Figura 1. Situación del estuario de Tina Menor en el occidente de Cantabria, incluyéndose el conjunto de los estuarios existentes en esta comunidad autónoma del NO de España.

El relieve litoral está presidido por sierras planas cuarcíticas de dirección OSO-ENE (sierras de Pechón al O y de Prellezo al E), de las cuales la más elevada culmina a algo más de 220 m de altura, representadas por distintos niveles planos escalonados (rasas costeras) que se distribuyen de una manera irregular; su origen ha sido claramente erosivo, habiéndose vertido diferentes hipótesis en cuanto a su labrado continental, marino o mixto (Mary, 1979 y 1983; Flor, 1983). Para la asignación de los distintos niveles de rasa se ha seguido la nomenclatura propuesta por Flor (2000).

Las de más altura, con una pendiente del 2,5% hacia el N (Mary, 1979; Moñino, 1980), culminan las sierras de Pechón y de Prellezo en las márgenes occidental y oriental del estuario de Tina Menor, respectivamente, ambas sobre las cuarcitas ordovícicas, donde se conservan los niveles pertenecientes a las rasa II (230 m de costa antigua) y III, ésta con una altura de 185 m; ambas están separadas, tanto en este entorno como en Pimiango (extremo oriental de Asturias), por un escalón casi imperceptible cuyo desnivel es métrico.

En la franja litoral de Pechón (entre Tina Mayor y Tina Menor), sobre las calizas carboníferas, se distinguen al menos cuatro niveles de rasa, el de 65 m (rasa VI) muy extendido en este segmento, el de 20 m (rasa VIII), sobre la parte occidental, y una serie de signos erosivos (viseras de abrasión y bermas rocosas) y depósitos, que corresponden a una línea de costa antigua de 7 m (rasa IX), evidenciables en la margen oriental de Tina Mayor y en la playa de Las Arenas. También se conserva perfectamente en la playa de Amió, concretamente en el islote rocoso que forma el hemitómbolo arenoso.

En la margen izquierda de la desembocadura en Tina Menor (Mary, 1979) y en el costado oriental del canal principal sobre las llanuras arenosas, se conservan también viseras y bermas de erosión, con lechos de depósitos fluviales de cantos imbricados, que se corresponden con el nivel de rasa IX. Se correlaciona también con el nivel de cantos playeros perteneciente a la rasa IX ya mencionado de Las Arenas y Oyambre (Flor, 1986; Moñino, 1986; Flor y Martínez Cedrún, 2004), así como con la ensenada de Mendía (La Franca) en la esquina oriental de Asturias (Mary, 1979 y 1983).

Finalmente, una superficie de erosión más moderna, la rasa X (4 m de altura respecto a la bajamar viva) ha sido definida por primera vez en la costa astur-cántabra (Flor Blanco, 2007), en la zona intermareal de la playa de Las Arenas justo al E de la desembocadura de Tina Mayor (Fig. 2).

Todas estas superficies se han formado a causa del proceso isostático de elevación en relación con la orogenia alpina en sus fases últimas, suponiendo para cada rasa un estacionamiento prolongado del nivel del mar y una elevación posterior.

Por lo que respecta a este estuario de Tina Menor, se engloba dentro del tipo de valle sumergido cuya desembocadura tiene un confinamiento rocoso muy acusado, como se reproduce en algunos estuarios cántabros: Tina Mayor, Eo, Niembro, Ajo y Pasajes de San Juan; se construye también una barrera arenosa incipiente en el costado oriental, propia de estuarios barrera de Fairbridge (1980). Esta bocana está sometida a la doble influencia del oleaje incidente con refracción de los componentes dominantes del NO y la extrusión fluvial y mareal durante las vaciantes y la llenante mareal, desarrollándose barras arenosas de geometría horquillada ("spillover lobes") de tamaños y continuidad temporal muy variables, tanto de flujo, que son las más importantes, como de reflujo.



Figura 2. Niveles de rasa IX, elevada a media ladera con su visera de abrasión, y X en la porción intermareal con el conjunto de oquedades formando una visera parcialmente desarrollada en la playa de Las Arenas (borde occidental de Cantabria).

Su trazado es sinuoso como resultado de la adaptación al tramo inferior de un valle fluvial del tipo de meandros encajados, excavado definitivamente durante la última glaciación y, posteriormente, rellenado por sedimentos hasta la transgresión Flandriense y posterior progradación hasta el momento actual.

Las mareas de esta costa cántabra son mesomareales, con fuertes oscilaciones desde mareas muertas (rangos de 1,0 m) a vivas (4,5 m) y con periodos semidiurnos. Es por ello que, aplicando el criterio de Hayes (1975), puede considerarse como un estuario mesomareal.

Material y métodos

Se han tomado 73 muestras superficiales, fundamentalmente de arenas, así como de cantos, gravas y fangos y se ha llevado a cabo una descripción de campo sobre los aspectos morfológicos y las estructuras sedimentarias, tanto físicas como orgánicas con el

apoyo de las muestras recogidas para la caracterización sedimentológica (Fig. 3). En áreas permanentemente sumergidas, fundamentalmente en el canal principal, se han dragado los fondos desde una embarcación neumática a motor con una draga tipo Petersen. Para el registro de la onda mareal se fijaron tres estaciones a lo largo del eje estuarino que representaran el conjunto estuarino: bocana, porción intermedia y cola estuarina. Se buscaron condiciones de mareas vivas y caudales fluviales de estiaje, por cuanto representan las medias más frecuentes. En todos ellos, los registros se extendieron durante un ciclo mareal completo con la toma del dato de la altura de la marea a intervalos de 10 minutos.

Las mezclas de aguas, las velocidades y los sentidos de corriente se tomaron desde una embarcación a motor, utilizándose de forma puntual un salinómetro portátil Ysi Model 33S-C-T Meter y un corrientómetro General Oceanic, Inc. Model 2035-MK III y otro Global Water 800-876-1172 Model FP101. Para este

cometido se fijaron una serie de perfiles transversales al eje estuarino desde la desembocadura a las proximidades de la cola estuarina, sobre los que se establecieron estaciones (mínimo de tres, en todos los casos, y máximo de 5 en la pleamar) de medición de salinidades y velocidades y sentidos de corriente desde la superficie hacia el fondo a intervalos de 0,50 m. Los registros se concentraron en cada uno de los momentos representativos del ciclo mareal (pleamar, media marea descendente, bajamar y media marea ascendente). Las muestras arenosas se lavaron cuidadosa y

repetidamente y después se procedió a un secado en una plancha calefactora y su posterior archivo para los análisis a realizar. En cuanto a los análisis granulométricos, se pesaron 100 gramos y se introdujeron en una tamizadora estándar de vibración con tamices de distinta malla a intervalos de $0,5 \phi$ ($0,0 \phi$ a $4,0 \phi$), durante un tiempo aproximado de 15 minutos. A su término, la muestra de cada tamiz se retiró y pesó para cada intervalo. Ocasionalmente, la presencia de tamaños superiores ha necesitado la utilización de tamices de mayor malla, que cubrieran dicha eventua-

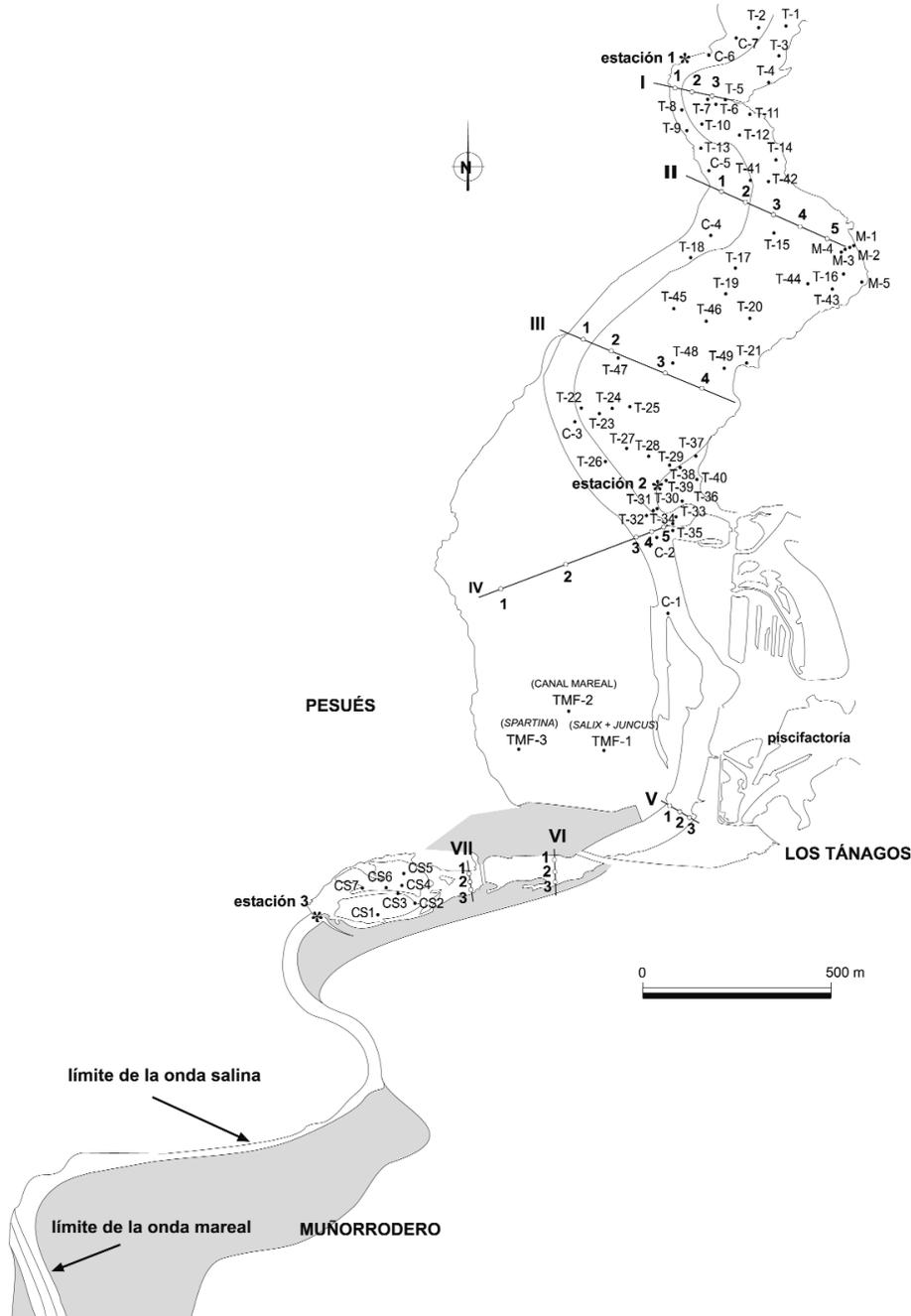


Figura 3. Estaciones fijas para el control de la onda mareal (asterisco) y perfiles con los puntos correspondientes de registro de la salinidad y velocidades y sentidos de corriente en la vertical. Se incluyen los alcances de las ondas mareal y salina.

lidad, y en aquellas partículas de tamaño mayor al tamiz superior existente en el mercado se han medido individualmente sus ejes medios (criterio en el que se basa la malla de tamizado) y su peso. También, en el caso de fracciones algo más finas, han requerido la inclusión del tamiz de 4,5 ϕ . Para los cálculos de los parámetros de relación se ha seguido el criterio de Folk y Ward (1957).

Además, se ha procedido al análisis del contenido de carbonatos (%), que tienen en esta costa cantábrica, en general, un origen biogénico del ámbito rocoso, mediante la diferencia de pesada, partiendo de 10 gramos de muestra problema y ataque con clorhídrico diluido al 35%.

Para una mejor comprensión de la distribución superficial de las fracciones granulométricas, se construyeron sendos mapas de tendencias incluyendo las isóneas del parámetro de relación del centil, de la totalidad de los de relación y del contenido carbonatado (solamente para las fracciones arenosas y fangosas). Finalmente, se ha elaborado una síntesis de los mismos para cada una de las unidades morfosedimentarias y dinámicas más importantes con el objeto de caracterizarlas texturalmente.

La cartografía de las zonas y unidades morfosedimentarias ha necesitado numerosas campañas de observación, acompañadas de sondeos superficiales hasta los 40 cm de profundidad, aprovechando las bajamares vivas.

Dinámica estuarina

Aunque el papel del viento sea muy circunstancial en estuarios, constituye el agente fundamental en la generación del oleaje en mar abierta con una participación directa para el que se forma en el interior del estuario, en este caso durante las pleamares. En relación con los procesos sedimentarios, los vientos de componente NO ejercieron una función principal en la construcción de las dunas estuarinas de la barra de El Sable. En la actualidad, solamente participan en la construcción de dunas embrionarias en el ápice distal de esta barra por componentes del SO. No obstante, se detectan alineaciones de crestas (NO-SE) pertenecientes a antiguos cordones dunares, debidos a vientos del NE, que se formarían por un proceso progredante en la construcción de la barra.

Los oleajes en el estuario tienen su mayor importancia en la ubicación y desarrollo de la barrera arenosa confinante, junto con las corrientes de deriva durante

las llenantes. Son dominantes los del NO, seguidos por los del NE los que al refractarse sobre los fondos sumergidos provocan una corriente de deriva playera que adquiere una componente hacia el O, obligando a que el sedimento arenoso se ancle en el costado oriental y se mueva hacia el paso de desembocadura, adosado a la margen occidental. Los oleajes internos se activan fundamentalmente durante las pleamares, mejor en las vivas, en que se producen procesos de vaivén sobre una franja de una docena de metros en el conjunto de las playas estuarinas. Los vientos del N y NO son los inductores principales que actúan sobre la capa superficial de agua, combinándose con los flujos derivados de la activación de la barra horquillada interna y las ondas vagas que penetran en el estuario al ampliarse la anchura de la bocana, una vez inundada la barrera confinante, motivo por el cual su repercusión es mayor en toda la margen derecha de la zona arenosa. Es en esta franja donde las playas estuarinas de arenas y cantos son más numerosas y los oleajes incidentes las afectan frontalmente. Sin embargo, sobre la playa estuarina de la barrera de El Sable, las corrientes inducidas por estos oleajes y flujos en la llenante provocan un transporte hacia el SO (la punta de dicha barra).

De los agentes dinámicos principales, las descargas de aguas fluviales en el estuario promueven, junto con la dinámica mareal (onda mareal) con ocasión de las llenantes de agua marina, el movimiento y la mezcla de aguas salinas y dulces. Ello induce la formación de toda una compleja distribución de corrientes a lo largo de cada ciclo mareal y la consecuente sedimentación con sus morfologías particulares, que se generan dentro del estuario.

Descargas fluviales

El río que drena al estuario se corresponde con el Nansa cuya clasificación se encuadra en los de tipo cordillerano. Tiene una longitud de 50 km y su cuenca hidrográfica alcanza un área de 418,31 km². Recibe 605 Hm³ de precipitación media anual y su aportación media es de 405,4 Hm³, lo cual representa un caudal de 12,85 m³/s, cálculo efectuado por Liaño Herrera (1981), independientemente de la existencia de embalses en su curso.

A partir de los datos publicados por la Confederación Hidrográfica del Norte (MOP, 1985) y los suministrados por la Empresa Saltos del Nansa, S.A. del Grupo Endesa, se ha realizado un estudio de las aportaciones de esta cuenca entre los años 1970 y 2001, así como del período comprendido entre 1999 y 2001, siendo

estos últimos los únicos datos fiables pertenecientes a los caudales que salen del embalse de Herrería o Palombera y son los que llegan regulados a la cola estuarina de Tina Menor.

Tabla I. Registros de caudales de salida del embalse inferior de Herrería o Palombera, correspondientes a los años 1998-2001 (Saltos del Nansa, S.A. del Grupo Endesa).

AÑOS		
Aforos (l/s)	Aforos (m^3/s)	
1998	8.983,75	8,98
1999	10.165,18	10,16
2000	5.890,00	5,89
2001	8.875,16	8,87
media	8.478,52	8,47
más seco (2000)		
más lluvioso (1999)		
máximo mensual		
agosto de 2000	827,00	
mínimo mensual		
noviembre de 1999	23.679,00	

Los cálculos realizados se han extrapolado a partir de los datos del embalse de la Cohilla a toda la cuenca, puesto que su registro representa el intervalo de mayor duración: 29 años (1970-1998). Durante este tiempo, el mes con el aporte máximo correspondió a febrero de 1978 ($37,31 m^3/s$), mientras que el mínimo se situó en agosto de 1998 ($0 m^3/s$), siendo los años de mayores y menores aportes medios, los de 1971 ($5,41 m^3/s$) y 1998 ($80 m^3/s$) respectivamente. En cuanto a los cálculos del caudal en el último embalse, es decir, el de Herrería o Palombera, representativo del volumen de agua que llega al estuario de Tina Menor, tan sólo comprende un periodo de 4 años que prolonga desde 1998 hasta el año 2001. Este registro permite asignar el mínimo aporte durante el año 2000, aunque sea agosto del 2001 el mes con mayor estiaje ($827 l/s$). El año 1999 fue el de mayor aporte y corresponde a noviembre del mismo año el máximo mensual ($23.679 l/s$). La media en estos cuatro años queda establecida en $8.475 m^3/s$ (Tabla I).

Onda mareal

El proceso mareal se constituye en uno de los más importantes, en cuanto a la dinámica estuarina se refiere, junto con las descargas fluviales. La longitud del estuario, hasta donde alcanza la onda mareal o mecánica durante pleamares vivas y estiajes (máxima extensión posible), es de unos 4,04 km, mientras que la influencia salina se deja notar unas

centenas de metros aguas abajo (Fig. 3). Únicamente han sido desnaturalizadas unas porciones reseñables de las marismas orientales, la mayor parte ocupada por una piscifactoría, y otras menores transformadas en praderías.

En la Fig. 4 se reproducen los registros de la onda mareal en las tres estaciones del estuario, representativa de una marea viva y caudal fluvial cercano a avenida (29 de abril de 2002), junto con la onda mareal teórica que ha de servir de referencia. El rango real para ese día de muestreo fue de 3,29 m, algo inferior al teórico ($3,48 m$), y las geometrías de las curvas son muy similares, aunque la forma registrada en la bocana, con numerosas irregularidades, manifiesta la interferencia del oleaje incidente. El hecho más significativo se produce en relación con la deformación general de la curva (asimetría), aunque con un desfase horario muy escaso. El rango disminuye aguas arriba, por amortiguación debido al confinamiento desde la bocana, al estrechamiento del recinto estuarino, a la fricción sobre el fondo y a la acción de la descarga fluvial con una geometría cada vez más irregular y asimétrica, aguas arriba. La tasa de pérdida de altura mareal es de $2,616 cm/1,0 km$, permitiendo encuadrarla, según Le Floch (1961) como representativa de un estuario *hiposincrónico*.

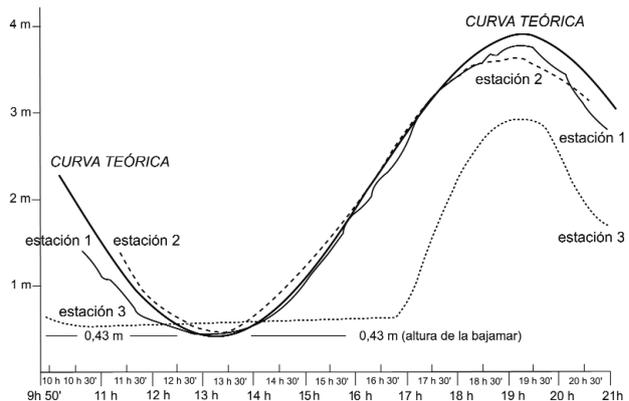


Figura 4. Onda mareal teórica y registros de la evolución dentro de Tina Menor en tres estaciones representativas ubicadas a lo largo del eje estuarino.

Mezclas de agua

Las mezclas de agua permiten conocer las variaciones de la dilución del agua salina con las aguas continentales (Tablas II y III) en relación con la dinámica estuarina, información que servirá para precisar los movimientos principales de agua y, consecuentemente, de la carga sedimentaria de fondo.

Tabla II. Volúmenes de agua dulce (aportaciones de agua fluvial) y salada (prisma mareal) en diferentes condiciones de caudales fluviales de avenida y estiaje y mareas vivas y muertas, así como las condiciones teóricas de descarga fluvial y las promediadas. Cálculos efectuados para un ciclo mareal de 12 h 20'.

		<i>rango de marea</i>	<i>volumen de agua salada (m³)</i>
Prisma mareal	mareas muertas	mareas vivas	1.787.838,80
			796.394,57
		mareas medias	1.292.116,70
			<i>volumen de agua dulce (m³)</i>
Aportación fluvial		teórica (sin embalses)	570.540
		año más húmedo	451.104
		año más seco	261.516
		media	376.068

Los contrastes entre caudales fluviales entrantes en el estuario y los mareales (prisma mareal), que penetran desde mar abierta, permiten establecer en una primera evaluación el comportamiento de las mezclas. Se consideran los valores globales, contrastándose los máximos, mínimos y medios incluyendo los fluviales de estiaje y avenida y los relativos al prisma de marea (mareas vivas y muertas). Los resultados, recogidos en la Tabla III, aplicando los criterios de Simmons (1955) y Silvester (1974), revelan que se trata de un estuario en el que dominan los procesos de *mezcla parcial*; únicamente para mareas vivas y caudales de estiaje, antes de la construcción de los embalses, el estuario tendía a mezcla total o verticalmente homogéneo.

Los procesos de mezcla se abordan aplicando los criterios de Pritchard (1955, 1967), que facilitan la caracterización de los estuarios en relación con este mecanismo básico de dilución de las aguas dulces en el medio costero. Para conocer con un cierto detalle estas mezclas se realizaron medidas de las salinidades en la columna de agua, siguiendo perfiles transversales y las estaciones correspondientes, a lo largo de un ciclo mareal, consignando las *medias mareas ascendente y descendente* y la *pleamar*, se ha prescindido de la bajamar ya que los caudales se restringen al canal principal y los valores de salinidad reproducen cifras muy bajas y apenas contribuyen a la deducción de la dinámica (Figs. 5 y 6).

Durante la *media marea ascendente* en la desembocadura y el límite externo, la presencia de agua salina es casi completa y las curvas siguen líneas verticales o subverticales, propias de procesos de mezcla total (verticalmente homogéneo): perfi-

les I y II (Fig. 5). A medida que la masa de agua salina penetra en el estuario durante las llenantes, las aguas evolucionan a mezclas parciales (perfiles III y IV), pero tienden a una disposición en cuña salina, con mayor espesor de aguas fluviales hacia la cola estuarina (perfiles V y VI). Se confirma que la salinidad es más baja y se produce una tendencia a formar cuñas salinas en la margen derecha del canal principal y aguas más saladas y mezclas parciales en el opuesto, como cabe esperar por el efecto de Coriolis en el hemisferio N.

Con ocasión de la *pleamar*, con una mayor columna de agua, las distribuciones son muy similares al momento anterior, pero las aguas se ponen en contacto de acuerdo con disposiciones de estratificación total o cuñas salinas, desde la mitad interna del estuario aproximadamente (aguas arriba del perfil III) y se incrementa el espesor de agua dulce hacia la cola. La mezcla total es más neta, excepto en el perfil III, debido a un proceso de meandricación del agua con motivo de la extrusión, donde el canal principal sigue transportando el mayor volumen de agua dulce, mientras que en la margen derecha las mezclas de agua se producen eficientemente.

Durante la *media marea descendente*, las salinidades suponen procesos de mezclas bien evolucionados, con una mayor cantidad de agua fluvial, muy superior al caso de la media marea ascendente, ya que debe desaguar todo el volumen retenido por la llenante. Solamente en la misma desembocadura las mezclas son totales, mientras que en la cola se asiste a estratificaciones importantes en el dominio del lecho de canal principal, habiéndose evacuado ya el agua de las márgenes.

QF/QM	TEÓRICA	CON EMBALSES		
	<i>Fluvial medio</i> <i>Fluvial medio</i>	<i>Fluvial máximo</i>	<i>Fluvial</i>	<i>mínimo</i>
<i>Mareas vivas</i>	0,31	0,25	0,14	0,21
<i>Mareas muertas</i>	0,71	0,56	0,32	0,47
<i>Mareas medias</i>	0,44	0,34	0,20	0,29

Tabla III. Contrastes globales entre los caudales fluviales y mareales, que permiten deducir, para este estuario de Tina Menor, la predominancia de los procesos de mezcla parcial.

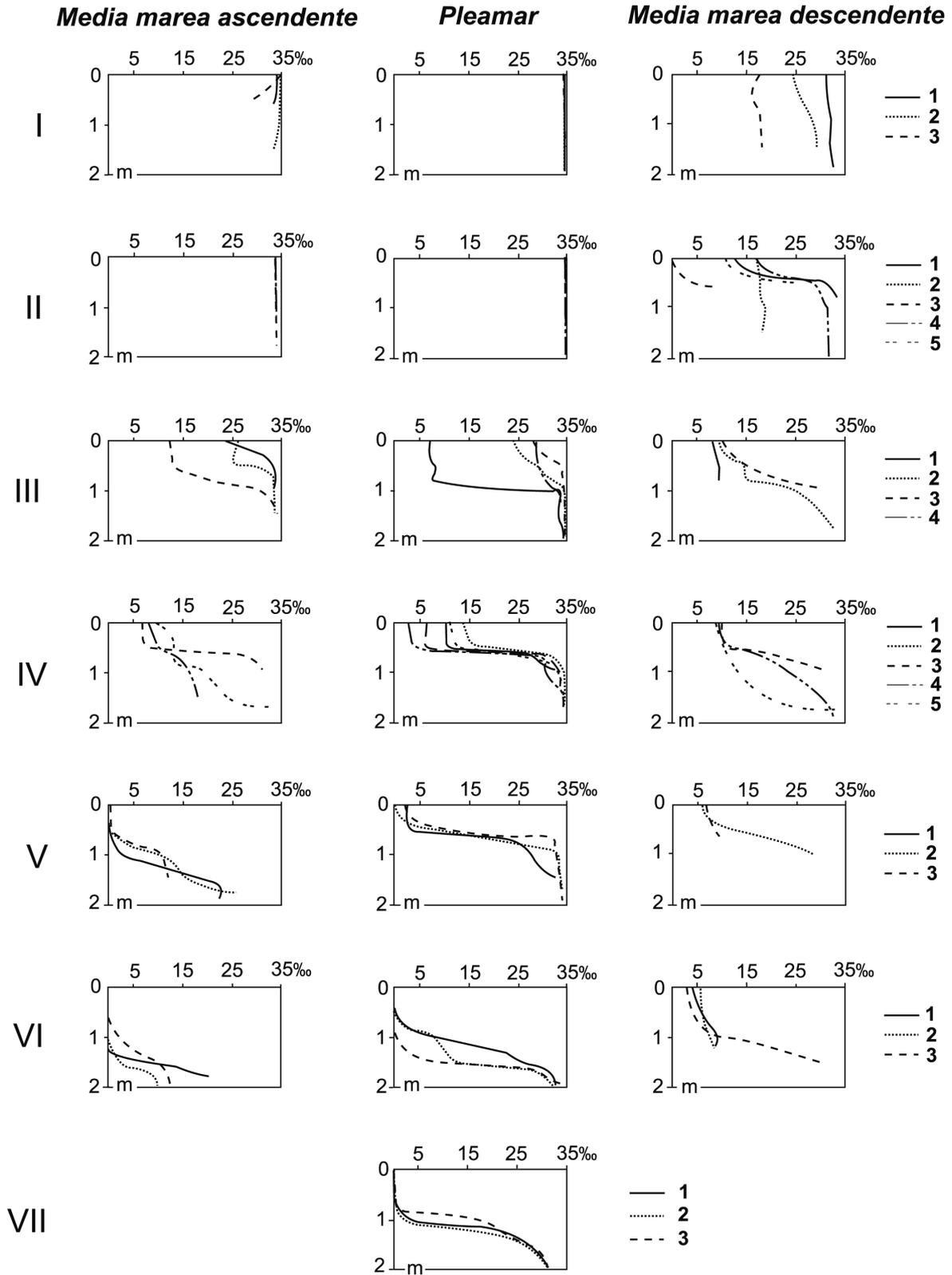


Figura 5. Registros de salinidad (‰) en profundidad (m), efectuados a lo largo de un ciclo mareal completo en los siete perfiles transversales tomados a lo largo del eje estuarino de Tina Menor (ver Fig. 3), excepto los correspondientes a la bajamar, más probablemente representados por mezclas de aguas escasamente saladas.

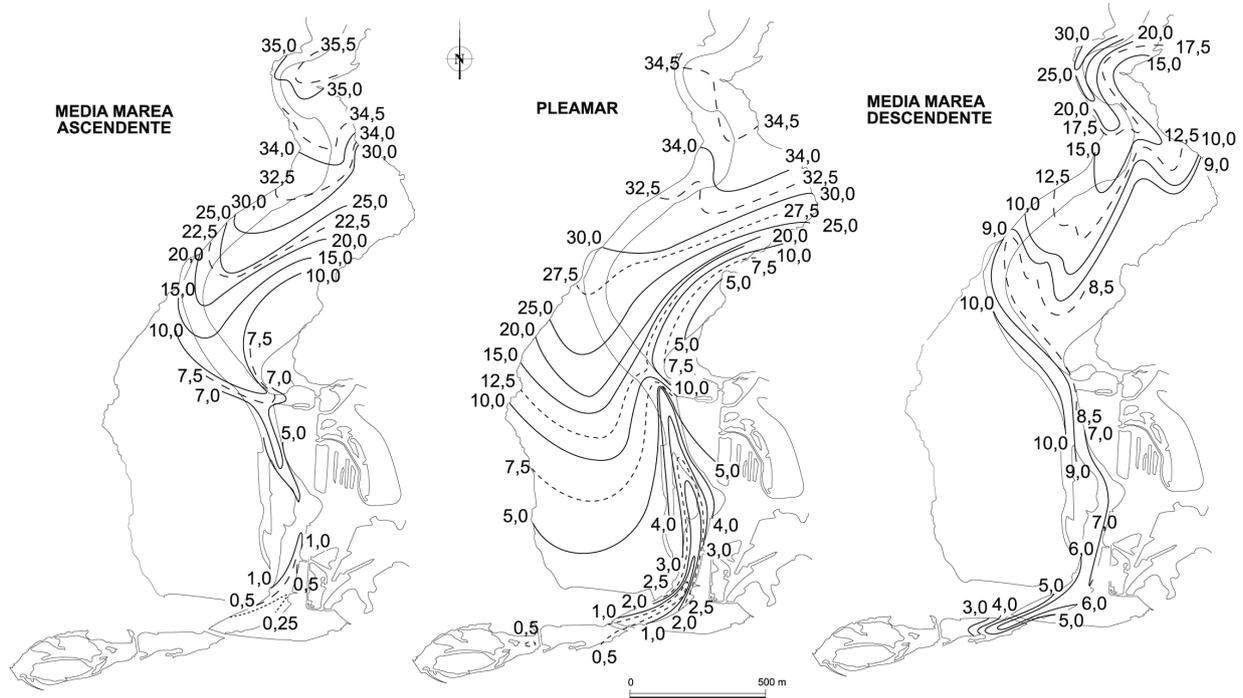


Figura 6. Distribución de las salinidades superficiales (‰) para los intervalos de un ciclo mareal exceptuando la bajamar en que las aguas se mueven concentradamente por los diferentes canales.

En la fase de llenante, las aguas salinas penetran en el estuario por el borde occidental, adaptándose mejor al trazado de canal principal. La mayor parte del recinto estuarino está bajo condiciones de aguas salobres. Durante la pleamar, la lengua salina, de gran anchura, sigue penetrando por el costado occidental, mientras que la vaciante de aguas dulces se articula estrechamente al canal principal, dibujando una banda sumamente estrecha. En la media marea descendente, las aguas son algo más salobres que en la llenante.

Los datos de las salinidades superficiales ayudan inestimablemente a comprender los procesos de las intrusiones y extrusiones durante la llenante y vaciante mareales, motivo por el cual se incluyen los mapas de tendencias durante un ciclo mareal (Fig. 6). Debe tenerse en cuenta que el estuario queda prácticamente emergido durante las bajamares con la única excepción del canal principal, cuyo calado, por término medio en condiciones de estiaje, no supera los 2 m.

De acuerdo con las mezclas de aguas, es posible encuadrar toda la gama de variaciones en este estuario, según se detalla en la Fig. 7, mostrando unas condiciones promedio de mareas medias y vivas, indistintamente de los caudales fluviales, de mezcla parcial y, para mareas muertas, totalmente estratificado.

Esquema dinámico

Aunque las pautas de circulación muestran una distribución de acuerdo con un modelo sencillo (Fig. 8) con la dominancia de corrientes persistentes de llenante y vaciante según el estuario esté en fase de entrada de agua salina o de extrusión de las mezclas, los registros efectuados permiten conocer mejor ciertos detalles, alguno de ellos clave para comprender la existencia de la barrera de El Sable.

Simplificadamente, se han tenido en cuenta velocidades de flujo repartidas en tres categorías: intensas ($>1,0$ m/s), moderadas (1,0-0,5 m/s) y reducidas o débiles ($<0,5$ m/s). Por su parte, las corrientes de fondo solamente se han considerado, dados los escasos contrastes obtenidos, en las categorías de intensas y moderadas.

Durante las bajamares, los flujos de agua se articulan de acuerdo con un modelo fluvial, activándose el canal principal en función de la geometría de la sinuosidad, aunque no se generen formas de lecho atribuibles a barras de meandro en sentido estricto.

A lo largo de la media marea ascendente, el mayor interés se centra en la extrusión de agua de mezcla

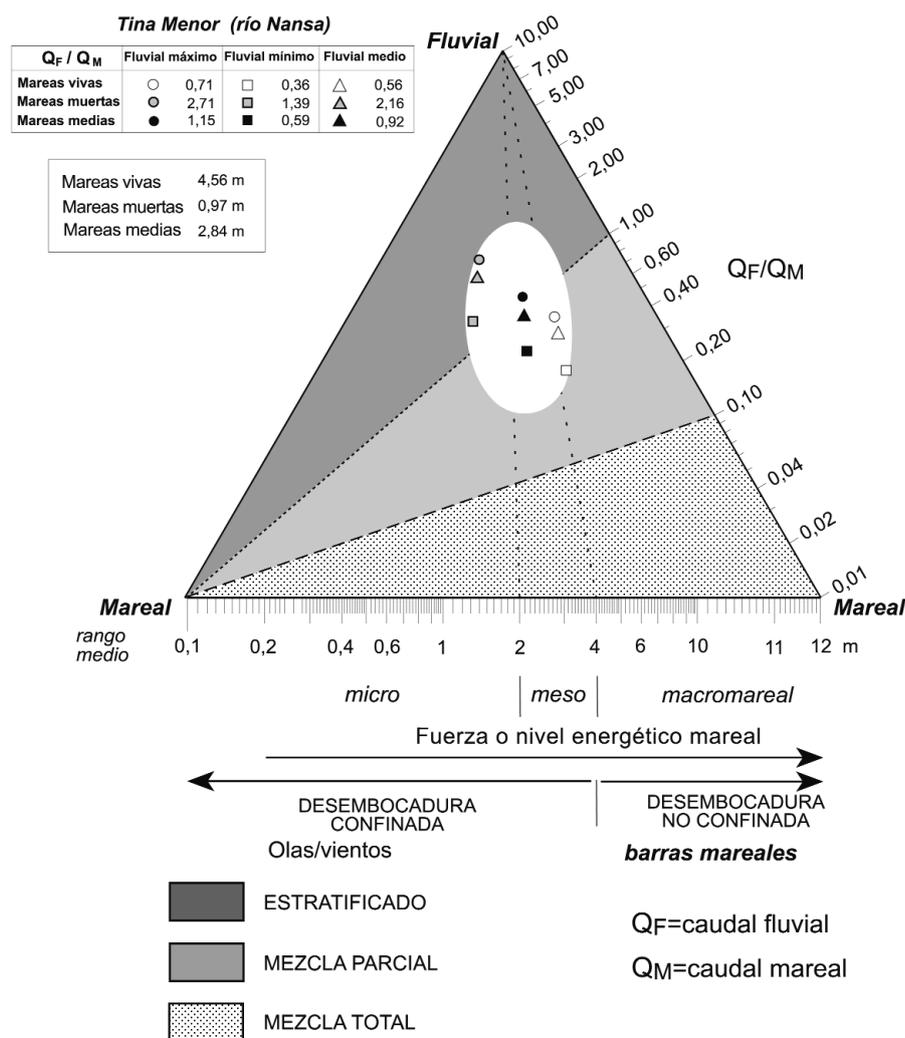


Figura 7. Mezclas de aguas en el estuario de Tina Menor para cualquier tipo de condiciones de rango mareal y caudales fluviales.

con velocidades moderadas por la margen oriental y entrada de agua salada por la occidental, como corresponde al efecto de Coriolis. Es importante en este momento la activación de la barra horquillada interna que genera flujos constantes e intensos hacia la esquina suroriental de los bancales arenosos, dinámica que puede potenciarse ante la formación de oleajes internos por vientos del NO, y se continúa hasta la culminación de las pleamares.

Durante las pleamares, el estuario se rellena de agua en su totalidad, estableciéndose una segmentación lateral por el efecto de Coriolis desde aproximadamente el canal principal, por la cual las márgenes occidentales tienden a quedar bajo la influencia del flujo de la llenante (sobre las llanuras fangosas y marismas), mientras que las orientales experimentan reflujos netos (sobre las llanuras arenosas). Las áreas de la bocana se dividen también de acuerdo con esta

misma sectorización, pero allí las velocidades son moderadas como corresponde a la culminación de la marea.

En el intervalo de la media marea descendente, la mitad interna del estuario se ha vaciado prácticamente por lo que las aguas tienen una componente principal de extrusión. Solamente las áreas de desembocadura conservan simultáneamente los dobles flujos y reflujos, siendo más importantes estos últimos.

Zonación geomorfológica y unidades morfosedimentarias y dinámicas

Longitudinalmente, existe un cierto consenso para separar cualquier estuario en tres zonas geomorfológicas y energéticas con sus diversas unidades sedimentarias. No obstante, existe disparidad en cuanto a considerar los mismos segmentos. El hecho de que

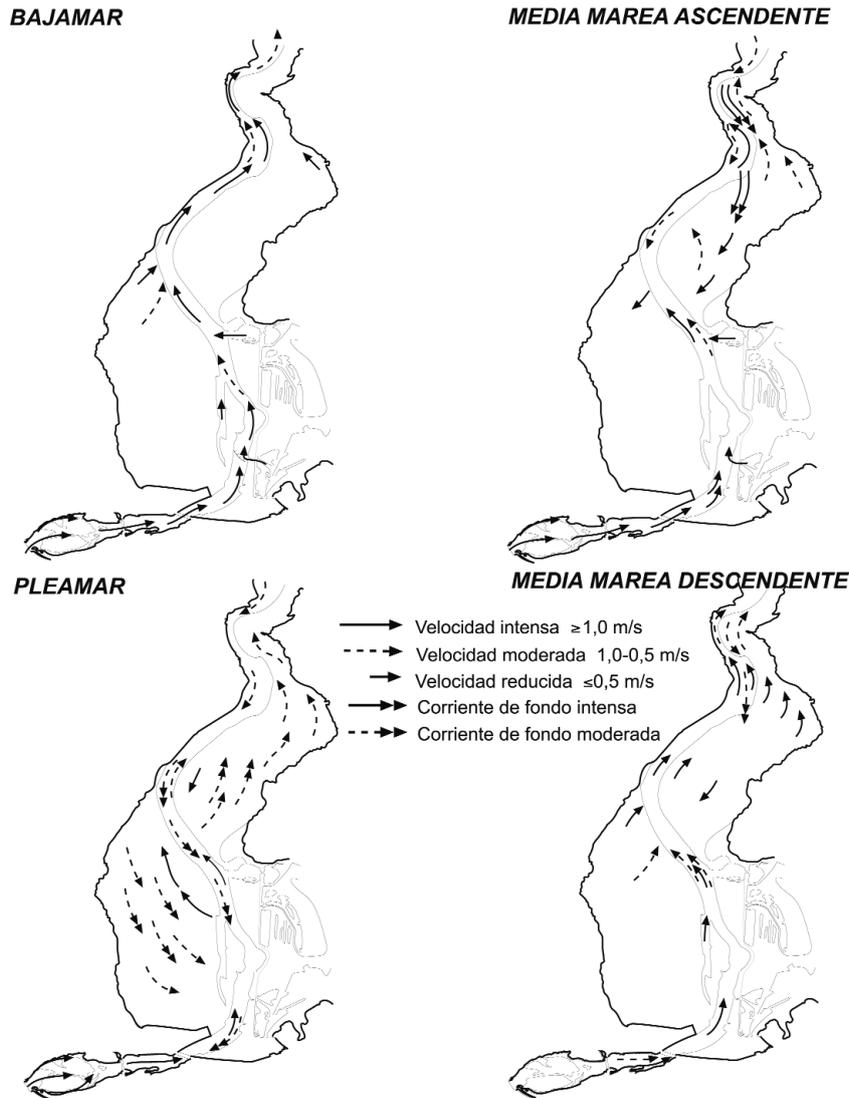


Figura 8. Esquemas dinámicos basados en los registros puntuales de la velocidad y sentido de las corrientes a lo largo de un ciclo mareal en el estuario de Tina Menor.

estos ambientes costeros sean perfectamente visualizables, facilita su definición morfológica, de modo que la terminología utilizada por determinados autores de estuario externo, intermedio e interno, deba aplicarse exclusivamente a series fósiles, donde la interpretación de las facies y secuencias implique una aproximación a lo que puede asignarse como una zonación tripartita.

Para los estuarios cantábricos (Flor, 1995) y el de Tina Menor en particular (Flor Blanco, 2007), resulta mucho más adecuado, atendiendo a la disposición longitudinal a gran escala desde la desembocadura hasta la cola estuarina, la diferenciación en cuatro zonas geomorfológicas características: *Complejo de desembocadura*, *Bahía arenosa*, *Llanura fangosa* y *Canal superior*. A su vez, cada una de estas zonas posee una serie

de unidades morfosedimentarias y dinámicas características (Fig. 9), que pueden ser puestas en relación con facies sedimentarias.

Complejo de desembocadura

Anclado en su costado oriental, un promontorio cuarcítico que se extiende desde el borde oriental hacia la margen contraria hace las veces de una barrera *confinante*, lo cual no es óbice para que se genere y complete el semiconfinamiento estuarino mediante una barrera de naturaleza arenosa. Está representada por una playa expuesta incompletamente desarrollada, que se inunda totalmente durante las pleamares (Fig. 10). *La barrera confinante arenosa* desarrolla en su frente externo una playa disipativa, que tiene la peculiaridad de estar subdividida o zonada en un talud



Figura 9. Zonación geomorfológica y principales unidades morfosedimentarias y dinámicas de cada una de ellas en el estuario de Tina Menor (Flor Blanco, 2002).



Figura 10. Barrera arenosa confinante, anclada en el promontorio rocoso cuarcítico de la margen derecha (al fondo), encima de la cual se desarrolla el canal o rampa de una barra horquillada de flujo de dimensiones mayores que la de reflujo (al fondo). En primer término, el paso de desembocadura meandrifica para resolverse hacia el exterior en una amplia depresión con planta subelíptica sobre la playa intermareal expuesta.

intermareal incompleto, ya que no se genera la porción más superior, y una terraza de bajamar. El hecho de que esta estructura no esté completamente desarrollada se debe al déficit sedimentario relativo de este estuario. En el área de confinamiento tiene forma triangular en planta, con una longitud de 120 m, transversal al canal estuarino, apuntando su extremo distal hacia el paso de desembocadura por las corrientes de deriva de playa (hacia el O) que genera la refracción de los oleajes incidentes sobre el fondo sumergido. *El paso de desembocadura* se subdivide en tres segmentos: 1) externo, muy laxo extendiéndose unos 175 m de longitud y anchuras mal definidas, unos 30-45 m sobre la terraza de bajamar, a la que excava, con desarrollo de megaripples y ripples de corriente, sin que se genere la típica barra de desembocadura hacia mar abierta. Su posición migra desde la zona central de la playa hasta ponerse en contacto con el borde rocoso occidental. Es muy habitual la presencia de una profunda depresión (“scour”), hasta 7 m de fondo, en el lugar que le correspondería a la franja interna de la barra de desembocadura potencial. Se trata de una morfología que desaparece en estiaje, situándose entonces el paso adosado a la margen occidental; 2) intermedio, sobre la porción lateral del talud intermareal, de contorno ovoide, una longitud de 120 m y 30 m de anchura; 3) e interno, de forma arqueada con la convexidad hacia la margen izquierda, adaptándose a la forma que impone la curvatura de la barrera confinante. Su longitud de 175 m se extiende algo más de lo habitual al desarrollarse la gran barra horquillada de flujo. Es muy estrecho (15-20 m) y asimétrico, con la mayor profundidad hacia el O, pasando transicionalmente hacia la barra horquillada mencionada.

Babía arenosa

Las unidades morfosedimentarias y dinámicas son aquí mucho más variadas y, generalmente, de mayor magnitud (Fig. 11). El *canal principal* se adosa a la margen occidental, adoptando un trazado sinuoso con dos arqueamientos, el externo apuntando su convexidad hacia el E (radio calculado de 225 m) y el interno al O (radio de unos 350 m). Transversalmente es asimétrico si bien no desarrolla típicas barras de meandro, con anchuras variables desde 35 m a 75 m, pero próximas en general a esta última cifra. La margen occidental baña el sustrato rocoso de las cuarcitas, en su parte septentrional, y más extensamente sobre depósitos de ladera de este relieve, con una colonización densa de tipo algal. Los bordes arenosos del canal llegan a desarrollar marcas de arroyada (“rill marks”) e incluso pequeños colapsos de arena por pérdida de agua intersticial, durante las bajamareas. Durante las avenidas del Nansa, el canal principal suele desplazarse a la margen oriental hasta que las condiciones de calma lo reubiquen en su costado más habitual.

Sobre el costado occidental de la barrera arenosa confinante se ancla el canal o rampa de una *barra horquillada* de flujo (externa), cuya geometría se construye hacia el interior del estuario, algo arqueada longitudinalmente y paralela al canal principal. Su contraste altimétrico es decimétrico, mientras que en planta tiene una representación mucho más extensa. Se alarga unos 225 m con una forma acozonada (75 m de anchura) algo asimétrica, más ancha en el costado izquierdo u oriental. En el cos-

tado occidental, y afectando también a la margen derecha del canal principal, se forman ondas de arena sobrepuestas que se disipan sobre el lecho plano de alto flujo de aquél. El canal o rampa de la barra tiene una longitud de 150 m y una anchura de unos 30 m dentro del cual se activan megarripples y una gran profusión de ripples sobrepuestos de corriente de los tipos linguoide, lunado y rectilíneo. A ambos lados de su rampa o canal se elevan las alas, alargadas en la misma dirección, cerrándose a sotavento con una punta amplia y plana con forma de flecha en planta, suavizada en el extremo. Eventualmente, en el borde oriental a la misma altura se activa otra barra horquillada de reflujo que se apoya sobre la playa expuesta, de dimensiones menores; aún menos frecuente es la formación de otra barra horquillada de flujo, también de menor entidad, aprovechando el mismo canal de esta última. También, muy esporádicamente y presumiblemente durante episodios cortos, se activa otra barra horquillada de flujo (intermedia), de dimensiones relativamente similares a la externa pero con geometrías más tenues, que se solapa con ella hacia el interior del estuario. Durante las bajamares, se detectan formas de lecho de corriente de carácter bidireccional. Estas megaestructuras de lecho de alto flujo afectan indistintamente a las zonas del Complejo de desembocadura en su límite interno y al borde externo de la Bahía arenosa.

La unidad morfosedimentaria y dinámica más ampliamente representada en esta Bahía es la relativa a la *llanura arenosa*, por cuanto ocupa la mayor superficie. Debido a sus características morfológicas y sedimentológicas, se subdivide en dos bandas subparalelas en relación con el canal principal: proximal y distal. La primera, de hasta 150 m de anchura, es mucho más energética y alcanza una altura ligeramente superior, probablemente debido a la incidencia del canal con un funcionamiento en sentido centrífugo. Las estructuras sedimentarias mejor representadas corresponden a las de corriente de alto flujo (megarripples, ondas de arena y scours), consecuencia de la dinámica del canal. En la porción septentrional, se le superpone una barra horquillada de flujo (interna) que es, en cierto modo, la continuación de la efímera (intermedia) corriente abajo, pero de una gran importancia en su dinámica ya que genera sistemas de corrientes que apuntan aguas arriba hacia la barra arenosa más meridional de la Bahía. Tiene una rampa bien desarrollada, orientada al SSO, amplia (75-80 m) sobre la que se generan megarripples en su lecho que evolucionan hacia el exterior, y en la franja próxima al canal principal, a ondas de arena cuyas crestas se arquean concéntricamente. Su traza en planta no está bien definida ni tampoco el extremo distal, dado que se apoya de una manera transicional sobre la llanura arenosa.



Figura 11. Bahía arenosa que se continúa, aguas arriba, una vez rebasado el tramo confinado por un delta de flujo que se apoya sobre las amplias superficies de llanuras arenosas y la barrera interna en la margen oriental (derecha de la fotografía). En la margen izquierda y al S de la barrera, se extienden las llanuras fangosas y las superficies reclamadas de la piscifactoría.



Figura 12. Barrera arenosa interna con dunas eólicas culminantes, hoy día inactivas, en fase de recesión grave.

La franja distal, con anchuras de hasta 200 m, abarca una banda amplia ligeramente deprimida lo que favorece el desagüe durante las bajamareas, preferentemente por el borde oriental. Se forman ripples, la mayoría de corriente, de interferencia y de oleaje. Contiene restos vegetales (hojas, ramas y semillas de vegetación continental), cantos blandos y se coloniza muy densamente con crustáceos subterráneos (*Callinassa subterranea*), menos abundantes los anélidos tubícolas del tipo *Owenia fusiformis* y algunos *Lanice conchilega* y con parches irregulares de la gramínea *Zostera*. Estas praderas zosterales tienen una variabilidad temporal muy alta, pero ocupan superficies parcheadas en la llanura distal, con una persistencia mayor y concentraciones importantes en el costado septentrional, como se evidencian en el registro fotográfico de 1988 y en los dos últimos años de 2001 y 2002.

Dentro de la Bahía arenosa se instalan *canales mareas* muy mal desarrollados. Generalmente asociados a la banda distal, tienen trazados con tendencias meandriformes, alguno de los cuales se resuelven sobre el canal principal en sendos deltas arenosos de desagüe con ocasión de las bajamareas. Sobre sus lechos se forman pequeñas barras arenosas de carácter fluvial y ripples de corriente. Se pueden reproducir márgenes erosivos, donde se alojan carcinidos con sus moradas de sección lenticular, inclinadas hacia el interior y vertidos arenosos en el exterior practicados por el organismo con ocasión de la excavación.

También se construyen *playas estuarinas* de arena que se adosan a la margen oriental externa y, hacia el resto del mismo costado de la Bahía, se sustituyen por *playas estuarinas* de cantos, algunas a modo de *playas* entre promontorios. Los depósitos están poco maduros desde el punto de vista del desgaste. Su extensión transversalmente a la línea del agua varía entre 15 m y 20 m con extensiones laterales muy variables, desde 165 m a 35 m.

La porción más meridional de esta bahía está ocupada por una amplia barrera arenosa (El Sable), que se ancla en el costado oriental y apunta hacia el canal principal (Fig. 12). Tiene una anchura de 150 m y una longitud máxima de 230 m, culminada en su mayor parte por dunas vegetadas sin aportaciones activas. Dentro de esta barrera se desarrolla una *playa estuarina* y un campo dunar, en fase de recesión durante los últimos años. *Las dunas estuarinas* adoptan geometrías que responden mejor a una duna de tipo tabular con algún montículo irregular a modo de una estructura “hummocky”. En la mitad del costado NE, se detecta la presencia de elevaciones del tipo de cordón dunar con crestas laxas (NO-SE) en sentido oblicuo a la línea del agua, separadas entre 15 m y 20 m, lo que induce a pensar en un crecimiento dunar, motivado por una progradación en sentido aguas arriba o hacia el SO. En la franja SE más interna se conserva una acumulación dunar de mayor altura, probablemente algo anterior, que ha sido sometida a la saca incontrolada de arenas. Sólo una pequeña parte de ellas está

actualmente activa, formándose dunas embrionarias, concretamente en la punta de la barra en contacto con la playa estuarina por componentes de viento del S que barre las márgenes del canal principal. El borde limitante de la playa/duna restante presenta un claro perfil de erosión con recesión en los últimos años, concretamente desde 1990 (Iturbe Roiz, *com. personal*), probablemente como respuesta a los embalses, el último construido en 1950 (Flor Blanco, 2002).

Llanuras fangosas

Representan la parte más extensa del estuario y la que contiene las granulometrías más finas. Se extienden por la margen izquierda del canal principal, el cual sirve también de límite por la derecha de la porción meridional de la Bahía, y aguas arriba hasta, más o menos, el puente de la carretera N-634.

El *canal principal*, que drena esta zona, cambia a la margen derecha dejando la mayor parte de las unidades morfosedimentarias y dinámicas en el costado occidental; su trazado es escasamente sinuoso en el presente por la construcción del dique, hoy recinto de la piscifactoría de Pesués. Su presencia alteró el canal principal anterior que discurría según un meandro con la convexidad hacia el E (radio de 345 m). Dentro del recinto reclamado, se puede deducir que el canal principal ocupó en una etapa anterior, como propone Fernández Iglesias (1999), una posición situada más al E, formando un arco algo más agudo por su adaptación a las márgenes rocosas, y con el mismo arqueamiento hacia el E.

El canal principal actual se subdivide en tres segmentos. El externo, compartido con la Bahía en su margen derecha, ligeramente arqueado con la convexidad hacia el O, tiene una anchura de 65 m a 70 m y su fondo es un lecho plano arenoso. El intermedio, que afecta a la casi totalidad de la margen derecha donde se construyó el dique, con anchuras variables desde 40 m a 80 m, desarrolla en su margen izquierda barras longitudinales de arena fina, que se solapan longitudinalmente. Son fusiformes en planta (longitud de 330 m y anchura de 60 m) y cambian de una manera relativamente brusca. El lecho está constituido por cantos y gravas, generalmente colonizados por el alga *Enteromorpha*, que pasan muy netamente a fondos arenosos hacia el tramo externo. El tramo interno toma una curvatura con la convexidad hacia el E (radio de unos 210 m) y se hace algo más ancho (90-95 m) y somero, manteniéndose los fondos sedimentarios de cantos, litología que se continúa sin interrupción aguas arriba.

Las llanuras fangosas constituyen la unidad morfosedimentaria y dinámica de mayor extensión en esta zona. Se activan en la margen izquierda y un retazo menor se encuentra en el costado occidental del dique artificial. Esta superficie de llanuras fangosas fue mayor antes de esta construcción y probablemente constituirían una unidad continua hasta el canal principal meandriforme, en cuyo costado derecho se continuarían otras llanuras fangosas.

Si bien se diferencian llanuras fangosas desprovistas de vegetación en los costados de los canales mareales y, por tanto, dibujando bandas muy estrechas y discontinuas, la mayor parte está colonizada de forma diferencial por vegetación halofítica. Se han distinguido tres tipos de llanuras vegetadas, en relación con la especie dominante, a la espera de futuros estudios de detalle de carácter botánico. No obstante, deben mencionarse los trabajos de Loriente (1974 y 1987-88) en este sentido. En todos los casos están surcadas por una red densa de canales mareales y suponen una altimetría de menor a mayor en relación con la descripción que se sigue: llanuras con *Zostera*, más importantes en la porción septentrional, donde adoptan una forma casi rectangular en planta (longitud de 630 m con dirección N-S y anchura de 255 m); llanuras con *Spartina* y *Halimione*, restringidas al borde SO, con una planta rectangular cuya longitud de 240 m se alinea N-S y tienen una anchura de 170 m; llanuras con *Salix* y *Juncus*, según una banda E-O, que bordean la margen del canal principal y una geometría en planta casi triangular alargada apuntando hacia el N (longitud de 615 m y anchura de 220 m). Los canales mareales de la primera toman una disposición oblicua NE-SO y son relativamente sinuosos, predominando los de anchuras del orden de 5-7 m, mientras que los de la segunda y la banda de contacto entre la primera y la última son más rectilíneos y anchos (hasta cerca de 20 m), adoptando una dirección N-S en la cabecera para girar a NE-SO. En el costado oriental de las llanuras con *Salix* y *Juncus*, los canales mareales drenan directamente al canal principal, siendo más cortos, con anchuras de unos 8-10 m y perpendiculares al eje.

Toda la porción meridional de esta gran llanura marismeña ha sido desnaturalizada y actualmente es ocupada por una casería que la ha transformado en pastizal. La margen meridional pertenece a la zona estuarina más interna. La margen derecha está casi totalmente antropizada por el aislamiento de un dique, parece ser que construido como vial para conducir el mineral hasta la estación de ferrocarril de Pesués, dentro del cual se construyó la piscifactoría.

Canal superior

Se trata de un canal estuarino con sus llanuras fluvio-mareales, las cuales se instalan sobre el relleno sedimentario aprovechando el modelado de meandros encajados.

El canal principal es la unidad activa más ampliamente representada en esta zona interna del estuario de Tina Menor. El tramo inferior, que tiene una longitud de 400 m y 70 m de anchura, es subrectilíneo. Un tramo intermedio se caracteriza por un ensanchamiento notable (180 m) a lo largo de 400 m, entre los puentes de la carretera nacional CN-634 y del FEVE, donde se desarrollan canales menores subparalelos entre sí con lechos de cantos colonizados por *Enteromorpha* entre los que se elevan amplias barras longitudinales de geometría fusiforme en planta. Estas barras se han soldado lateralmente y recubierto de una sedimentación de fangos, tanto en la culminación como en los costados, lo que determina que su laminación fangosa se adapte a la geometría de la barra (Fig. 13). En superficie, se colonizan densamente por vegetación de matorral y arbórea de ribera, comportándose como *llanuras fluvio-mareales* que se activan preferentemente durante pleamares vivas y avenidas.

En el segmento superior, mucho más extenso (1.240 m), el canal principal cambia de margen, bien sea adosándose al sustrato rocoso o a sus propias llanuras fluvio-mareales, con tramos cortos en los que se producen sobreexcavaciones del lecho. El cauce tiene

anchuras medias de 60 m, mientras que las llanuras fluvio-mareales se asemejan mejor a las fluviales, con superficies subplanas relativamente amplias sin avenamientos; en algunas se detectan procesos de desbordamiento con la sedimentación de arenas lavadas. Están totalmente colonizadas por vegetación de sustitución, constituyéndose en pastizales y bosquetes.

Sedimentos

El estuario de Tina Menor contiene un relleno sedimentario que lo colmata ampliamente, salvo en la desembocadura donde no se llega a construir una barrera sedimentaria que culmine en el mejor de los casos, como factor evolutivo más avanzado, con un sistema dunar. También el fondo sedimentario sumergido enlaza con una plataforma continental interna rocosa, con un prisma costero arenoso muy deficitario (plataforma desnutrida, según Fernández-Valdés, 1997). Se trata, por tanto, de un sistema que como todos los estuarios se constituye en una trampa sedimentaria con aportaciones externas, desde el máximo eustático muy escasas, y fluviales de mayor entidad incluso con participación en la actualidad.

Fraciones sedimentarias superficiales

Los fondos sedimentarios de Tina Menor están constituido por las tres fracciones de tamaños más universalmente representadas: cantos en sentido amplio, incluyendo también las correspondientes a gravilla y grava, arenas y fangos con porcentajes totales en superficie de 12,72%, 34,49% y 52,77%,



Figura 13. Barras soldadas en la cola estuarina, constituidas por cantos y gravas en el canal principal, propias de una dinámica predominantemente fluvial, recubiertas por fangos.

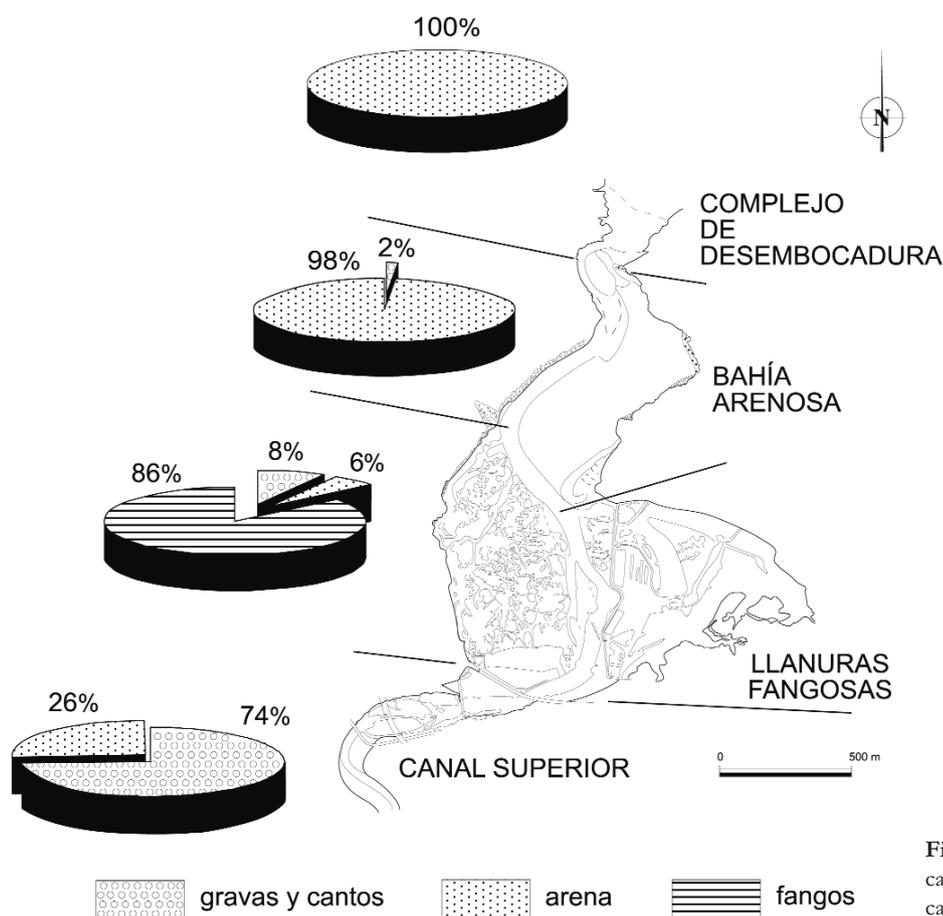


Figura 14. Fracciones granulométricas principales en superficie (%) para cada una de las zonas estuarinas.

respectivamente (Fig. 14). Las facies arenosas predominan en las áreas exteriores del estuario, claramente procedentes del borde costero, donde dominan condiciones de alta energía para dar paso hacia la cola a facies fangosas, propias de áreas de sombra y, finalmente, a las dominadas por cantos, gravas y gravillas debido a la intensa influencia de las descargas fluviales en avenidas.

Parámetros granulométricos

Centil. La distribución de las curvas de tendencia (Fig. 15A) muestra mínimos (mayor tamaño de grano) en las áreas del canal principal, así como en determinadas márgenes y en la porción externa del paso de desembocadura. Los máximos se reparten por la esquina oriental de la parte inferior de la playa expuesta, un entorno reducido del canal principal, donde se solapan dinámicas de la barra horquillada de flujo, y la duna estuarina perteneciente a la barrera de El Sable.

En la bocana del estuario, el tamaño de grano es menor hacia la parte oriental de la playa expuesta por

la acción de la refracción del oleaje en el fondo que promueve una corriente de deriva desde la margen derecha hacia el paso de desembocadura, el cual posee una mayor energía, hecho representado con un valor de $0,75 \phi$ que contrasta con los valores superiores a $1,00 \phi$ (hasta $1,75 \phi$) del lado opuesto.

En el segmento externo de la Bahía, la distribución de las curvas anuncia tenuemente la morfología de la barrera confinante y de las barras horquilladas, siendo prácticamente imposible diferenciar la rampa y los laterales de éstas a través de los parámetros granulométricos en este estuario.

Los valores de este parámetro en la mayor parte de la Bahía muestran que el tamaño de grano se hace menor a medida que se aleja del canal principal con una disminución paulatina hasta las márgenes. Esto significa que el canal es la zona de mayor energía junto con la margen derecha de la desembocadura, aunque en esta última la causa está relacionada principalmente por la acción del oleaje. La superficie amplia de las llanuras arenosas, que se ubican en posición

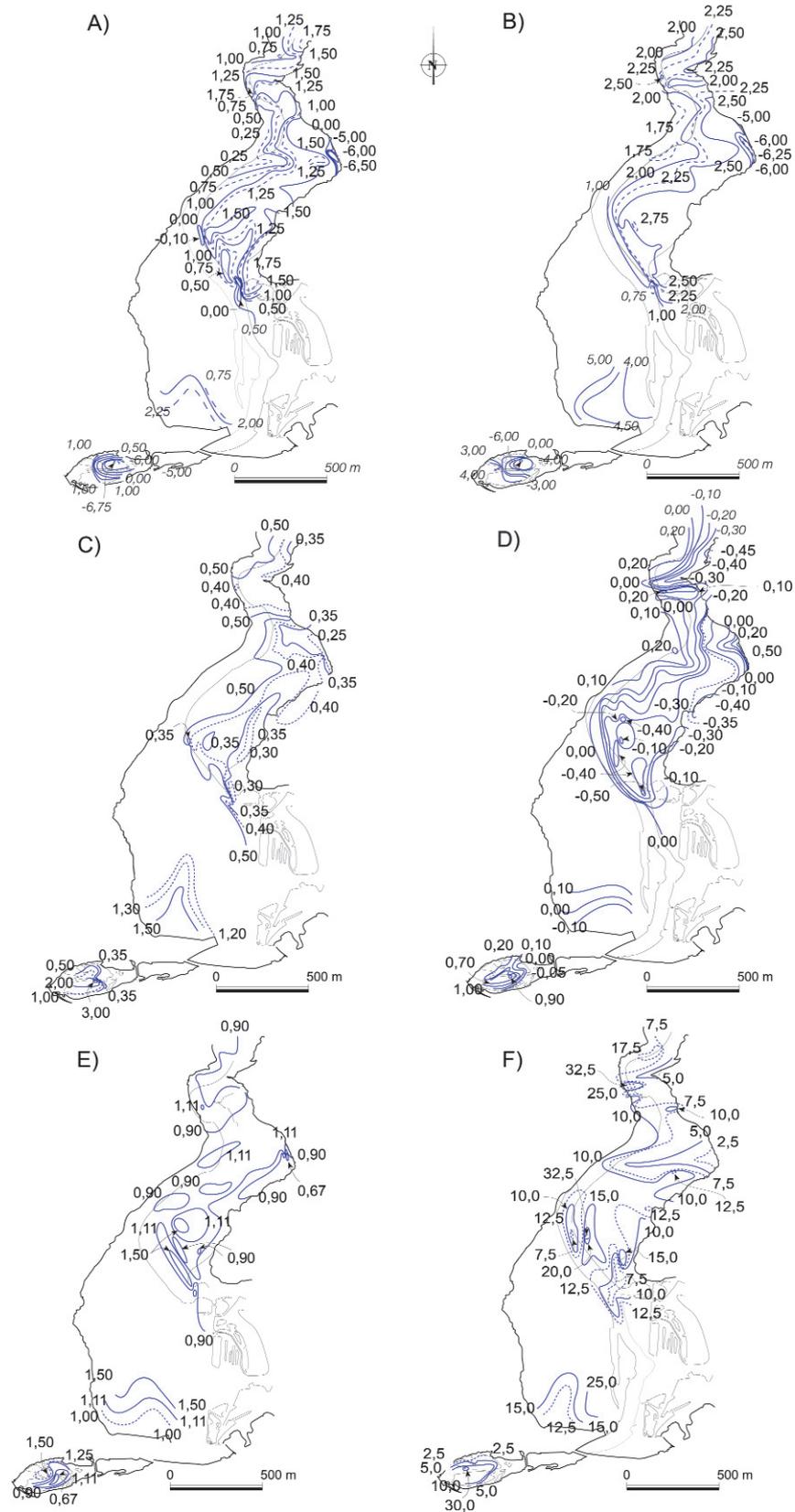


Figura 15. Distribución superficial de las tendencias del centil (A), media (B), calibrado o clasificación (C), asimetría (D), angulosidad (E) y carbonatos (F) en el estuario de Tina Menor.

distal respecto al canal principal, está caracterizada por valores comprendidos entre $1,25 \phi$ y $1,50 \phi$ lo que significa que se trata de entornos de baja energía. La franja proximal, por el contrario, participa de un mayor nivel energético, con una doble influencia durante las llenantes. Por una parte, debido a la entrada de flujos de agua que se articulan en torno a la gran barra horquillada interna, la cual queda representada por un arqueamiento de las isolíneas con la convexidad hacia el E. Por otra, al proceso de pérdida de energía que el funcionamiento del canal principal produce durante las vaciantes, como un verdadero sistema de desagüe fluvial.

Donde se desarrollan playas estuarinas, bien sea de cantos o arenas, el nivel energético se incrementa notable y bruscamente en relación con las llanuras arenosas colindantes, particularmente hacia las franjas superiores de las mismas, ya que el estacionamiento del nivel del agua permite la entrada en funcionamiento de los oleajes internos.

Los valores de la barrera de El Sable muestran tamaños de grano mayores para la playa estuarina e inferiores para su complejo dunar, como cabe esperar en relación con la dinámica particular de cada agente responsable, el oleaje y el viento, respectivamente. Además, se produce una adaptación de las isolíneas a la geometría de la barrera.

Los valores más altos, es decir, donde los tamaños de grano son más finos, se dan en las llanuras fangosas y en la margen oriental de las barras adosadas dentro del canal superior, indicando un recubrimiento en algunas de éstas por parte de sedimentos finos. Las barras a lo largo del canal superior van a dar valores muy bajos, incluso negativos, característicos de sedimentos groseros como cantos y grava.

Media. Las curvas de tendencia tienen una distribución bastante similar a las del centil, pero con las isolíneas dibujando contornos mucho más espaciados, como corresponde a un parámetro mucho más ponderado o suavizado (Fig. 15B).

En la desembocadura, los valores más altos (tamaño más finos) en unidades ϕ se disponen hacia el E, incrementándose, como en el centil, hacia el canal de desembocadura por el mismo motivo apuntado anteriormente.

Las barras horquilladas contienen los tamaños más finos, quedando los mayores en el recodo exterior del canal de desembocadura y en la porción más interna de los fondos arenosos.

Los tamaños medios más gruesos son mucho más marcados y netos en el segmento septentrional del canal que circula por la Bahía (en torno a $1,75 \phi$), excepto el mismo entorno reducido en relación con la influencia de la barra horquillada de flujo. Desde la porción meridional de las llanuras arenosas hasta el límite con las llanuras fangosas, se produce una transición hacia fracciones más finas. Solamente en las playas de cantos y gravas hay una variación importante de los valores, pasando de valores positivos a muy negativos.

Se diferencian con cierta nitidez las franjas proximal y distal, respecto al canal principal, dentro de las llanuras arenosas, con valores medios superiores en la primera y alrededor de $2,50 \phi$ y superiores en la segunda. Por el contrario, no existe contraste entre las llanuras arenosas y el conjunto de playa y dunas estuarinas de la barrera de El Sable, con valores similares a los detallados en último lugar.

Los valores van aumentando paulatinamente hacia las áreas fangosas sin distinguir ninguna forma. Sin embargo en las barras del canal superior, las curvas se distribuyen de forma que en el centro están los sedimentos gruesos y hacia los laterales se disponen los más finos.

Clasificación o Calibrado. En general, existe una gran irregularidad y escasos contrastes entre mínimos y máximos en la distribución de los valores, que por otra parte, entran dentro de las categorías de arenas bien y muy bien clasificadas (Fig. 15C) lo que informa de la gran homogeneidad del sedimento.

Solamente se comprueba una tendencia neta en relación con el funcionamiento de la deriva playera en la playa expuesta, donde se detecta un ligero empeoramiento corriente abajo de la deriva de la playa ($0,35 \phi$ a $0,50 \phi$), donde las isolíneas adoptan un trazado sub-paralelo al paso de desembocadura.

La porción meridional de la Bahía revela la presencia de los mejores calibrados (alrededor del $0,35 \phi$, pero con cifras aún más bajas) en la franja interna o distal, incluidas las unidades de playa y dunas estuarinas de la barrera de El Sable, que están representadas por los valores más bajos de todo el estuario.

En buena parte de la franja proximal de estas llanuras arenosas, los calibrados son buenos (algo inferiores al resto), debido a la influencia directa que transmite el canal principal.

Los peores calibrados están dentro de las marismas, dando a entender la escasa variación energética y renovación del sedimento. Las barras de cantos del canal aguas arriba también presentarían valores altos, ya que a pesar del alto nivel energético del río, debido a su tamaño la movilidad de éstos es muy limitada. En los márgenes del canal y en el propio canal los valores van de moderados a bien calibrados.

Asimetría. Oscilan desde cifras muy negativas (algo inferiores a -0,45 hasta algo superiores a 0,20), siendo por tanto el parámetro que contiene los registros más variables de todo el conjunto (Fig. 15D). No obstante, los valores dominantes en estas fracciones arenosas son negativos, más concretamente incluidos dentro de la categoría de muy negativos.

Sólo algunos enclaves reducidos toman signos positivos, como es el caso de la mayor parte del canal principal, sobre todo el segmento que afecta a la Bahía y en el paso de desembocadura. También en la porción distal de la barra horquillada de flujo, quizá como una compensación a la mayor energía desarrollada corriente arriba.

Son muy negativos en la margen oriental de la playa expuesta (-0,45) y pasan a positivos hacia la margen izquierda del paso externo de desembocadura (0,20), consecuencia de su adaptación al sentido de la corriente de deriva playera.

Las isóneas se adaptan parcialmente, pero con una desviación hacia el S, a la geometría de la barrera confinante, con valores negativos en el lado oriental donde se ancla la estructura y valores más altos hacia el canal principal.

Las curvas casi simétricas y algo negativas se distribuyen sobre la franja representativa de las llanuras arenosas proximales, lo que vuelve a poner en evidencia la dependencia directa que ejerce el canal principal (0,10 a -0,20). Por su parte, la franja distal que tiene una amplitud mayor se caracteriza por valores aún más negativos

Las dunas de la barrera de El Sable muestran valores comparativamente menos negativos (-0,20 a -0,10) que los de la playa estuarina, la cual queda representada por las isóneas (entre -0,20 y -0,30), mostrándose claramente la transición entre unas y otras. Los valores positivos en las barras del canal pueden explicarse por el recubrimiento de finos en gran parte de su superficie.

Angulosidad. Los valores de este parámetro muestran una variación poco contrastada y proporciona una información muy escasa, debido a la uniformidad de los valores, repartiéndose entre platicúrticos o curvas chatas, mesocúrticos y solamente agudas en algún caso muy localizado (Fig. 15E).

La porción meridional del canal principal toma los valores de curvas más agudas ($>1,50$), mientras que el resto del estuario oscila entre 0,90 y 1,11. La barrera confinante y toda la franja externa de la Bahía, donde se desarrollan las diferentes barras horquilladas, contienen valores que oscilan muy estrechamente en torno a los 0,90.

Es particularmente notoria la separación entre la franja de llanuras arenosas proximales, con medias del orden de 0,90, y las distales, alrededor de 1,11.

Dentro de las marismas se dan curvas leptocúrticas y mesocúrticas, con valores que oscilan entre 1,00 y 1,20. En el canal aguas arriba, las barras están subdivididas en dos zonas diferenciadas, curvas mesocúrticas aguas abajo y justo detrás, curvas leptocúrticas.

Carbonatos. Es un parámetro ligado estrechamente, en la mayor parte de los casos, al centil y la media, por cuanto existe una tendencia más o menos directa por la cual cuanto mayor es el tamaño de grano, tanto más elevado es el contenido carbonatado bioclástico (Flor, 1977). Este estuario no cumple estos supuestos de una manera uniforme, de modo que su zonación sólo comprende las de menor o mayor energía. En este caso, los porcentajes carbonatados son muy bajos, desde un 2,5% hasta algo más el 32,5%, pero apenas ofrece una información adicional de interés (Fig. 15F).

Caracterización de las zonas morfodinámicas

Se han calculado los promedios paramétricos y de composición carbonatada para una mejor caracterización de las zonas geomorfológicas y, fundamentalmente, de las zonas morfosedimentarias y dinámicas de mayor entidad (Tabla IV).

Se consignan los tamaños más gruesos en el canal principal, mayor aún en el segmento más interno, desde donde aguas arriba, toman el relevo las fracciones de cantos, propias de la parte interna de las Llanuras fangosas y todo el canal superior. El tamaño medio, representado tanto por el centil como por la media, se hace algo más fino hacia la parte externa de la Bahía, valores que se conservan constantes incluso

Tabla IV. Promedios de cada uno de los parámetros granulométricos en las unidades morfosedimentarias y dinámicas más importantes de cada zona del estuario de Tina Menor.

	Centil		Media		Calibrado ϕ	Asimetría	Angulosidad	Carbonatos %
	ϕ	mm	ϕ	mm				
COMPLEJO DE DESEMBOCADURA								
Paso de desembocadura (n=3)	1,02	0,49	2,14	0,22	0,47	0,00	0,89	14,40
Barrera confinante/playa expuesta								
<i>Talud intermareal</i> (n=1)	1,29	0,41	2,47	0,18	0,34	-0,37	1,07	6,00
<i>Terraza de bajamar</i> (n=2)	1,38	0,38	2,44	0,18	0,35	-0,43	1,08	6,10
BAHÍA ARENOSA								
Canal principal externo (n=3)	1,16	0,45	2,20	0,22	0,47	-0,19	0,89	6,53
Canal principal interno (n=6)	0,73	0,60	2,12	0,23	0,48	-0,10	1,13	10,10
Barras horquilladas de flujo y reflujo externas (n=4)	1,38	0,38	2,30	0,20	0,42	-0,13	0,91	13,75
Barras horquilladas de flujo interna (n=2)	0,97	0,51	2,25	0,21	0,46	-0,16	1,04	5,60
Playa estuarina externa (n=1)	1,02	0,49	1,98	0,25	0,40	0,10	0,94	6,20
Playa estuarina intermedia de gravas-cantos (n=5)	-4,97	31,34	-4,55	23,42	0,37	0,01	0,95	12,60
Playas estuarinas interna (n=4)	1,43	0,37	2,56	0,17	0,38	-0,31	1,09	7,30
Llanura arenosa proximal (n=9)	0,55	0,68	2,38	0,19	0,43	-0,32	0,98	10,42
Llanura arenosa distal (n=11)	1,36	0,39	2,54	0,17	0,35	-0,28	1,22	11,94
Dunas estuarina activas (n=1)	1,76	0,29	2,64	0,16	0,29	-0,28	1,15	9,00
Dunas estuarinas fijadas (n=4)	1,59	0,33	2,59	0,17	0,34	-0,30	1,11	13,05
LLANURAS FANGOSAS								
Canal principal (n=3)	0,03	0,98	1,35	0,39	0,61	0,00	1,08	10,26
Llanura fangosa (n=3)	1,97	0,25	4,66	0,04	1,35	0,03	1,15	18,46
CANAL SUPERIOR								
Canal principal (n=2)	-2,22	4,66	-0,19	1,14	1,61	0,44	1,18	12,40
Barras soldadas de gravas y cantos (n=7)	-2,28	4,86	-0,86	1,82	1,00	0,24	1,02	12,40

en el paso de desembocadura. Tamaños comparativamente mayores caracterizan las barras horquilladas, mientras que llanuras arenosas, playas y dunas estuarinas muestran cifras muy similares.

Para el canal principal, la clasificación es peor en el tramo interno, debido a la mayor influencia fluvial, disminuyendo muy ligeramente hacia la bocana aunque sus valores sean casi idénticos, los mismos que la llanura arenosa proximal. Las barras horquilladas reproducen clasificaciones buenas, pero algo inferiores a las del canal principal, y aún menores las relativas a las llanuras arenosas distales, playas y dunas estuarinas y la playa expuesta.

Las asimetrías son cercanas a curvas simétricas en los dos extremos del canal principal más interno y paso de desembocadura, con valores escasamente negativos en los restantes tramos. Las cifras negativas más altas se producen en la playa expuesta de la barrera confinante y en las playas y dunas estuarinas. Los valores disminuyen en las barras horquilladas y aún más en el canal principal intermedio.

La angulosidad es muy alta (curvas agudas) en el extremo externo del canal principal dentro de la zona de las Llanuras fangosas y en el interior de la Bahía para constituirse en mínimos en la parte externa de esta misma Bahía y en el paso de desembocadura (curvas chatas). Las llanuras arenosas distales muestran valores de curvas tendentes a picudas, pasando a medias en la playa expuesta y en el sistema de la playa y dunas estuarinas (barrera de El Sable) y a chatas en el resto.

Dinámica sedimentaria

Es posible integrar el conjunto de factores dinámicos que actúan en el sistema estuarino y los tipos de transporte que determinan la distribución sedimentaria en el presente (Fig. 16). Esta actividad no se produce de forma simultánea, la cual necesita de un conocimiento preciso de su participación a lo largo de un ciclo mareal y, a más largo plazo, en función de la estacionalidad de las descargas fluviales, de las variaciones eustáticas y de la intervención del hombre. También se separan las áreas donde predominan las influencias mareal y fluvial en el presente.

La dinámica fluviomareal está condicionada muy estrechamente en este estuario por la geometría del encajamiento rocoso del valle fluvial en la porción externa sobre el que se ha realizado el relleno estuarino transgresivo. El trazado sinuoso del valle fluvial en la desembocadura juega un papel decisivo sobre la mayor parte de la dinámica y distribución sedimentaria de las diferentes unidades morfosedimentarias de la amplia Bahía arenosa. En efecto, durante las llenantes, el flujo de agua que penetra por el paso de desembocadura es obligado a desviarse hacia el SE, oblicuamente al trazado del canal principal que se adosa a la margen occidental. De ese modo, una vez que el flujo confinado de la llenante abandona la bocana, superada corriente abajo la barra horquillada de flujo, se puede desarrollar otra barra solapada intermedia, generalmente efímera, y otra muy estable en posición interna de mayores dimensiones a partir del costado derecho del canal principal. Ésta dirige su flujo, derivado de la rampa o canal, hacia la posición de la barra de playa/dunas eólicas estuarinas de El Sable. En su trayectoria marca una depresión sumamente laxa (sobre la llanura arenosa interna) a través de la cual se canaliza el flujo mucho más eficientemente.

En el costado derecho de esta barra horquillada se construyen ondas de arena de relieve suave cuyas crestas y surcos sucesivos, que muestran una disposición concéntrica corriente abajo, se apoyan sobre la llanura arenosa. Indican también la disipación de la energía en forma centrífuga. A la componente de flujo principal que barre esta zona suroriental de la Bahía se le suma el efecto del oleaje incidente que penetra muy amortiguado durante las llenantes y primeras horas de las vaciantes. Su efecto principal supone la incidencia más o menos frontal sobre las playas de cantos y gravas y las zonas arenosas externas y oblicuas a la playa estuarina de El Sable. Esta dinámica supone la aparición de una corriente de deriva longitudinal muy marcada y perfectamente deducible hacia las llenantes con el consiguiente transporte arenoso, barriendo la margen oriental de N a S. A mayor escala favorece el crecimiento de la barrera hacia el canal principal (sentido hacia el O). Las descargas fluviales, que se articulan a través del canal principal discurrendo por la margen derecha, se ven obligadas a contornear la barrera y las llanuras arenosas en su posición meridional y a cambiar de margen, situándose en el costado occidental de las mismas.

Las fracciones de tracción son las que muestran una mayor movilidad, tanto en los transportes desde el sistema fluvial o desde la costa, como en los desplazamientos dentro del estuario. Forman parte de una

gran variedad de unidades morfosedimentarias (barras, lóbulos, playas, dunas, lechos de canal, etc), razón por la cual se ha enfatizado mucho más en su caracterización granulométrica. Por el contrario, las fracciones finas propias de un transporte en suspensión y sedimentación por decantación, aún cuando ocupan amplias superficies, se reparten formando llanuras fangosas donde son muy importantes los procesos bióticos.

Las fracciones de cantos y gravas están ligadas mejor al lecho fluvial y a las barras generalmente laterales, por cuanto proceden mayoritariamente de la cuenca hidrográfica. En mucha menor proporción, son aportadas por los acantilados estuarinos donde forman playas estuarinas, en este caso por removilización del oleaje de los depósitos de ladera desde las cuarcitas ordovícicas.

Se conservan parches de cantos, colonizados discontinuamente por *Enteromorpha*, en los costados de la Bahía arenosa. Globalmente, son de naturaleza cuarcítica y areniscosa, tratándose de sedimentos muy estables en cuanto a la dinámica sedimentaria se refiere.

Las descargas fluviales en avenida son las que inducen el transporte sobre el canal principal desde su entronque con el tramo inferior fluvial hasta la parte meridional del recinto aislado donde se ubica la piscifactoría.

Los fondos arenosos se reparten fundamentalmente sobre la porción externa del estuario como corresponde a un área influenciada por la dinámica marina de nivel energético elevado e introducidas por el efecto general eustático y particular de las llenantes. Son mayoritariamente siliciclásticas con porcentajes carbonatados siempre bioclásticos inferiores al 20%. Lechos y barras laterales de los canales principal y mareales, playas pertenecientes a la barrera confinante y estuarinas, dunas, barras horquilladas de flujo y reflujos y llanuras arenosas son las unidades mejor representadas que disponen de esta fracción.

Son las fracciones sedimentarias que se transportan como carga de fondo o tracción, gravas y gravillas, siendo las arenas más móviles, las que pueden ser susceptibles de cambios importantes ante la compleja dinámica estuarina, así como las variadas morfologías generadas a sus expensas.

Los fangos estuarinos, constituidos por fracciones de limo, que predominan ostensiblemente, arcilla y materia orgánica, ocupan las áreas internas del estuario, concretamente en las zonas de las Llanuras fangosas

con un 86%, las cuales representan las superficies mayores del conjunto, un 52,77%. Son sedimentos extraordinariamente estables en este estuario, como lo demuestran los juegos de fotografías aéreas de los últimos 50 años, y se transportan como carga en suspensión, alojándose en aquellas áreas donde predominan los procesos de decantación.

Conclusiones

El estuario de Tina Menor es un estuario de valle sumergido y confinamiento fundamentalmente rocoso, cuyo trazado sinuoso en planta es debido a la adaptación del relleno sedimentario al tramo inferior de un valle fluvial del tipo de meandros encajados.

Este estuario mesomareal y semidiurno muestra un comportamiento de la onda mareal o mecánica de tipo hiposincrónico.

Desde el punto de vista de las mezclas de aguas globales se encuadra dentro de un estuario de mezcla parcial en la mayor parte de las circunstancias. En relación con los ciclos mareales, las mezclas varían desde mezcla total en la desembocadura, pasando por mezcla parcial, que predomina hasta cuña salina en la cola, si bien se producen oscilaciones muy contrastadas.

La circulación estuarina muestra pautas muy regulares de los flujos de agua, tanto en las llenantes como en las vaciantes, con una segregación neta durante los momentos en que existe una columna de agua importante, de acuerdo con Coriolis: flujos por el costado occidental y reflujos por el oriental.

A partir de las medias mareas ascendentes, se activan las barras horquilladas de flujo, jugando la más interna un papel relevante, en combinación con el oleaje, y como resultado de la geometría encajada del valle estuarino en el sector exterior, para la formación de la barrera arenosa de El Sable. Se generan flujos que cambian hacia la margen oriental con la consiguiente formación de corrientes de deriva aguas arriba que permitieron el crecimiento de la barrera progradando hacia el S y SO.

El estuario se ha sectorizado longitudinalmente en cuatro zonas geomorfológicas, dentro de las cuales se han distinguido una serie de unidades morfosedimentarias y dinámicas: *Complejo de desembocadura* (playa expuesta, barra horquillada de reflujos y paso de desembocadura), *Bahía arenosa* (canal principal, barras horquilladas de flujo, llanuras arenosas proximal y distal, canales mareales mal desarrollados,

playas estuarinas de cantos y arenas y una extensa barra conteniendo un sistema de playa/dunas estuarinas), *Llanuras fangosas* (canal principal, llanuras de *Zostera*, *Spartina*+*Halimione* y *Salix*+*Juncus*, drenadas con multitud de canales mareales y algunos espacios reclamados) y *Canal superior* (canal principal y llanuras fluviomareales reclamadas, tanto marginales como formadas por barras de cantos soldadas).

Los sedimentos se distribuyen en fracciones de cantos y gravas (12,71%), arenas (34,49%) y fangos (52,77%). Son de naturaleza silíceas con escaso componente carbonatado (<20%), siempre bioclástico. Los análisis granulométricos y la composición carbonatada han permitido obtener una mayor información acerca de las repercusiones de los agentes dinámicos actuantes sobre la distribución sedimentaria. El escaso contraste de los valores se debe a la homogeneización del sedimento arenoso tanto debido a causas heredadas, probablemente las de mayor repercusión, como las activas.

Se ha marcado el límite entre las influencias morfosedimentarias y dinámicas dominantes, marina y fluvial, en el segmento de canal principal compartido por la Bahía arenosa y las Llanuras fangosas, existiendo un control de la geometría del valle externo sobre la dinámica y la sedimentación. También se ha establecido la correlación estrecha entre las dinámicas operativas y la distribución de las unidades morfosedimentarias arenosas, entre las que se destaca la creación de la barrera de El Sable por la formación de corrientes durante las llenantes que parten del área de la desembocadura cruzando el estuario hacia el SE.

Agradecimientos

A la Confederación Hidrográfica del Norte de España en la persona de D. Juan Meana García (Ingeniero Técnico del Servicio de Hidrología) y a D. Ignacio Peña Gil (Ingeniero Jefe del embalse de la Herrería, perteneciente a Saltos del Nansa, S.A. Al compañero Óscar Cerrato quien amablemente nos acompañó y dirigió las campañas en la embarcación a motor de su propiedad.

Bibliografía

- BORREGO, J. (1992). *Sedimentología del estuario del Río Odiel (Huelva, S.O. España)*. Tesis Doctoral (inédita). Departamento de Ciencias Experimentales. Departamento de Geología y Minería. Universidad de Sevilla.
- BORREGO, J., MORALES, J. A. Y PENDÓN, G. (1995). Holocene estuarine surface facies along the mesotidal Coast of Huelva, S.W. Spain. En: B.W. Flemming y A. Bartholomä (eds.). *Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments*. I.A.S. Spec. Pub., 24, 151-170.

- BORREGO, J., RUIZ, F. GONZÁLEZ-REGALADO, M. L., PENDÓN, G. Y MORALES, J. A. (1995). The Holocene transgression into the estuarine central basin of the Odiel river mouth (Cadiz Gulf, SW Spain): lithology and faunal assemblages, *Quarter. Sci. Rev.*, 18, 769-788.
- CEARRETA, A. (1994). Análisis micropaleontológico e interpretación paleoecológica del relleno sedimentario holoceno en el estuario de Bidasoa (Golfo de Bizkaia). *Geobios*, 27, 271-283.
- CABRERA CEÑAL, R. Y FLOR, G. (1993). Evolución reciente del estuario del Nalón (Asturias). *Cuaternario y Geomorfología*, 7, 23-34.
- DABRIO, C. J., ZAZO, C., GOY, J. L., SIERRA, F. J., BORJA, F., LARIO, J., GONZÁLEZ, J. A. Y FLORES, J. A. (2000). Depositional history of estuarine infill during the last postglacial transgression (Gulf of Cadiz, Southern Spain). *Mar. Geol.*, 162, 381-414.
- ENCINAR, M^a V. Y FLOR, G. (1983). Aportaciones para el conocimiento de la dinámica y sedimentación de la ría del Eo. *Cuadernos del CRINAS*, 5, 51 pp.
- FAIRBRIDGE, R.H. (1980). The estuary: its definition and geodynamic cycle. En: E. Olausson e I. Cato (eds.). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*, 1-35. Wiley. N:Y.
- FERNÁNDEZ IGLESIAS, M^a E. (1999). *Zonación morfodinámica e incidencia antrópica en los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor (Costa Cantábrica)*. Seminario de Investigación (inédito). Departamento de Geología e Indurot. Universidad de Oviedo.
- FERNÁNDEZ IGLESIAS, M^a E. Y MARQUÍNEZ GARCÍA, J. (2002). Zonación morfodinámica e incidencia antrópica en los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor (Costa Cantábrica). *Rev. Soc. Geol. España*, 15, 141-156.
- FERNÁNDEZ IGLESIAS, M^a E., MARQUÍNEZ GARCÍA, J., RIVAS, V., BRUSCHI, V. Y SÁNCHEZ, J. M. (2004). *Clasificación geomorfológica de los estuarios cantábricos*. En: G. Benito y A. Díez Herrero (eds.). VIII Reunión Nacional de Geomorfología. *Contribuciones Recientes sobre Geomorfología*, I, 319-328.
- FERNÁNDEZ-VALDÉS, J. M. (1997). *Morfología y sedimentación de la plataforma continental interna de la zona de Cabo Peñas*. Tesis Doctoral (inédita). Departamento de Ingeniería de la Fabricación. Universidad de Oviedo.
- FLOR, G. (1977). Los carbonatos biogénicos en los depósitos arenosos de las playas del litoral asturiano. *Brev. Geol. Astúrica*, 21, 51-62.
- FLOR, G. (1983). Las rasas asturianas: ensayo de correlación y emplazamiento. *Trabajos de Geología*, 13, 65-81.
- G. FLOR (1986). Las playas levantadas de Merón y Oyambre (Santander). *Actas del IX Congreso Nacional de Sedimentología*. Vol. I, 357-371. Salamanca.
- FLOR, G. (1995). Clasificación y caracterización de los estuarios asturianos. En: O. Cendrero e I. Olaso (eds.). *Actas del IV Coloquio Internacional sobre Oceanografía del Golfo de Vizcaya*, 133-141. I.E.O: Santander.
- FLOR, G. (2000). El entorno geológico del río y la playa de Bedón. *Bedoniana*, II, 55-74. Ed. Alvizora Libros.
- FLOR, G., CABRERA CEÑAL, R., SUÁREZ GONZÁLEZ, M. A. E. IGLESIAS ORTEGA, P. J. (1998): Aspectos morfológicos, dinámicos y sedimentológicos del estuario del Nalón (Asturias, NO de España). *Trabajos de Geología*, 20, 3-37.
- FLOR, G. Y CAMBLOR, C. (1990). Dinámica y sedimentación en el estuario de Ribadesella (Asturias, N de España). *Trabajos de Geología*, 17, 16-36.
- FLOR, G., FERNÁNDEZ PÉREZ, L. A. Y CABRERA CEÑAL, R. (1992). Características dinámicas y sus relaciones sedimentarias en la ría del Eo (Asturias-Galicia, NO de España). *Rev. Soc. Geol. España*, 5, 7-25.
- FLOR, G., FERNÁNDEZ PÉREZ, L. A., MENÉNDEZ FIDALGO, R., MARTÍNEZ CUETO-FELGUEROSO, M^a E. Y RODRÍGUEZ-CASERO, G. (1996): Dynamics and sedimentation of the mesotidal estuary of Villaviciosa (Asturias, Northern Spain). *Rev. Soc. Geol. Esp. España*, 9, 205-225.
- FLOR, G. Y MARTÍNEZ CEDRÚN (2004). Geocantabria II. Excursión costera Liendres-San Vicente de la Barquera. *Geocantabria. Itinerarios Geológicos. Itinerarios Didácticos del XI Simposio sobre la Enseñanza de la Geología*, 26-47.
- FLOR BLANCO, G. (2002). *Aspectos dinámicos y sedimentarios del estuario de Tina Menor*. Trabajo de Investigación (inédito). Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.
- FLOR BLANCO, G. (2007). *Características morfosedimentarias y dinámicas y evolución ambiental de los estuarios de Tina Mayor, Tina Menor y San Vicente de la Barquera (Costa Occidental de Cantabria)*. Tesis Doctoral (inédita). Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.
- FLOR BLANCO, G. Y FLOR, G. (2003). Modelo morfodinámico del estuario de Tina Menor (Cantabria). 4^o Simposio sobre el MARGEN IBÉRICO ATLÁNTICO. *Tbalassas*, 19 (2b), 149-150.
- FLOR BLANCO, G. Y FLOR, G. (2004). Aspectos morfológicos de los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor (oriente de Asturias-occidente de Cantabria). En: G. Benito y A. Díez Herrero (eds.). VIII Reunión Nacional de Geomorfología. *Contribuciones recientes sobre Geomorfología*, I, 329-336.
- FOLK, R. C. Y WARD, W. C. (1957). Brazos River Bar: A study on the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.*, 27, 3-26.
- FONTAN, A. (2001). Estudio integral de los cambios producidos en el estuario de Tina Menor. *Revista AquaTIC*, 13, 1-27. [<http://aquatic.unizar.es/n3/art1307/azti3.htm>].
- HAYES, M. (1975). Morphology of sand accumulation in estuaries. En: L.E. Cronin, (ed.). *Estuarine Research, II, Geology and Engineering*, 3-22. Academic Press, Inc.
- LE FLOCH, P. (1961). *Propagation de la marée dans l'estuaire de la Seine et en Seine Maritime*. Thèse Doctorat d'État. Univ. de Paris.
- LIAÑO HERRERA, A. (1981). *Estudio del potencial hidroeléctrico de la Provincia de Santander*. Santander. En: Gran Enciclopedia de Cantabria. 1985. Editorial Cantabria, S.A.
- LOBO, F. J., DIAS, J. M. A., GONZÁLEZ, R., HERNÁNDEZ-MOLINA, F. J., MORALES, J. A. Y DÍAZ DEL RÍO, V. (2003). High-resolution seismic stratigraphy of a narrow, bedrock-controlled estuary: the Guadiana estuarine system, SW Iberia. *J. Sed. Res.*, 73, 973-986.
- LÓPEZ PELÁEZ, J. (1996). *Estudio medioambiental del sistema estuarino*

- de *Avilés (Asturias)*. Trabajo de Investigación (inédito). Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. 49 pp.
- LÓPEZ PELÁEZ, J. Y FLOR, G. (2006). Cambios morfológicos por canalización de la desembocadura en los estuarios asturianos de Navia, Nalón y Villaviciosa. A. Pérez Alberti y J. López Bedoya (eds.). *Actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología.*, 419-431. Publicaciones de la Universidad de Santiago de Compostela.
- LORIENTE, E. (1974). Sobre la vegetación de *Zosteretea* y *Spartinetea maritimae* de Santander. *Anal. Inst. Bot. Cavanillas*, 31, 179-189.
- LORIENTE, E. (1987-88). La vegetación halófila de las marismas de Cantabria. *Anal. Inst. Est. Agropecuarios*, 10, 9-24.
- MARY, G. (1979). *Évolution de la bordure côtière asturienne (Espagne) du Néogène à l'actuel*. Thèse Doctorat d'État. Univ. de Caen, Francia.
- MARY, G. (1983). Evolución del margen costero de la Cordillera Cantábrica en Asturias desde el Mioceno. *Trabajos de Geología*, 13, 3-35.
- MOÑINO, M. (1986). *Establecimiento y cartografía de los niveles de rasa litoral existentes en Cantabria*. Tesis de Licenciatura (inédita). Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Cantabria.
- MOP (1985). *Estudio básico de los recursos de las cuencas del Norte de España*. Sistema N° 24. Río Nansa (119). Escala 1:200.000. Dirección General de Obras Hidráulicas. Madrid.
- MORALES, J. A. (1993). *Sedimentología del estuario del río Guadiana (S.O. España-Portugal)*. Tesis Doctoral (no publicada). Departamento de Ciencias Experimentales. Departamento de Geología y Minería. Universidad de Sevilla.
- MORALES, J. A. (1997). La desembocadura mesomareal del río Guadiana (S.O. España-Portugal): un ejemplo de transformación de delta en estuario, 83-114. En: J. Gabriel Pendón (ed.). *Geología Costera, algunos aspectos metodológicos y ejemplos locales*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.
- PASCUAL, A., WEBER, J., CABALLERO, F., RODRÍGUEZ-LÁZARO, O. Y JOAUNNEAU, J. M. (1999). Análisis integral (micropaleontología y sedimentología) de un sondeo supramareal Holoceno en la ría de Gernika (Golfo de Vizcaya). *Geogaceta*, 26, 75-78.
- PORTERO GARCÍA, J. M., RAMÍREZ DEL POZO, J., OLIVÉ DAVÓ, A., MARTÍN ALAFONT, J. M., AGUILAR, M. J. Y GIANNINI, G. (1976). Mapa Geológico de España (plan Magna). Escala 1:50.000. Comillas (n° 33). I. G. M. E. Madrid.
- PRITCHARD, D. W. (1955). Estuarine circulation patterns. *Proc. Am. Soc. Civil Eng.*, 81, 717/1-717/11.
- PRITCHARD, D. W. (1967). What is an estuary? Physical point of view. En: H. Lauff, (ed). *Estuaries*. G. Am. Assoc. Adv. Sci. Pub., 83, 3-5.
- RIVAS, V. (1991). *Evolución reciente y estado actual del litoral cantábrico oriental*. Tesis Doctoral (inédita). Universidad de Murcia.
- SILVESTER, R. (1974). Coastal Engineering, II. Sedimentation, estuaries, tides, effluents, and modelling. *Develop. Geotech. Eng.* 4B. Elsevier.
- SIMMONS, H. B. (1955). Some effects of upland discharge on estuarine hydraulics. *Proc. Am. Soc. Civil Eng.*, 81, 729/1-729//20.
- TOSAL, J. M. (1968). Relaciones zócalo-cobertera en el límite de las provincias de Oviedo y Santander. *Brev. Geol. Astúrica*, XII, 9-14.
- VÁZQUEZ ARGÜELLES, M^a P. (1974). *Dinámica y sedimentación en la ría de Villaviciosa*. Tesis de Licenciatura (inédita). Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.