

# ZONACIÓN MORFODINÁMICA E INCIDENCIA ANTRÓPICA EN LOS ESTUARIOS DE TINA MAYOR Y TINA MENOR (COSTA CANTÁBRICA)

E. Fernández Iglesias y J. Marquínez García

*INDUROT, Universidad de Oviedo, Campus Universitario de Mieres, 33600 Mieres, Asturias.  
(elena@indurot.uniovi.es).*

**Resumen:** Los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor, muy similares en forma y tamaño, presentan notables diferencias en la extensión de los distintos ambientes estuarinos. El primero de ellos muestra a su vez una antropización notablemente superior al de Tina Menor. La identificación de tres niveles de terrazas, con características geomorfológicas particulares y distintas frecuencias de inundación mareal, ha permitido realizar una zonación morfodinámica de ambos estuarios que ha evidenciado una mayor colmatación sedimentaria del Estuario de Tina Mayor, donde las terrazas inferiores son menos extensas. Las características de la cuenca hidrográfica del río Deva, que desemboca en Tina Mayor, favorecen la producción y arrastre de sedimento, interpretándose que, a igualdad de otros factores, es éste el responsable principal de las diferencias observadas entre ambos estuarios. El trabajo muestra una metodología para la zonación morfodinámica en estuarios e ilustra la influencia de la dinámica fluvial como factor que favorece o impone restricciones al aprovechamiento de los terrenos estuarinos por el hombre de modo que, ante cuencas fluviales productivas en sedimentos, se favorece la colmatación y ocupación humana del estuario mientras que en el caso contrario, las llanuras intermareales serán más extensas y su reclamación exigirá intervenciones más importantes.

**Palabras clave:** Costa Cantábrica, estuario, zonación morfodinámica, impacto humano, canales mareales.

**Abstract:** Tina Menor and Tina Mayor estuaries, very similar in form and size, show notable differences in the expanse of the different estuarine environments. The first of them shows a more significant anthropization than Tina Menor. The identification of three terraces' levels with particular geomorphologic characteristics and with different frequencies of tidal flooding made a morphodynamic zoning of both estuaries possible. The zoning showed a greater sedimentary fillings in Tina Mayor, where the lower terraces are less extensive than in Tina Menor. The characteristics of the Deva river basin, which flows into Tina Mayor, favor the production and drag of sediment. It's interpreted that, with equality of other factors, is this the principal cause of the differences between these estuaries. This paper shows a methodology for the morphodynamic zoning of estuaries and the influence of the fluvial dynamic as a factor which is favorable or detrimental to the enjoyment of the estuarine terrain on the part of man. River basins wich produce more sediments favor the sedimentary fillings and human occupation of the estuary, while in the opposite case, the tidal plains will be more extensive and its reclamation will require more human intervention.

**Key words:** Cantabrian coast, estuary, morphodynamic zoning, human impact, tidal channels.

Fernández Iglesias, E. y Marquínez García, J. (2002): Zonación morfodinámica e incidencia antrópica en los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor. *Rev. Soc. Geol. España*, 15 (3-4): 141-157.

A la hora de analizar las características de los estuarios actuales habría que considerar un nuevo factor que ha condicionado notablemente su funcionamiento en los últimos siglos: la actividad humana. Aunque realmente hay muy pocos ambientes sobre el planeta donde el impacto humano no se manifieste de alguna forma, las costas se encuentran particularmente afectadas al constituir zonas de gran interés social y económico. Dentro de este ámbito, los estuarios son zonas que muestran un deterioro añadido al representar lugares idóneos para el uso portuario, urbano, industrial y agropecuario.

En el litoral cantábrico la situación de la costa no difiere de la existente en el resto del mundo. La benignidad del clima y las morfologías suaves y planas de

numerosas zonas litorales (playas, dunas, estuarios y rasas) han favorecido el asentamiento humano desde tiempos prehistóricos. En concreto, los estuarios y bahías del Cantábrico han sido objeto de un interés creciente por parte del hombre, modificando dramáticamente sus características naturales para dar lugar a entornos antropizados como el de los estuarios de Avilés, Bilbao, Barbadún y Urumea o las bahías de Santander y Pasajes.

Sin embargo, y a pesar de que el impacto humano provocado en los estuarios es muy notable en el litoral cantábrico, la investigación se ha centrado hasta hace poco tiempo en la morfología y los depósitos asociados

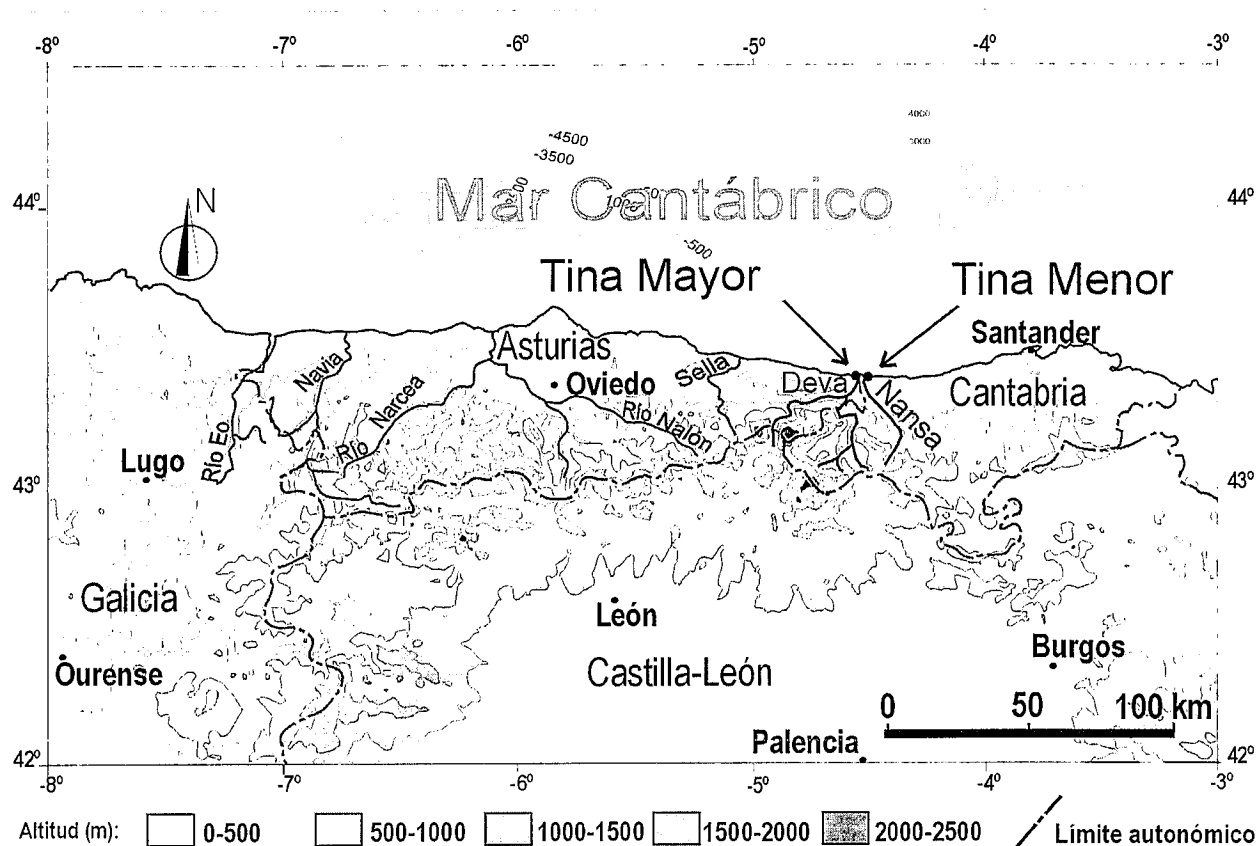


Figura 1.- Localización de los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor en la Costa Cantábrica.

a las rasas costeras, así como en el planteamiento de hipótesis acerca de su evolución. Más recientemente ha tenido lugar una diversificación temática de la investigación en el litoral cantábrico, comenzando a abordarse nuevos temas relacionadas con formaciones litorales como playas, dunas y estuarios (Flor, 1981a, 1981b; Flor y Cambor, 1989; Cearreta *et al.*, 1991), acompañadas por cartografías geomorfológicas más detalladas y el planteamiento de los problemas derivados del uso cada vez más intenso de estas unidades costeras (Rivas, 1991; Cearreta *et al.*, 1999; Cearreta y Leorri, 2000; Fontan, 2001).

El presente trabajo se centra en este último tema, analizando las modificaciones que tienen lugar en la morfología y dinámica de los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor como consecuencia de la instalación de diferentes estructuras artificiales, fundamentalmente muros y diques, elementos dominantes en numerosos estuarios cantábricos y de gran incidencia en la dinámica mareal de los mismos. La selección de estos dos estuarios se debe a que a pesar de su similitud en forma y tamaño, presentan notables diferencias en la extensión de los distintos ambientes estuarinos. El objetivo final es valorar si estas diferencias observadas entre ambos estuarios son debidas a causas antrópicas, o si existe algún condicionante natural que explique la diferente ocupación humana de los terrenos entre ambos estuarios y agudice las diferencias morfodinámicas observadas en ellos.

## Método

Con el fin de determinar la influencia que tienen las distintas actuaciones humanas en el funcionamiento y extensión de los distintos ambientes en Tina Mayor y Tina Menor, se realiza una zonación de los terrenos estuarinos basándose en sus características morfológicas y dinámicas. La base metodológica en la que se apoya el desarrollo del trabajo consiste, por una parte, en el análisis de la evolución reciente de los estuarios mediante fotografías aéreas correspondientes a los años 1956-57 (1:33.000), 1969-70 (1:18.000), 1985 (1:30.000), 1989-90 (1:5.000), 1993 (1:10.000) y 1995 (1:18.000) que permiten la identificación de los cambios más importantes acaecidos en los estuarios, tanto de carácter natural como impuestos artificialmente. Por otro lado, se realiza una toma de datos sobre el terreno y se restituyen sobre mapas topográficos de escala 1:1.000 y 1:5.000, referenciados al 0 de Alicante y de los que se han extraído los datos de altura expuestos a lo largo del presente trabajo.

A partir de la información cartográfica, el estudio de fotografías históricas de los estuarios, el levantamiento topográfico detallado del que se ha dispuesto y la altura de las pleamares, se ha procedido al análisis y separación de zonas con diferentes características geomorfológicas y comportamientos dinámicos, a partir de las cuales se ha construido un mapa de zonación morfodinámica para cada estuario. En esta primera fase

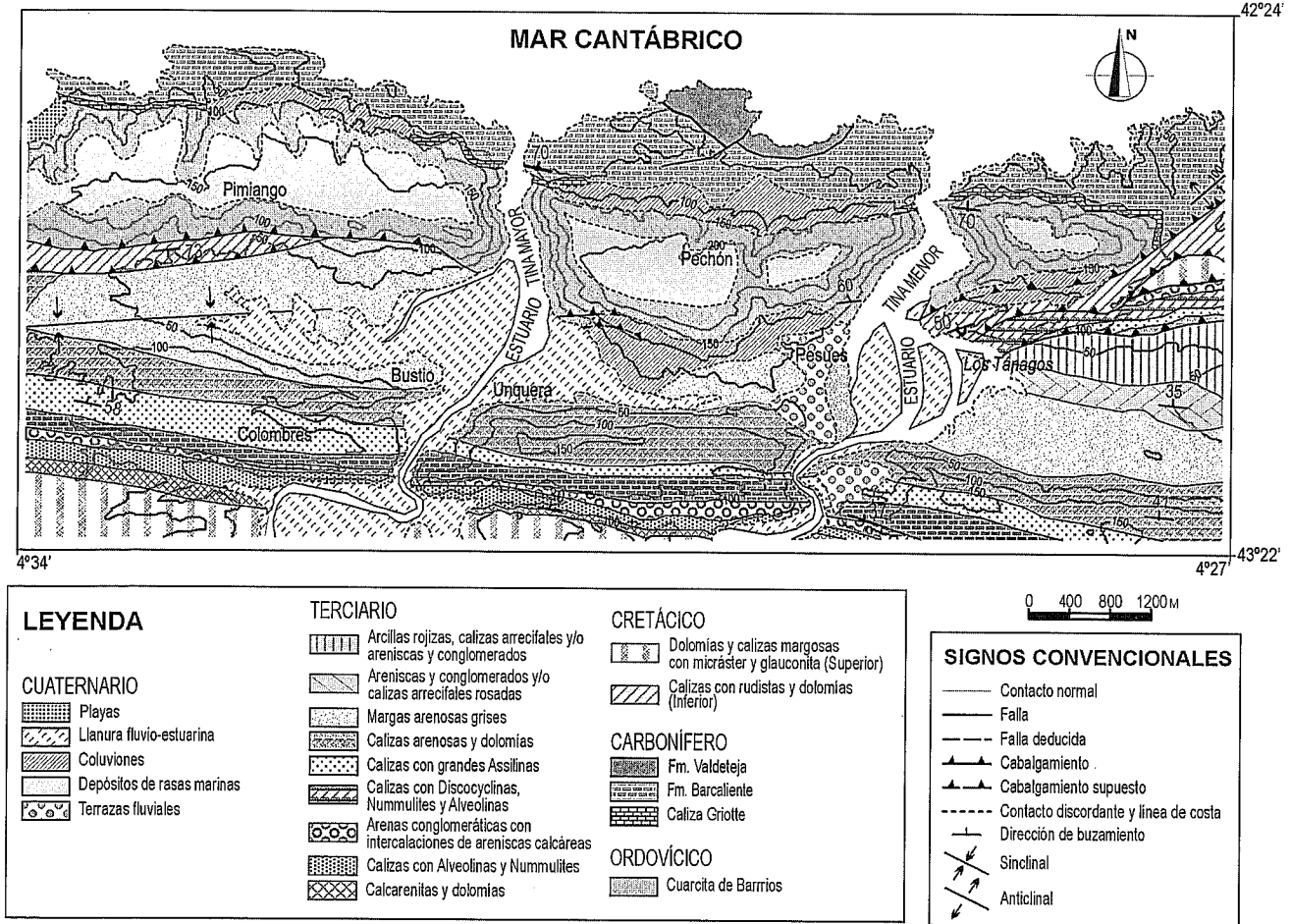


Figura 2.- Geología del entorno de los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor (Portero *et al.*, 1976 y Martínez, 1981).

del trabajo se pretende determinar hasta qué punto incide la antropización en las diferencias morfodinámicas observadas.

Debido a que el funcionamiento de las respectivas cuencas hidrográficas es otro elemento que participa en las características de los estuarios, se ha procedido a analizar la litología de las cuencas de los ríos Deva y Nansa y los datos de caudal disponibles, abarcando un periodo comprendido entre los años 1969/70 y 1994/95. Dicho análisis se ha completado con la elaboración de modelos digitales de alturas y pendientes, construidos a partir de la digitalización de mapas topográficos 1:200.000.

### Área de estudio

El Estuario de Tina Mayor, ubicado en la desembocadura del río Deva, constituye el límite administrativo entre la región asturiana y la cántabra. El Estuario de Tina Menor se encuentra a menos de 2 km al este del anterior, y se localiza en la desembocadura del río Nansa, dentro de Cantabria (Fig. 1).

El relieve del entorno se caracteriza por presentar cumbres y vaguadas orientadas este-oeste y paralelas a la línea de costa. Las zonas más elevadas, caracterizadas por ser planas y alargadas, representan rasas litorales labradas sobre las cuarcitas adyacentes a las desem-

bocaduras, cuyas cotas máximas apenas sobrepasan los 200 m de altura. Este relieve es seccionado por los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor, con orientaciones norte-sur (Fig. 2).

La orografía suave y plana ligada a las rasas y a las llanuras estuarinas ha favorecido el asentamiento de la población en estas zonas (Unquera, Bustio, Pesues y Pechón). El manejo de los recursos naturales asociados a los estuarios ha determinado el predominio de la actividad pesquera y agropecuaria, propiciando esta última la reclamación y desecado de los terrenos estuarinos mediante la colocación de muros y diques con el objetivo de disminuir la inundación por parte de las mareas. Este fenómeno de reclamación aparece en ambos estuarios, siendo mucho más intenso en el Estuario de Tina Mayor.

### Marco geológico y geomorfológico

En la mitad norte del área estudiada y lindando con el mar, aparecen materiales que pertenecen a la prolongación noreste de la Unidad del Ponga-Cuera (Pérez Estaún *et al.*, 1988) de la Zona Cantábrica. Estas rocas constituyen los afloramientos más externos de la Cordillera Hercínica en el noroeste de la Península Ibérica, antes de desaparecer bajo la cobertera mesozoica y terciaria de la Cuenca Vasco-Cantábrica, cuyos materiales

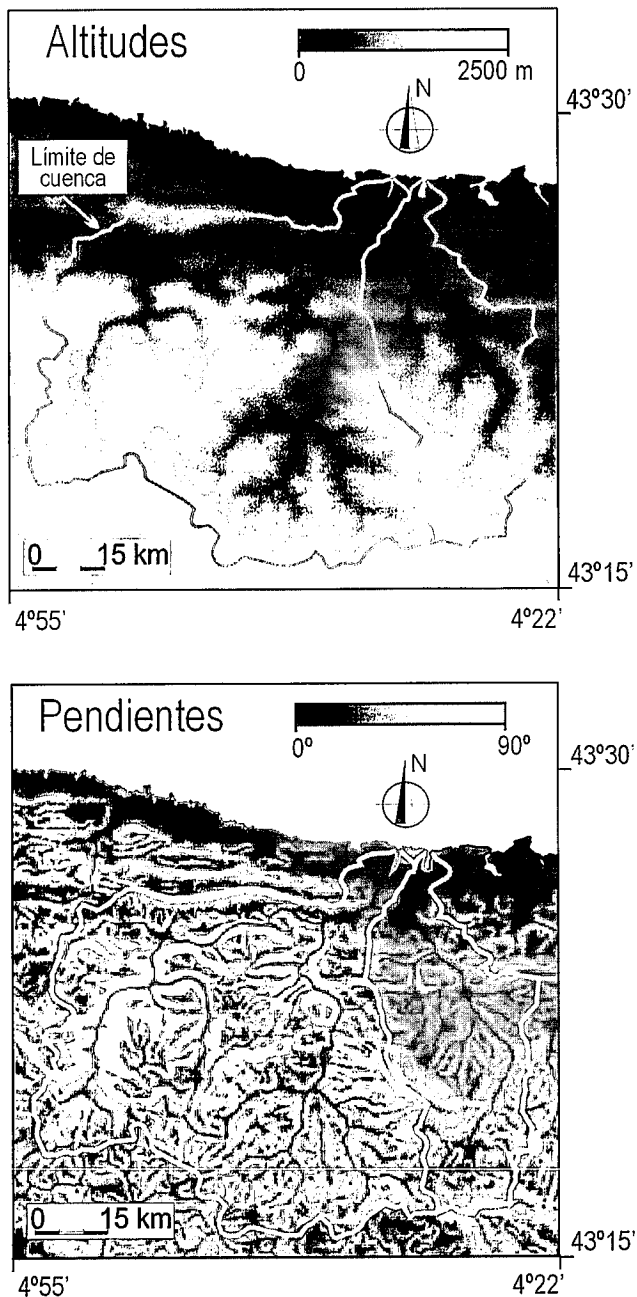


Figura 3.- Modelos Digitales de altitud y pendiente para las cuencas hidrográficas de los ríos Deva y Nansa.

afloran en la mitad sur y sureste del área de estudio (Fig. 2).

El entorno de los estuarios analizados se caracteriza por la presencia de un substrato paleozoico y mesozoico, compuesto en el primer caso por materiales ordovícicos y carboníferos y en el segundo por materiales cretácicos y terciarios, dispuestos según una orientación predominante ONO-ESE. Los materiales paleozoicos, situados en la mitad norte, se encuentran separados de los mesozoicos mediante un cabalgamiento paralelo al trazado de las formaciones paleozoicas. La estructura geológica de los materiales cretácicos y terciarios se corresponde con un gran pliegue sinclinal de orientación ONO-ESE, cuyo flanco norte se encuentra truncado por el cabalgamiento mencionado (Portero *et al.*, 1976; Martínez, 1981).

La formación ordovícica representada en el área corresponde a la Cuarcita de Barrios (Comte, 1937) y en el Carbonífero están la Caliza Griotte (Barrois, 1882) y las formaciones Valdeteja y Barcaliente (Wagner *et al.*, 1971). El Cretácico representado pertenece, por un lado, a la serie superior, concretamente al Coniaciense y Santoniense (dolomías y calizas margosas) y, por otro, al Aptiense de la serie inferior (Calizas con rudistas y dolomías). Estos materiales ocupan el extremo suroeste de la zona de estudio, apareciendo alguna unidad repetida por cabalgamientos en la franja central (Fig. 2).

El Terciario se sitúa en la mitad meridional, ocupando el núcleo y flanco sur del sinclinal. En él se encuentran representados el Paleoceno, Eoceno y Oligoceno a lo largo de una serie poco tectonizada en la que la litología dominante es la caliza, seguida de calcarenitas y margas, hasta llegar al Eoceno superior y Oligoceno, donde dominan las arcillas, areniscas y los conglomerados.

La gran similitud morfológica existente entre los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor está fuertemente condicionada por las características geológicas de la zona, pudiéndose separar claramente tres zonas. La primera correspondería a la desembocadura, representada en ambos estuarios por un cauce fuertemente encajado sobre las cuarcitas ordovícicas de la Fm. Barrios y las calizas de las formaciones Barcaliente y Griotte, formaciones cuyos resaltes forman entrantes angostos que semiconfinan los estuarios (Fig. 2). Aunque la longitud de este tramo y la anchura ocupada por el cauce durante bajamar y estiaje es similar en ambos estuarios, la anchura máxima de Tina Menor es de 550 m frente a los 200 m de Tina Mayor.

El segundo sector se caracteriza por un ensanchamiento del estuario a favor de los materiales más blandos del Terciario (margas arenosas), favoreciendo el desarrollo de ensenadas a los lados del canal principal. En este tramo, el cauce adquiere un trazado típicamente meandriforme, con presencia en las ensenadas laterales de canales parcialmente abandonados. Marismas, llanuras intermareales fango-arenosas y canales mareales alcanzan en este tramo su máximo desarrollo.

En el tercer sector, situado en la zona más meridional y en donde se localizan las zonas internas de los estuarios, afloran formaciones calcáreas resistentes del terciario y cretácico que provocan un nuevo estrechamiento de los estuarios, con cauces meandriformes que bordean pequeñas llanuras correspondientes a marismas antiguas.

### Las cuencas hidrográficas de los ríos Deva y Nansa

A partir de la digitalización del mapa topográfico 1:200.000, se construyó un Modelo Digital de Elevaciones para las cuencas fluviales de los ríos Deva y Nansa y se calculó el modelo digital de pendientes derivado (Fig. 3). La característica más sobresaliente que resulta al comparar ambas cuencas hidrográficas es la gran diferencia existente en sus áreas, siendo de 1.210 km<sup>2</sup> en la cuenca del río Deva, frente a los 427 km<sup>2</sup> de

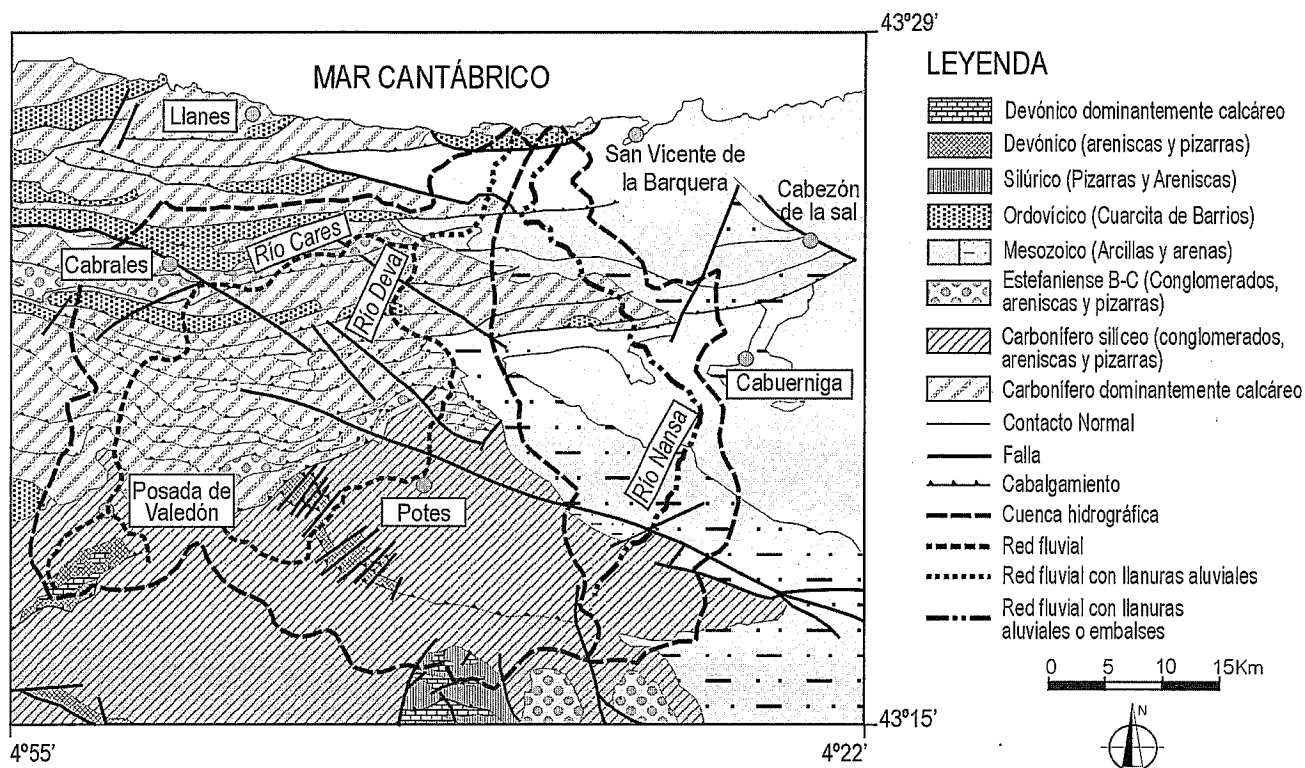


Figura 4.- Litologías dominantes en las cuencas fluviales de los ríos Deva y Nansa (Parga Pondal *et al.*, 1982).

la cuenca del Nansa. Del mapa hipsométrico elaborado a partir de la altitud se desprende que la altitud media para la cuenca del Deva es de 1.013 m frente a los 734 m de la del Nansa. Respecto a las pendientes medias, éstas son de 17,1° para la cuenca del Deva y de 12,7° para la cuenca del Nansa.

Uno de los factores principales que controlan estas diferencias entre ambas cuencas es el geológico (Fig. 4). Gran parte de la cuenca del río Nansa se ubica sobre los materiales de la Cobertera Mesozoico-Terciaria con litologías predominantemente arcilloso-arenosas, mientras que la cuenca del río Deva se encuentra sobre la Unidad de Picos de Europa, de carácter predominantemente calcáreo, a excepción de la cabecera en la que aparecen conglomerados, areniscas y pizarras. La disposición prácticamente horizontal de las capas mesozoicas dominantes en la Cuenca del Nansa produce relieves suaves y una alta densidad de drenaje. Además, en los fondos de valle las llanuras aluviales son frecuentes, representando una importante trampa de sedimentos. Esta retención de sedimentos se encuentra intensificada por la presencia de varios embalses, azudes y centrales hidroeléctricas a lo largo de su recorrido, entre los que destacan el embalse de Cohilla y los azudes de La Lastra y Palomera. Esta regulación hidrológica

ha disminuido considerablemente las avenidas en el río Nansa (Frances, 1987) y con ello, el aporte de sedimentos hacia los tramos bajos de la cuenca.

En la Cuenca del río Deva, las litologías más blandas de su cabecera aportan gran cantidad de sedimento y la mayor parte del mismo no es depositado hasta atravesar los tramos encañonados existentes sobre las litologías calcáreas, concretamente a partir de la confluencia entre el río Cares y el río Deva. Desde esta confluencia hacia los tramos más bajos de la red hidrológica, se concentran la mayor parte de llanuras aluviales de la cuenca, mucho menos abundantes que en la cuenca del Nansa (Fig. 4).

Con el fin de realizar una aproximación a la dinámica hidrológica de ambas cuencas y poder comparar sus resultados, se ha realizado un análisis de los datos de aforo disponibles para los ríos Deva y Nansa y proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Norte de España, que abarcan el periodo comprendido entre 1969/70 y 1994/95. Los valores de caudal medio obtenidos a partir de los registros, extrapolados al total de la cuenca, son de 42,17 m<sup>3</sup>/s para el río Deva y 16,65 m<sup>3</sup>/s para el río Nansa (Tabla I). El caudal medio máximo para el río Deva es de 105,84 m<sup>3</sup>/s, también muy superior a los 31,22 m<sup>3</sup>/s del Nansa.

	Deva	Nansa
Área de la cuenca fluvial(km <sup>2</sup> )	1210	427
Caudal Medio (m <sup>3</sup> /s)	42,17	16,65
Caudal Medio Máximo (m <sup>3</sup> /s)	105,84	31,22

Tabla I. Datos medios de caudal de los ríos Deva y Nansa.

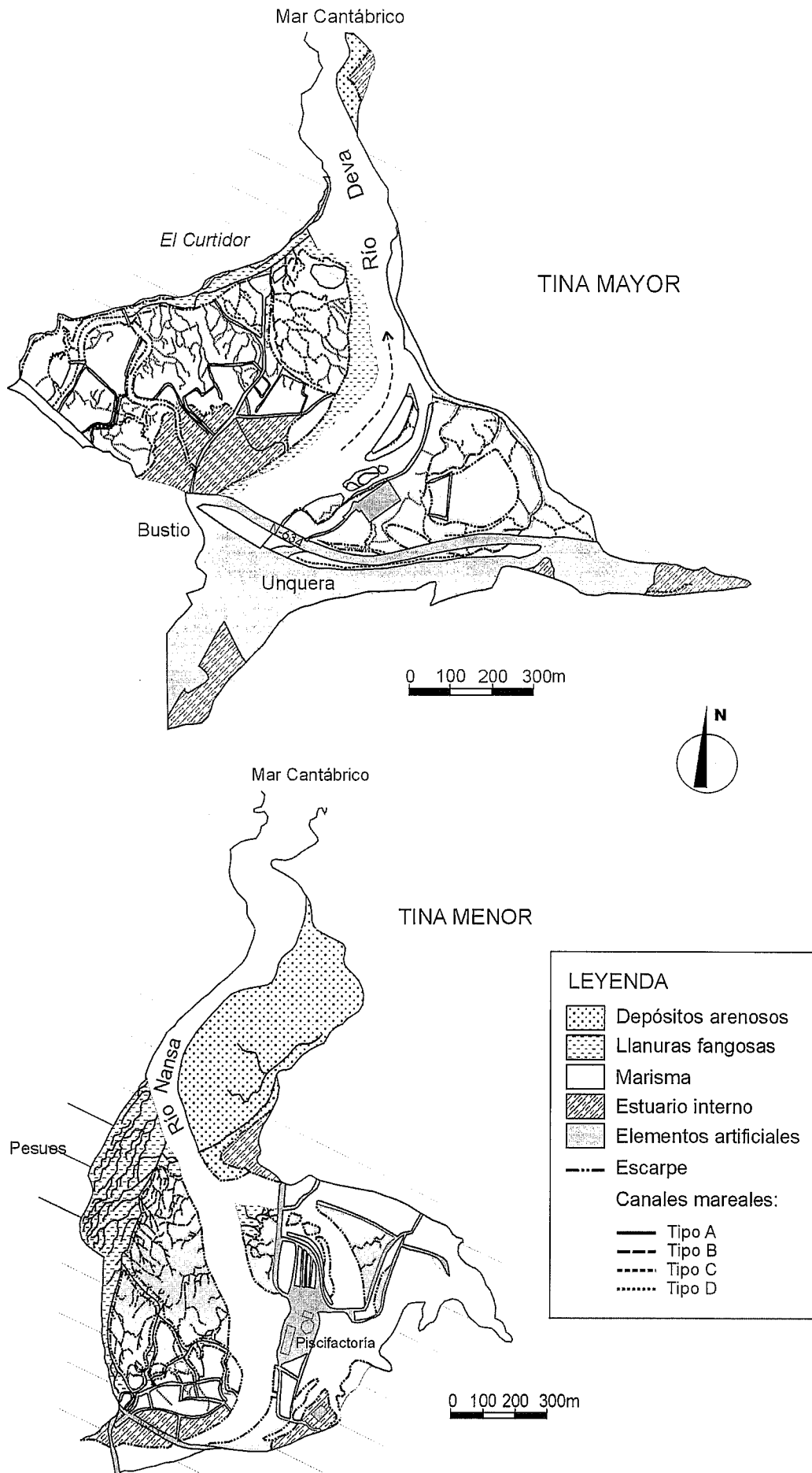


Figura 5.- Cartografía geomorfológica de los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor.

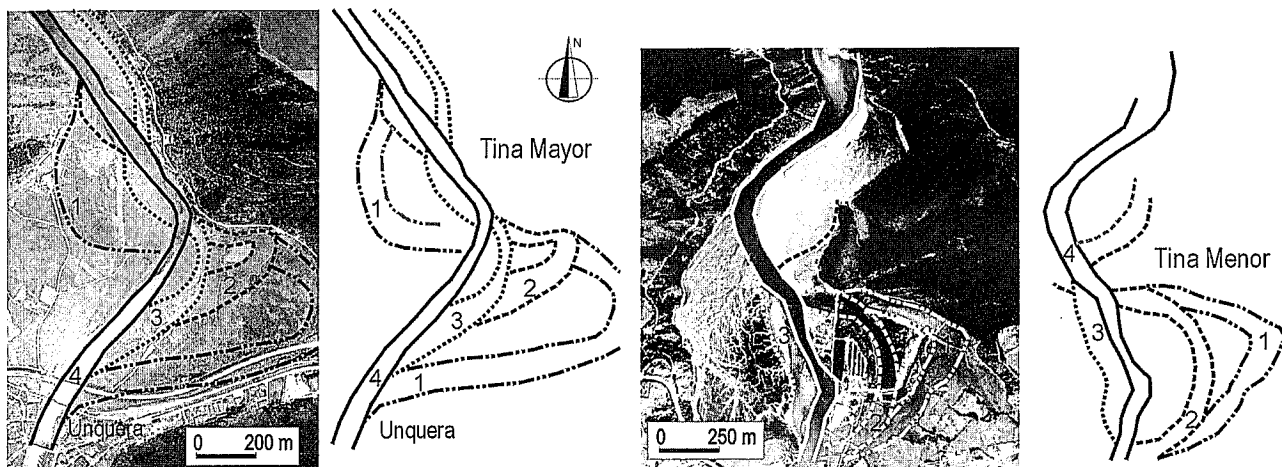


Figura 6.- Variación en el trazado de los ríos Deva y Nansa dentro del sector estuarino, desde la posición más antigua (1) hasta adquirir la configuración actual (4).

### La dinámica fluviomareal: características geomorfológicas

Aunque ya es conocido que la costa Cantábrica es de tipo mesomareal, con un rango que varía entre los 2 y 4 m de altura, se ha estimado para este trabajo, basándose en datos del puerto de Gijón, la altura media y máxima de las pleamares para el año 2001, resultando los valores de 2 y 3,1 m respectivamente.

En la mayoría de los estuarios cantábricos, la componente fluvial es mucho más importante que la mareal. En esta situación, la posición alcanzada por la cuña de agua salada u onda salina a lo largo del cauce se separa notablemente del lugar hasta el que la pleamar, u onda mareal, se deja sentir. Es precisamente esta delimitación de la onda mareal en los estuarios la que sirve de base para definir los deslindes establecidos en la Ley de Costas.

Este predominio de la componente fluvial se manifiesta claramente en el estuario de Tina Mayor, donde el alto caudal aportado por el río Deva en relación con el reducido prisma de agua salada que penetra en el estuario, es responsable de que nos encontremos, de acuerdo con la clasificación de Prichard (1967), ante un estuario altamente estratificado la mayor parte del tiempo. La cola estuarina a lo largo de este río se localiza a 7,5 km de la desembocadura, en la Toral de San Pedro (Flor, 1992). Aunque no existen estudios en el estuario de Tina Menor, puede asumirse un comportamiento similar al de Tina Mayor, situándose la cola estuarina a 6 km de la desembocadura, en la localidad de Muñorrodero.

Para poder realizar una descripción detallada de los ambientes estuarinos y definir unidades en función de su influencia mareal en el entorno de la desembocadura de los ríos Deva y Nansa, se ha procedido a la identificación sistemática de los rasgos y unidades geomorfológicas más características de los estuarios. Para ello se parte de la cartografía de llanuras intermareales desnudas, marismas inferiores y marismas superiores. Pero

esta tarea no consiste en una simple identificación de los ambientes anteriormente mencionados sino que es imprescindible la cartografía de los elementos artificiales que puedan modificar el avance natural de las mareas dentro del estuario, alterando la frecuencia de inundación de los terrenos y, por lo tanto, induciendo cambios en la hidrodinámica, en la vegetación y en las características morfológicas, sobre todo en la red de canales mareales.

Las unidades cartografiadas se han agrupado en tres categorías: unidades sedimentarias, formas erosivas y elementos artificiales (Fig. 5).

#### Unidades sedimentarias

Se han incluido en este capítulo las unidades sedimentarias recientes derivadas de la dinámica fluvial y marina, diferenciando entre llanuras intermareales fangosas, depósitos arenosos y marismas.

*Llanuras intermareales fangosas.* Son superficies planas formadas fundamentalmente por fangos y limos, así como arenas finas y muy finas acumuladas por decantación y con abundante materia orgánica. Se desarrollan en la zona intermareal inferior, donde la duración y elevada frecuencia de la inundación mareal limitan el desarrollo de una densa cubierta vegetal (Viles y Spencer, 1995), aunque suelen aparecer comunidades vegetales de poco porte tales como matas de algas (Moody, 1978; Coles, 1979; Hutchinson, 1982) y comunidades de plantas pioneras en las zonas superiores en transición con la marisma (Luternauer *et al.*, 1995) tales como *Aster Tripolium*, *Scirpus maritimus* var. *compactus* y *Triglochin maritima* (Bueno Sánchez, 1997).

Este tipo de ambientes suele limitar valle arriba con marismas y el contacto entre ambos puede ser gradual (Viles y Spencer, 1995; Luternauer *et al.*, 1995) o bien abrupto, marcado por un escarpe (Allen, 1989; Moreira, 1992; Allen y Pye, 1992; Marquín *et al.*, 1999). En los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor aparecen

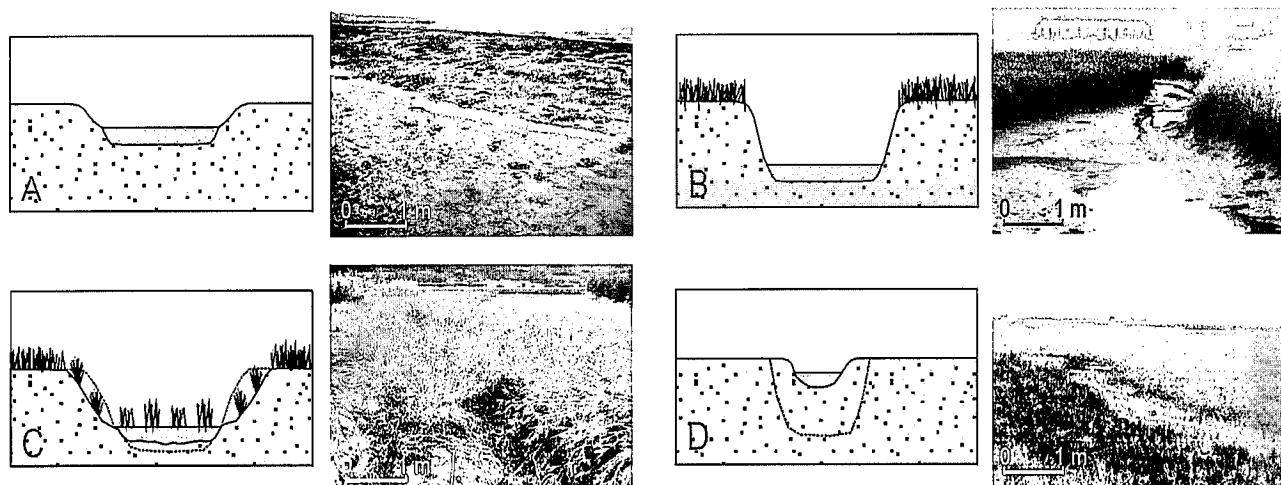


Figura 7.- Clasificación de los canales mareales en función de sus características morfológicas y dinámicas.

representados ambos tipos de contacto, aunque la frecuente presencia de estas llanuras fangosas en el lecho de los canales mareales hace que el contacto con la marisma se produzca, frecuentemente, a través de los escarpes abruptos que conforman las orillas de los canales, escarpes favorecidos por la estabilización del sedimento que ejerce la vegetación marismeña.

En los estuarios analizados las llanuras intermareales fangosas aparecen ocupando los sectores más próximos a la bocana del estuario. Sin embargo, la extensión observada es muy diferente. En el Estuario de Tina Mayor apenas se encuentran representadas, localizándose en los bordes del canal principal y en el lecho de los canales mareales. En Tina Menor la extensión es mucho más importante, sobre todo en el borde occidental del estuario en el que ocupa una banda alargada asociada al canal mareal principal y seccionada por una densa red de canales mareales de elevada sinuosidad (Fig. 5).

**Depósitos arenosos.** En ambos estuarios aparecen barras intermareales próximas a la bocana, con morfología de tipo *point bar*, formadas mayoritariamente por arenas, con presencia de cantos en Tina Mayor y de limos y arcillas en Tina Menor. En este último estuario aparece una gran barra, desprovista de vegetación, en la que se puede observar morfologías poco marcadas de canales mareales (Fig. 5). Como en la gran mayoría de las desembocaduras del Cantábrico, el predominio del oleaje del noroeste favorece que el canal de desembocadura se ubique en la margen occidental (Fontan, 2001), bordeando las barras mencionadas.

**Marismas.** Las marismas constituyen los ambientes más característicos de los estuarios y su correcta delimitación, sobre todo en los sectores más internos del estuario, constituye una tarea difícil de abordar desde el punto de vista geomorfológico debido a la transición gradual que tiene lugar entre el ambiente marino y el terrestre. En estos ambientes, desarrollados cuando las llanuras mareales fangosas alcanzan un nivel, relativo a

las mareas, que permite la colonización por vegetación subaérea tolerante a la salinidad, se produce una estabilización de la superficie a medida que ascendemos en altura, favorecida en parte por la retención del sedimento que ejercen las raíces de la vegetación. En ambos estuarios se ha separado entre marisma baja y alta (Viles y Spencer, 1995; Zazo y Goy, 1994; Luternauer *et al.*, 1995; Trenhaile, 1997) basándose en las siguientes características generales:

a) Las marismas bajas o pioneras ocupan la zona intermareal media superior, muestran una inundación relativamente constante y una densa red de canales mareales sinuosos. Esta elevada frecuencia de inundación mareal limita el aprovechamiento de estos terrenos para su uso agropecuario.

b) Las marismas altas o maduras se sitúan en el sector más elevado de la zona intermareal, siendo inundada menos frecuentemente, aunque algunos autores apuntan que sólo se inundan durante las pleamares vivas (Zazo y Goy, 1994). En esta zona los canales mareales son menos abundantes que en la marisma inferior, encontrándose menos ramificados y desarrollando formas más rectilíneas. Estas características favorecen el uso agropecuario de esta unidad.

En los estuarios analizados, el desarrollo y distribución de las marismas es marcadamente diferente. En Tina Menor la marisma más extensa aparece en la margen occidental del río, seccionada por una densa red de canales mareales muy sinuosos, mientras que en la ensenada oriental sólo aparecen pequeños fragmentos con escasos canales mareales, permaneciendo el resto de la zona sumergida. En Tina Mayor se encuentra más desarrollada, alcanzando mayor extensión en la margen oriental del río Deva, en el sector menos antropizado (Fig. 5). En Tina Mayor y Tina Menor, como corresponde a estuarios con una importante componente fluvial, se desarrollan predominantemente marismas de tipo subhalófilo, principalmente internas y sólo localmente externas, estas últimas con mayor representación en Tina Menor.



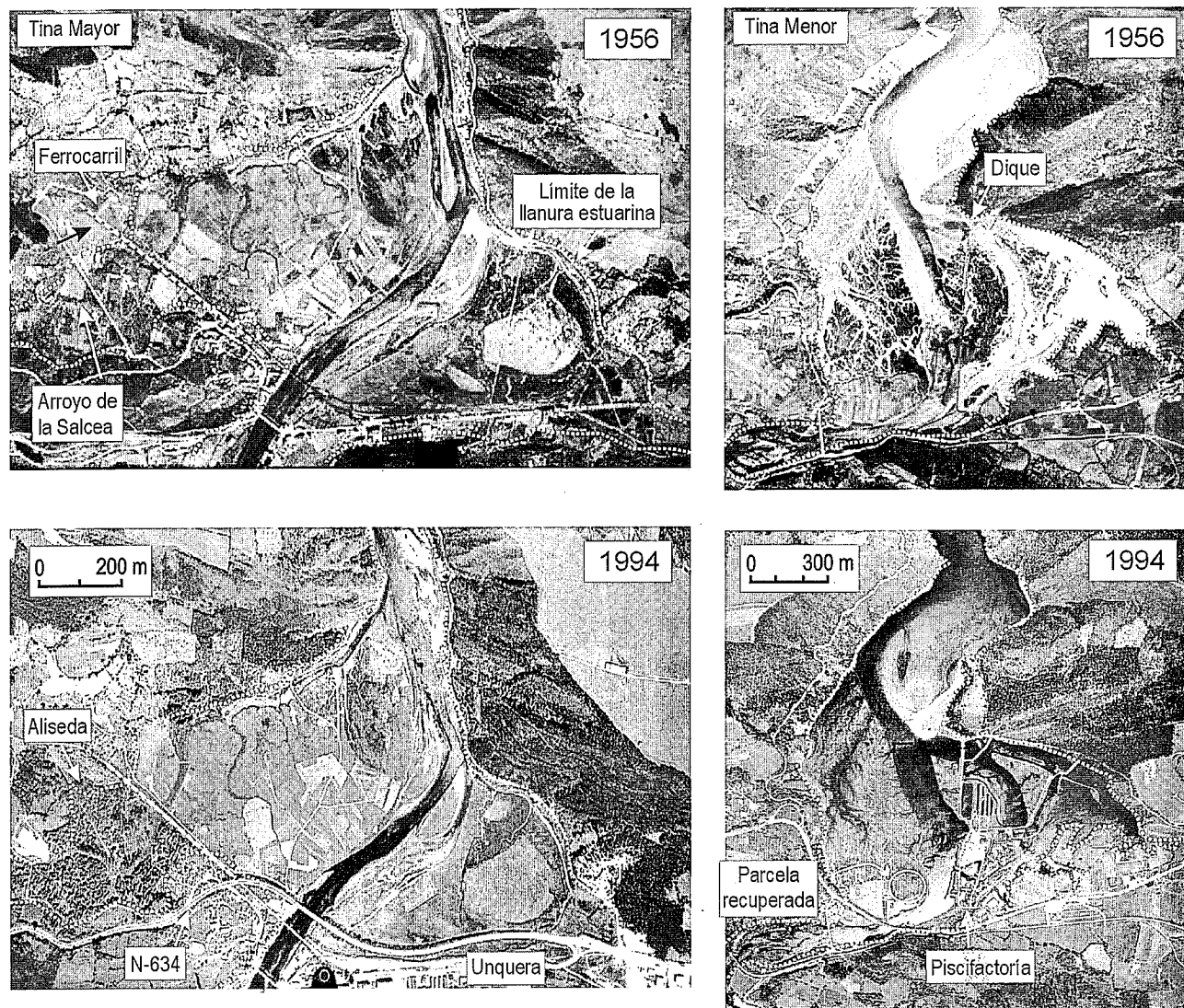


Figura 8.- Imagen más antigua y reciente analizada en el presente trabajo, correspondientes a los años 1956 y 1994. Se señalan elementos artificiales y algunos de los cambios más significativos.

#### Formas erosivas

Se incluyen dentro de este grupo aquellas formas de erosión ligadas a los canales fluviales y mareales, dedicando un apartado especial a los escarpes en general, tanto activos como inactivos.

**Canales fluviales.** En el ámbito de éstos canales fluviales se han separado dos zonas: una corresponde al canal de estiaje o de aguas bajas y la otra al canal de crecida o de aguas altas, delimitado exteriormente por escarpes.

El rasgo más característico y común en ambos estuarios es la presencia en sus ensenadas orientales de grandes canales fluviales parcialmente abandonados. Basándose en la cartografía de los escarpes erosivos asociados a ellos, las diferencias de altura observadas en los mapas topográficos así como las secuencias de corte entre escarpes, se han elaborado esquemas que muestran las diferentes posiciones que han ido adquiriendo los ríos Deva y Nansa, desde cursos marcada-

mente meandriformes hasta configurar sus trazados actuales, mucho más rectilíneos (Fig. 6).

Estas morfologías ligadas a las antiguas posiciones del cauce fluvial han condicionado en gran medida el desarrollo de determinados ambientes intermareales. Mientras que en Tina Menor estas depresiones relictas se encuentran sumergidas gran parte del tiempo debido al represamiento ejercido por los diques ligados a la piscifactoría, en Tina Mayor han sido aprovechadas por canales mareales, desarrollando ambientes propios de marisma que se adaptan claramente a estos trazados antiguos. Los escarpes que los delimitaban, cuya morfología aun se conserva, separan actualmente terrenos ubicados a distintas alturas y con una dinámica mareal diferente, frecuentemente marismas inferiores y superiores.

**Los canales mareales.** La red de canales mareales es un componente clave para realizar la zonación morfodinámica de los estuarios ya que la presencia de estas formas nos indica la existencia de una marcada influencia

	Tina Mayor %	Tina Menor %
Extensión del área ocupada por edificaciones e infraestructuras	19,2	2,4
Extensión del área reclamada para uso agropecuario	37,8	7,6
Área parcialmente alterada	19,6	26,6
Área estuarina natural	23,4	63,4

Tabla II. Áreas naturales y alteradas por el hombre en los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor.

mareal. En líneas generales, el lecho de estos canales se caracteriza por estar prácticamente desprovisto de vegetación en las zonas intermareales más bajas, debido a la actividad continuada de las mareas y, a medida que nos adentramos hacia sectores internos de los estuarios, la densidad de vegetación halófila dentro de los mismos aumenta con la disminución de la actividad mareal. En esta transición también se producen cambios morfológicos en las orillas de los canales, encontrándose pobremente definidas sobre las llanuras fangosas mientras que a medida que se adentran en la marisma, el atrapamiento del sedimento por parte de la vegetación proporciona mayor estabilidad a las márgenes (Allen, 1989), produciéndose el encajamiento de los canales y un aumento en la pendiente de las orillas. Aguas arriba del valle fluvial adquieren trazados más rectilíneos, se reduce el número de tributarios y disminuyen su profundidad hasta desaparecer.

A la hora de realizar una zonación morfodinámica de los terrenos estuarinos, en la separación de unidades resulta especialmente útil la clasificación de los canales en función de sus características morfológicas, debido a su relación con la dinámica mareal. Por este motivo, se han diferenciado cuatro tipos de canales mareales (Fig. 7). En el área de mayor actividad mareal los canales muestran orillas suaves y fondos fangosos dentro de la llanura intermareal (Fig. 7A). Aguas arriba, se mantiene el fondo fangoso pero las orillas son ligeramente más elevadas y pendientes (favorecido por la estabilización del sedimento por parte de la vegetación) y ahora es la marisma quien limita con los bordes del canal (Fig. 7B). A medida que nos adentramos hacia sectores más internos del estuario, la vegetación halófila coloniza el lecho de los canales, evidenciando una disminución de la actividad mareal (Fig. 7C). El último estadio está representado por canales mareales parcialmente colmatados, de pequeño tamaño y con márgenes suavizadas por el enterramiento (Fig. 7D). Colindando con los dos primeros tipos de canales aparecen ambientes con elevada frecuencia de inundación mientras que los dos últimos aparecen frecuentemente dentro de marismas superiores o en terrenos con baja influencia mareal.

En la cartografía realizada se han clasificado los canales en función de estas tipologías, de modo que es frecuente encontrar representadas las cuatro clases dentro de un mismo canal mareal, variando de un tipo a otro desde los sectores inferiores hacia los más altos en función de la frecuencia de inundación mareal (Fig. 5). En ocasiones, a lo largo de algunos canales en Tina Mayor se producen cambios bruscos en relación con la presencia de diques y compuertas transversalmente a

los cauces, provocando una disminución en la influencia mareal que se traduce en la colonización del lecho por la vegetación, pasando desde canales tipo A a canales tipo C.

Si observamos la Fig. 5, correspondiente a los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor, podemos comprobar cómo los tipos de canales presentes en ambos estuarios son marcadamente diferentes. En Tina Mayor se encuentran bien representados todos los canales descritos a excepción de la tipología A, lo que se relaciona con la escasa presencia de llanuras fangosas en el mismo. Los canales de tipo D, asociados con una dinámica mareal menor, son los más abundantes. Estas características contrastan con el Estuario de Tina Menor en donde predominan los canales A y B, siendo escasos los canales de tipo D y no aparecen representados los de tipo C, posiblemente relacionado con la ausencia de diques y presas transversales a los canales más activos.

*Escarpes.* Son formas naturales, distribuidas en los terrenos estuarinos analizados, que se manifiestan como escalones de entre 0,5 y 3,5 m de altura y cuyos cambios de pendiente se producen bien de manera brusca o de modo gradual. El interés de estas formas en el presente trabajo radica en su importancia a la hora de separar ambientes y unidades morfodinámicas dentro del estuario y, consecuentemente, con diferente actividad mareal. Los escarpes abruptos y de mayores dimensiones aparecen, en ambos estuarios, en las orillas de los canales fluviales y canales mareales actualmente activos mientras que los de pendiente más suave y desnivel inferior, en torno al medio metro, se localizan en Tina Mayor, ubicados a alturas en torno a los 3 m separando la marisma activa de terrenos desligados de la dinámica mareal.

En la numerosa bibliografía existente sobre estuarios se han identificado frecuentemente escarpes separando la llanura fangosa y la marisma inferior (Allen, 1989; Moreira, 1992; Allen y Pye 1992), la marisma inferior y la superior (Luternauer *et al.*, 1995; Zazo y Goy, 1994) y separando marismas activas de las inactivas o fósiles (Allen, 1989). A pesar de que el presente trabajo no se centra en la interpretación de estas formas, cabe destacar que morfologías comparables a las reconocidas en Tina Mayor, concretamente algunas de las terrazas asociadas a estos escarpes, ubicadas a 1,5-3 m de altura y datadas en algunos puntos entre 5.880 y 4.770 B.P. (Mary, 1979 y 1985), han sido interpretadas en otros estuarios como formas relacionadas con la transgresión Flandriense, tanto en el Cantábrico (Mary, 1971, 1979 y 1985; Rodríguez Asensio y Flor, 1979;

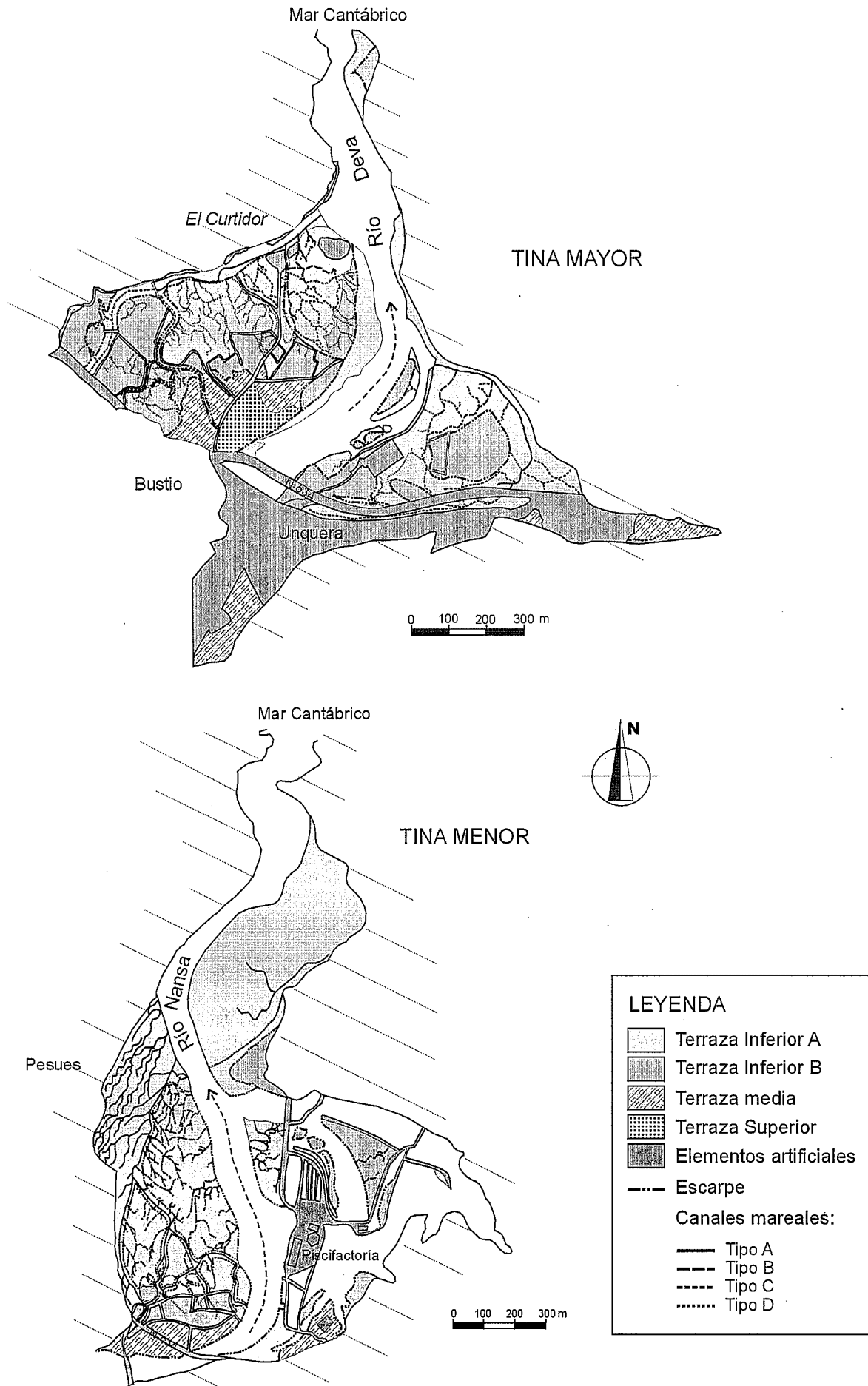
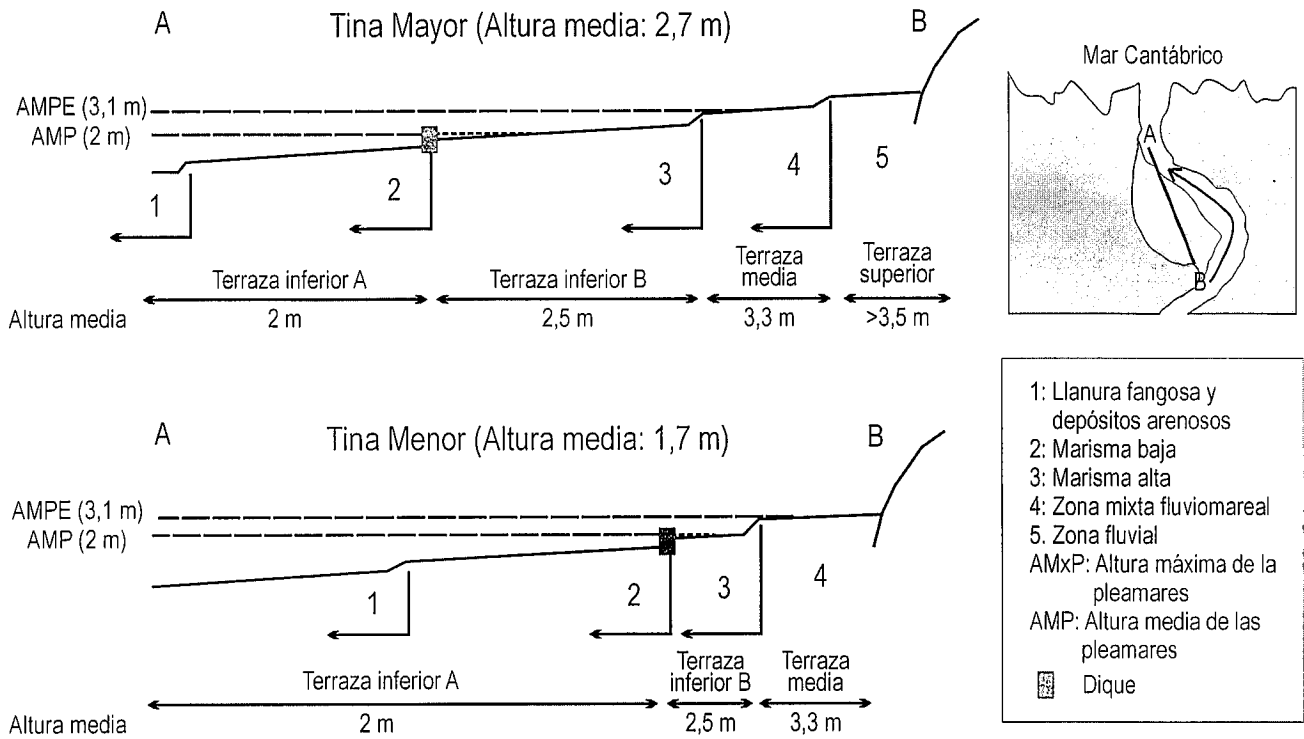


Figura 9.- Zonación morfodinámica de los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor.



**Figura 10.-** Perfiles esquemáticos de los terrenos estuariales situados en las ensenadas occidentales de Tina Mayor y Tina Menor. Se relaciona la altura de las pleamares con la de las terrazas separadas en la zonación morfodinámica.

Moñino, 1986; Moñino *et al.*, 1988) como en la costa Atlántica del SO peninsular (Zazo *et al.*, 1994).

### Antropización de los estuarios

La contribución exacta de la actividad humana sobre un estuario puede ser difícil de determinar al influir tanto las modificaciones impuestas directamente como aquellas efectuadas sobre la cuenca hidrográfica. Sin embargo, para determinar la dinámica natural estuarina, el primer paso es analizar las obras artificiales ubicadas directamente en el estuario y su efecto sobre la misma.

El impacto producido por una obra artificial varía en función de su dimensión y rigidez y del grado de interferencia en los procesos mareales. Por este motivo, las actuaciones humanas realizadas sobre los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor se tratan por separado en función de estas características, distinguiendo por una parte las edificaciones e infraestructuras viarias, y por otra, las presas, los muros y los canales mareales artificiales. En líneas generales, la alteración antrópica ha sido más intensa y generalizada en el Estuario de Tina Mayor, manteniéndose la dinámica natural en gran parte de Tina Menor (Tabla II).

#### Edificaciones e infraestructuras viarias

Las edificaciones urbanas e industriales, las carreteras y las vías de ferrocarril, constituyen elementos de gran impacto en los estuarios analizados, no sólo porque inactivan los terrenos sobre los que se ubican de

modo prácticamente irreversible, sino también porque inducen el desecado de aquellos situados aguas arriba de los mismos. Los ejemplos más notables están en el Estuario de Tina Mayor, en donde las poblaciones de Bustio y Unquera se ubican sobre marismas hoy día inactivas. Asimismo, la carretera N-634 y la vía de ferrocarril FEVE (Oviedo - Santander), a pesar de que el grado de ocupación en el estuario es menor en comparación con los núcleos rurales, han facilitado el aislamiento y desecación de marismas situadas aguas arriba (Fig. 8).

#### Presas, muros y red de canales mareales artificiales

Las alteraciones humanas derivadas de la instalación de estas estructuras artificiales son importantes en los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor. El principal objetivo de estos elementos es potenciar el uso agropecuario al represar el avance de las mareas vivas y equinocciales.

Los muros de represamiento mareal y los canales mareales artificiales aparecen en ambos estuarios, siendo mucho más abundantes en la ensenada occidental de Tina Mayor (Fig. 5). La canalización de las mareas a lo largo de canales artificiales, la mayoría de las veces colocados paralelamente a los diques, y la desecación inducida aguas arriba de los muros y presas, sobre todo cuando están colocados transversalmente a canales mareales activos, han provocado una brusca disminución en la frecuencia de inundación mareal y el parcial abandono de los canales mareales naturales situados aguas arriba, adquiriendo muchas veces morfologías tipo D.

En Tina Menor, la construcción de un muro de aislamiento a principios del siglo XX y la instalación de una piscifactoría en la margen derecha al canal principal en el año 1973, han supuesto un notable cambio en el estuario, no sólo por la superficie rellenada y por la retirada de sedimentos realizada para ampliar el área inundable, sino también porque la colocación de muros y compuertas, modificando notablemente el funcionamiento hidrodinámico de la ensenada. La consecuencia derivada de este aprovechamiento ha sido el desecado parcial de los parches de marisma que han quedado encerrados dentro de esta piscifactoría.

#### *Evolución reciente de Tina Mayor y Tina Menor*

La evolución más reciente de Tina Mayor y Tina Menor, registrada mediante el análisis de diferentes colecciones de fotografías aéreas desde el año 1956, muestra como los cambios más importantes en estos estuarios están relacionados con la instalación de elementos artificiales (Fig. 8). Los elementos introducidos durante este periodo han sido, en Tina Mayor, la instalación de un campo de fútbol y la ocupación por parte de la carretera N-634 en el sector sur de la ensenada oriental. En la ensenada occidental, la vía ferroviaria ubicada transversalmente a la desembocadura del arroyo de la Salcea ha aislado un amplio sector de la influencia mareal, propiciando el encharcamiento fluvial de la zona y la construcción de una aliseda pantanosa (Fig. 8). Otras alteraciones en este estuario, como la desecación de marismas activas por las edificaciones urbanas de Unquera y Bustio, son previas a las fechas analizadas.

En Tina Menor el cambio más importante es el relleno y extracción de sedimentos que efectuó la piscifactoría en la ensenada oriental, cuyas consecuencias han sido descritas anteriormente. Por otro lado, el abandono y rotura de algunos diques de represamiento mareal ha favorecido la parcial recuperación por las mareas de algunas parcelas con respecto a su situación en el año 1956 (Fig. 8).

En ambos estuarios destaca el uso de terrenos como praderías, favorecido por la instalación, previamente al año 1956, de muros, rellenos, presas y canales mareales artificiales que restringen y canalizan la inundación mareal, siendo mucho más importante en Tina Mayor. También existen plantaciones agrícolas en los sectores más elevados del estuario de Tina mayor, las cuales muestran, en comparación con el resto de parcelas y campos presentes en el estuario, una distribución que ha permanecido más organizada durante el periodo de tiempo analizado.

Por otra parte, las fotografías aéreas analizadas, independientemente de la variabilidad del caudal fluvial, del estado de las mareas y de las alteraciones humanas descritas, reflejan una tendencia a la desecación, no sólo de aquellos terrenos ligados a estructuras artificiales sino que es un fenómeno que se observa a largo de las marismas presentes en ambos estuarios (Fig. 8).

#### **Zonación Morfodinámica**

La utilización de criterios geomorfológicos permite diferenciar áreas con diferente frecuencia de inundación mareal debido a que las unidades sedimentarias y las formas erosivas cartografiadas, expresiones superficiales de los procesos mareales activos, son indicadores de la recurrencia e importancia de la onda mareal. La elección del criterio geomorfológico frente a otros, como la cartografía de vegetación halófila ó subhalófila, resulta muy ventajosa en estuarios en los que la componente fluvial es importante, ya que estos últimos son indicadores exclusivamente del alcance de la influencia salina y no de la totalidad de la onda mareal.

Conocer y zonificar los terrenos de los estuarios atendiendo al alcance de la onda mareal, así como identificar el área desecada artificialmente en los mismos, es un trabajo de especial interés debido no sólo a la necesidad de conocer el funcionamiento de un sistema que tiene gran valor ambiental y social, sino a que es imprescindible en el deslinde del Dominio Público Marítimo Terrestre en España, basado en el alcance natural de las mareas y, en definitiva, en el conocimiento de la dinámica estuarina.

Basándose en la altura alcanzada por las pleamares y en la frecuencia de inundación mareal obtenida a partir de la interpretación conjunta de unidades sedimentarias, formas erosivas y elementos artificiales cartografiados en los estuarios de Tina Mayor y Tina Menor, se han diferenciado tres unidades morfodinámicas: a) Terraza superior, b) Terraza media y c) Terraza inferior, cuyas alturas disminuyen progresivamente hacia el Mar Cantábrico mostrando una influencia mareal progresivamente mayor (Fig. 9). Estas unidades pueden estar separadas por escarpes naturales que varían desde suaves rampas vegetadas a pendientes más verticales o por elementos artificiales (Fig. 10).

Terrazas delimitadas por escarpes naturales dentro de las llanuras intermareales ya han sido identificadas en la costa de Bretaña (Allen, 1987a, 1987b; Allen y Rae, 1987; Allen, 1989), en la costa atlántica de Francia (Rivière, 1948; Verger, 1968; Larsonneur, 1975; Bajard, 1986), en la costa cantábrica (Mary, 1971; Rodríguez Asensio y Flor, 1979; Moñino, 1986; Moñino *et al.*, 1988; Rivas y Cendrero, 1987; Cearreta *et al.*, 1992; Marquínez *et al.*, 1999) y en la costa atlántica gaditana (Gracia y Benavente, 2000).

#### *Terraza inferior*

Esta unidad alberga los terrenos con claras evidencias de inundación mareal. Representa el área más deprimida del estuario, situándose entre 0 y 3 m de altura, con un valor medio en torno a los 2,2 m. Debido a que la altura media de las pleamares es de 2 m, gran parte de estos terrenos se ven afectados muy frecuentemente por las mareas. Esta terraza se caracteriza por la presencia de canales mareales activos, tanto naturales como artificiales. Las áreas deprimidas que tienen co-

municación con estos canales se encharcan periódicamente durante las mareas, y por lo tanto, han sido igualmente incluidas en esta unidad. La frecuencia de inundación a lo largo de esta terraza se encuentra condicionada por pequeñas variaciones en la altura de los terrenos y por la presencia de muros artificiales que represan el avance mareal. Basándose en estas diferencias se ha procedido a la subdivisión de esta unidad en terraza inferior A y B.

La terraza inferior A se corresponde con los sectores que son inundados por las pleamares medias. La altura media de los terrenos es de 2 m y se caracterizan por la presencia de numerosos canales mareales, generalmente de tipo A, B y C. Esta unidad abarca los depósitos arenosos desprovistos de vegetación, las llanuras intermareales fangosas y la marisma inferior o juvenil. En los dos últimos ambientes se han identificado algunas formaciones de seda de mar estrecha (*Zostera noltii*), existiendo un claro predominio de las comunidades vegetales pertenecientes a los complejos de vegetación de marisma interna subhalófila como los cañaverales anfibios de carrizo (*Phragmites australis*), los juncuales marítimos (*Juncus maritimus*) y los herbazales de lastón de marismas (*Elymus pycnanthus*). En Tina Menor aparece además la especie exótica invasora *Baccharis halimifolia*. Estas características impuestas por la elevada frecuencia de inundación limitan el aprovechamiento agropecuario de esta unidad.

La terraza inferior B presenta una altura media de 2,5 m y se caracteriza por la abundancia de canales tipo D. Se inunda durante las pleamares vivas lo que permite el uso agropecuario de los terrenos. El contacto entre la terraza A y B puede ser gradual ante condiciones naturales, o producirse de manera brusca a través de elementos artificiales. En este último caso, y a pesar de muchas veces apenas existe diferencia de altura a ambos lados de los diques, la dinámica mareal en la terraza B es notablemente inferior, inundándose casi exclusivamente durante pleamares equinocciales. Los terrenos de esta terraza representan la marisma superior o madura, parcialmente desecada por la presencia de los elementos artificiales que han impuesto notables diferencias en el tipo de vegetación, en la morfología de los canales y en los usos del suelo con respecto a la terraza A. La vegetación característica son gramales de *Paspalum vaginatum* y comunidades de cótula (*Cotula coronopifolia*). Ocasionalmente, en los terrenos más alejados de los canales mareales más activos y limitados por diques, no aparece vegetación halófila pero la presencia de canales con morfología del tipo D evidencia la afección reciente de estos terrenos por las mareas, motivo por el cual han sido incluidos en esta terraza.

La geometría de las terrazas inferiores A y B en las ensenadas orientales de ambos estuarios se adapta claramente a los antiguos trazados del cauce fluvial, de modo que en Tina Mayor, la terraza inferior A ocupa los fondos del canal mientras que la terraza de tipo B se restringe a las áreas intercanal más elevadas. En el caso de Tina Menor, los lechos de los antiguos trazados flu-

viales están casi permanentemente ocupados por las aguas, mientras que sobre las áreas intercanal o antiguas barras fluviales se desarrollan marismas de tipo A.

La extensión de la terraza inferior A en el estuario de Tina Menor es el doble que en Tina Mayor, mientras que en este último la terraza inferior B es casi seis veces superior que en Tina Menor (Fig. 10). Estas diferencias se reflejan en el tipo de canales, de modo que en Tina Mayor predominan las morfologías D, ligadas a una menor actividad mareal, mientras que en Tina Menor dominan las tipologías A y B más activas.

#### *Terraza Media*

Los terrenos correspondientes a la terraza media se sitúan a alturas entre 3 y 3,5 m con valores medios de 3,3 m. Solamente un 5% de los días del año se producen pleamares que superan los 3 m de altura, siendo la altura máxima de la pleamar de 3,1 m, lo que evidencia que solo una parte de estos terrenos se ven afectados por las pleamares equinocciales. La ausencia de vegetación halófila pone en evidencia que estos terrenos no son alcanzados por la onda salina, por lo que su inundación se debe fundamentalmente a la onda mareal. Los usos del suelo, en contraposición con la terraza inferior, muestran una distribución parcelaria mucho mejor definida. La presencia de canales mareales es muy escasa, observándose puntualmente algunas morfologías de canales inactivos.

El límite morfológico superior e inferior queda puesto en evidencia por la existencia de escarpes, por elementos artificiales y por cambios de pendiente graduales. Su extensión es considerablemente menor a la de la terraza inferior y se sitúa relativamente alejada de los canales con mayor actividad mareal. Esta terraza representa la zona de transición entre la terraza inferior, con clara influencia mareal, con la terraza superior, desligada de esta actividad y afectada fundamentalmente por avenidas fluviales.

#### *Terraza Superior*

Esta zona corresponde a los sectores más elevados dentro de la llanura aluvial, situados a cotas por encima de 3,5 m de altura, en los que no se han encontrado evidencias geomorfológicas de ser inundados durante las pleamares. Esta unidad ha sido cartografiada únicamente en el estuario de Tina Mayor (Fig. 9), donde se han encontrado los terrenos topográficamente más elevados y con un parcelario que, en comparación con el resto de los terrenos estuarinos, ha permanecido organizado a lo largo de los últimos 45 años, tal y como se desprende del análisis de fotografías aéreas. Estas características permiten un mayor aprovechamiento de los mismos, proliferando los cultivos agrícolas en contraste con las terrazas anteriores. El equivalente de esta terraza en Tina Menor se encuentra aguas arriba, fuera del área de estudio.

## Discusión y conclusiones

El estudio geomorfológico de dos estuarios cantábricos próximos entre sí como Tina Mayor y Tina Menor, muy similares en forma y tamaño y compartiendo el mismo entorno geológico y geomorfológico ha puesto de manifiesto las implicaciones ambientales producidas por la construcción de estructuras artificiales que desecan la marisma y potencian el uso agropecuario, fenómeno muy frecuente en los estuarios cantábricos.

Para establecer el grado de desecación impuesto por estas intervenciones, se ha desarrollado una metodología basada en la interpretación conjunta de los canales mareales, escarpes e infraestructuras humanas y apoyada con fotografías históricas desde el año 1956, en detallados mapas topográficos y en la altura de las pleamares. Como resultado se ha obtenido una zonación morfodinámica que permite dividir los terrenos estuarinos en tres terrazas: superior, media e inferior, cuyas alturas disminuyen hacia el mar y muestran una influencia mareal progresivamente mayor. La primera representa aquellos terrenos desligados de la influencia mareal, mostrando características propias de los medios fluviales. La terraza inferior alberga los terrenos con claras evidencias de inundación mareal mientras que la terraza media representa la zona de transición entre las dos anteriores.

La terraza inferior ha sido subdividida en las unidades A y B, separadas principalmente por estructuras artificiales y en las que existen notables diferencias en la frecuencia de inundación mareal. De las características morfológicas y dinámicas analizadas en el presente trabajo, se desprende que la terraza inferior B representa el área del estuario que ha sido artificialmente desecada, ya que de no ser por la presencia de estructuras artificiales en sus lindes, mostraría unas características más similares a la terraza inferior A.

Esta metodología constituye una experiencia de interés, sobre todo en estuarios en los que la componente fluvial es importante y, consecuentemente, el ascenso de la onda mareal es netamente mayor al de la onda salina. En este tipo de estuarios, la vegetación halófila es un indicador restringido a las zonas que se ven afectadas por el prisma salino, mientras que la metodología presentada en este trabajo permite identificar los terrenos afectados por la onda mareal, incluidos en la terraza inferior B y en la terraza media. La identificación de los sectores desecados artificialmente y que deberían ser afectados por la onda mareal ante condiciones naturales, refuerza el método y proporciona las bases que la Ley de Costas requiere en el deslinde del Dominio Público Marítimo-Terrestre, habiendo sido utilizado en algunos de los estuarios de Asturias.

Otros autores han identificado terrazas de este tipo, ubicadas a alturas entre 2 y 3 m, en varios estuarios cantábricos (Moñino, 1986; Cearreta *et al.*, 1992) como en Merón, La Jerra, Verdicio, Eo (Mary, 1979, 1983 y 1985), Bañugues (Hoyos, 1987) y en la ría de Cabo Quejo (Rivas y Cendrero, 1987). Estos autores han relacionado estas terrazas con la transgresión Flandriense, la cual supuso el relleno de las áreas de desembocadura de los cauces flu-

viales para constituir estuarios de dimensiones mayores a las actuales. Las alturas de las terrazas descritas por estos autores son coincidentes con las de las terrazas inferior y media descritas en el presente trabajo. Además, en la ría de Cabo de Quejo, se detalla la presencia de un escarpe de 1 m de altura que separa la terraza Flandriense de terrenos estuarinos inferiores, escarpe comparable al que separa la terraza media de la terraza inferior B. No obstante, queda pendiente la realización de estudios sedimentológicos y dataciones para poder confirmar esta posible relación con la transgresión Flandriense.

La terraza superior, ubicada a mayor altura que las descritas anteriormente, muestra una superficie en continuidad con el resto de la llanura aluvial situada aguas arriba, lo que parece evidenciar que su origen responde a un proceso de agradación por inundación fluvial.

Por otro lado, los resultados obtenidos en los estuarios analizados muestran que la terraza inferior A es dos veces superior en Tina Menor, mientras que el resto de las terrazas, más elevadas, son hasta seis veces más extensas en Tina Mayor. Las diferencias entre ambos estuarios se reflejan también en la altura media de los depósitos, que es de 2,7 m en Tina Mayor frente al 1,7 m de Tina Menor (Fig. 10). Estas notables diferencias no responden a la desecación inducida por los elementos artificiales, cuya incidencia en la altura topográfica de los terrenos es despreciable a esta escala.

Dado que otras variables como las climáticas o la actividad del oleaje pueden considerarse comunes y que las diferencias morfológicas (como la diferente amplitud de las bocanas o las escasas diferencias en la morfología de los valles) tampoco parecen suficientes para explicar la distinta extensión de los ambientes estuarinos, todo apunta a que el principal factor condicionante debe encontrarse en las diferencias existentes entre los ríos Deva y Nansa, sus cuencas de drenaje y su distinto régimen y actividad hidrológico - geomorfológica.

En primer lugar, podemos observar cómo el río Deva presenta una cuenca hidrográfica que es casi tres veces mayor a la del río Nansa, así como una altitud y unas pendientes medias netamente superiores. Además, existen marcadas diferencias en los caudales medios y máximos de ambos ríos y en la magnitud de las avenidas. Estos datos, unido a que las zonas preferentes de sedimentación en el río Deva se localizan en los tramos más bajos de la cuenca, sugieren que este río ha aportado más sedimentos al estuario. Por otra parte, a la existencia de extensas llanuras aluviales en la cuenca del Nansa respecto a la del Deva, que han hecho de trampas de sedimento, se suma recientemente la presencia de varios embalses que no han hecho sino agudizar esta tendencia. El análisis de esta información apunta a que la dinámica fluvial parece ser el factor que favorece o impone restricciones a la explotación agropecuaria de los terrenos estuarinos, favoreciendo la colmatación y ocupación humana de los estuarios con cuencas fluviales más productivas en sedimentos. Por el contrario, las llanuras intermareales serán más importantes en estuarios asociados a cuencas fluviales menos productivas, y en

ellas la reclamación de terrenos exige de intervenciones más importantes.

Lateralmente al objetivo principal de este trabajo, se han identificado algunos aspectos relacionados con la dinámica marina de los estuarios que son de interés. Por un lado, en las fotografías aéreas disponibles de los estuarios desde el año 1956 (Fig. 8), se observa una ligera pero clara tendencia a la desecación general de las superficies estuarinas, independientemente de los elementos artificiales introducidos. Si además tenemos en cuenta que los cauces fluviomareales de la desembocadura han evolucionado desde un trazado marcadamente meandriforme hacia un trazado más rectilíneo (Fig. 6), todo parece apuntar hacia un incremento relativamente reciente de los procesos erosivos en ambos estuarios.

Entre las posibles causas de este aumento se descarta la incidencia de los elementos artificiales, tanto la retención sedimentaria de los embales en la cuenca del río Nansa, que sólo explicaría el fenómeno erosivo en Tina Menor, como las estructuras colocadas directamente sobre los estuarios, que sólo afectarían a una parte de los terrenos analizados y no a la totalidad.

Uno de los argumentos frecuentemente utilizados para explicar los cambios recientes en la relación erosión-sedimentación de las cuencas fluviales es el de los usos del suelo. El abandono progresivo de las tierras de labor desde aproximadamente mediados del siglo XX y la recuperación de la vegetación que podría derivarse de este hecho, implicaría una disminución en el aporte de sedimentos a la cuenca y el consiguiente aumento de la erosión, favoreciendo el encajamiento fluvial. Existe por otra parte, la posibilidad de que la elevación cortical posttectónica de la cordillera alpina, que afectó intensamente al sector central de la Cordillera Cantábrica durante el Terciario Superior y Cuaternario (Marquínez, 1992), continuará en el Holoceno (Flor, 1983; Rivas y Cendrero, 1987) e incluso, en la actualidad. Tanto el cambio reciente en los usos del suelo como la posible elevación isostática podrían actuar conjuntamente y explicar no sólo esta tendencia a la erosión, sino también el origen de las terrazas en los estuarios, aunque no existen datos hasta el momento que permitan demostrar y ponderar los efectos de cada uno de ellos.

### Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Javier Gracia y a un revisor anónimo los comentarios y críticas que sin duda han mejorado sustancialmente el trabajo. Asimismo, los autores desean expresar su agradecimiento a Rosana Menéndez Duarte por la elaboración de los modelos digitales del terreno y a Álvaro Bueno por su información a cerca de la vegetación de los estuarios. La investigación sobre zonación morfodinámica ha sido producto de los trabajos realizados para La Demarcación de Costas en Asturias por el INDUROT en numerosos estuarios cantábricos.

### Referencias

- Allen, J.R.L. (1987a): Late Flandrian shoreline oscillations in the Severn Estuary: the Rummey Formation at its typesite (Cardiff area). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B315: 157-184.
- Allen, J.R.L. (1987b): Reworking of muddy intertidal sediments in the Severn Estuary southwestern U.K.: a preliminary survey. *Sedimentary Geology*, 50: 1-23.
- Allen, J.R.L. (1989): Evolution of salt-marsh cliffs in muddy and sandy systems: a qualitative comparison of british west-coast estuaries. *Earth Surface Processes and Landforms*, 14: 85-92.
- Allen, J.R.L. y Pye, K. (1992): Coastal saltmarshes: their nature and importance. En: *Saltmarshes: Morphodynamics, conservation and engineering significance* (J.R.L. Allen, y K. Pye, Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 1-18.
- Allen, J.R.L. y Rae, J.E. (1987): Late Flandrian shoreline oscillations in the Severn Estuary: a geomorphological and stratigraphical reconnaissance. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B315: 185-230.
- Bajard, J. (1986): Figures et structures sédimentaires dans la zone intertidale de la partie orientale de la Baie du Mont-Saint-Michele. *Révue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique*, 8: 39-111.
- Barrois, C. (1882): Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice. *Mémoires de la Société Géologique du Nord*, 2(1), 630 p.
- Bueno Sánchez, A. (1997): Flora y vegetación de los estuarios asturianos. *Cuadernos de Medio Ambiente (Naturaleza)*. Vol. 3. Servicio de publicaciones del Principado de Asturias, 352 p.
- Cearreta, A. y Leorri, E. (2000): La transformación ambiental reciente de la Ría de Bilbao: indicadores micropaleontológicos en el registro sedimentario estuarino. *Naturalia Cantabrigiae*, 1: 21-31.
- Cearreta, A., Edeso, J. M. y Ugarte, F. M. (1992): Cambios del nivel del mar durante el cuaternario reciente en el Golfo de Bizkaia. En: *The Late Quaternary in the Western Pyrenean Region* (A. Cearreta y F. Ugarte, Eds.). Servicio Editorial Universidad del País Vasco, 57-94.
- Cearreta, A., Edeso, J.M., Merino, A., Ugalde, T. y Ugarte, F. M. (1991): Las dunas litorales de Barrika (costa occidental de Bizkaia). *Kobie*, 19: 77-83.
- Cearreta, A., Irabien, M. J., Leorri, E., Yusta, I., Croudace, I. W. y Cundy, A. B. (1999): Recent Anthropogenic impacts on the Bilbao Estuary, Northern Spain: Geochemical and Microfaunal evidence. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50: 571-592.
- Coles, S.M. (1979): Benthic microalgal populations on intertidal sediments and their role as precursors to salt marsh development. En: *Ecological Processes in Coastal Environments* (R.L. Jeffries y A.J. Davy, Eds.). Blackwell Scientific Publications, Oxford, 25-42.
- Compte, P. (1937): La série cambrienne et silurienne du Léon (Espagne). *Les Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 204: 604-606.
- Flor Rodríguez, G. (1992): Los estuarios. En: *Enciclopedia de la Naturaleza Asturiana* (La Voz de Asturias, Ed.), 3: 193-201.
- Flor, G. (1981a): Los parámetros texturales en las playas y dunas arenosas del borde occidental del Cabo Peñas (Xagó y Verdicio, Asturias). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 79: 89-102.
- Flor, G. (1981b): Las dunas eólicas costeras de la playa de Xagó (Asturias). *Trabajos de Geología*, 11: 61-71.
- Flor, G. (1983): Las rasas asturianas: ensayo de correlación y emplazamiento. *Trabajos de Geología*, 13: 65-81.
- Flor, G. y Cambor, C. (1989): Características dinámicas y sedimentológicas del estuario de Ribadesella (Asturias, N



- de España). *Trabajos de Geología*, 18: 13-36.
- Fontan, A. (2001): Estudio integral de los cambios producidos en el estuario de Tina Menor. *AquaTIC*, 13: 1-24.
- Frances, E. A. (1987): *Cartografía geocientífica integrada del Valle del Nansa: su relación con la cobertura vegetal y con la vocación del uso del territorio*. Tesis doctoral, Univ. de Oviedo, 550 p.
- Gracia, F.J. y Benavente, J. (2000): Geomorfología de la costa atlántica gaditana. En: *Geomorfología litoral: procesos activos* (J.R. de Andrés y F.J. Gracia, Eds). Instituto Tecnológico y Geominero de España, 237-255.
- Hoyos, M. (1987): Upper Pleistocene and Holocene marine levels on the Cornisa Cantábrica (Asturias, Cantabria and Basque country) Spain. En: *Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario* (C. Zazo, Ed.), 10: 251-258.
- Hutchinson, I. (1982): Vegetation-environment relations in a brackish marsh, Lulu Island, Richmond, B.C. *Canadian Journal of Botany*, 60: 452-462.
- Larsonneur, C. (1975): Tidal deposits, Mont Saint-Michel Bay, France. En: *Tidal Deposits* (R.N. Ginsburg, Ed.). Springer-Verlag, New York, 21-30.
- Luternauer, J.L., Rowland, J.A., Moody, A.I., Williams, H.F.L. y Gibson, J.W. (1995): Salt marshes. En: *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries* (G.M.E. Perillo, Ed.). Amsterdam, The Netherlands, 307-332.
- Marquínez, J. (1992): Tectónica y Relieve en la Cornisa Cantábrica. En: *The Late Quaternary in the Western Pyrenean Region* (Cearreta, A. y Ugarte, F.M., Eds.), Servicio de publicaciones del País Vasco, 141-157.
- Marquínez, J.; Fernández, E. y Fernández, S. (1999): Geomorphologic Criteria for the Morphodynamic zoning of Cantabrian Coast Estuaries. En: *IAG 1999 Regional Conference on Geomorphology*. Rfo de Janeiro. Comunicaciones, 1: 41-42.
- Martínez García, E. (1981): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 32 (Llanes)*. I.G.M.E, Madrid.
- Mary, G. (1971): Les hautes surfaces d'abrasion marine de la cote asturienne (Espagne). *Histoire structurale du golfe de Gascogne*, 2(5): 1-12.
- Mary, G. (1979): *Evolution de la bordure cotière asturienne (Espagne) du Néogène à l'actuel*. Tesis Doctoral. Univ. de Caen (Francia), 288 p.
- Mary, G. (1983): Evolución del margen costero de la Cordillera Cantábrica desde el Mioceno. *Trabajos de Geología*, 13: 3-35.
- Mary, G. (1985): Les éboulies periglaciaires le long du littoral asturien et galicien. *I Reunión del Cuaternario Ibérico*, Lisboa, 119-126.
- Mary, G. (1992): La evolución del litoral cantábrico durante el Holoceno. En: *The Late Quaternary in the Western Pyrenean Region* (A. Cearreta y F. Ugarte, Eds.). Servicio Editorial Universidad del País Vasco, 161-170.
- Moñino, M. (1986): *Establecimiento y cartografía de los niveles de rasa litoral existentes en Cantabria*. Tesis de Licenciatura, Univ. de Cantabria, 176 p.
- Moñino, M., Díaz de Teran, J.R. y Cendrero, A. (1988): Pleistocene sea level changes in the Cantabrian coast, Spain. En: *Geomorphology and Environmental Management* (S. Singh y R.C. Tiwari, Eds). Allahabad Geographie Society (India), 351-364.
- Moody, A.I. (1978): *Growth and distribution of marsh plants on the southern Fraser Delta foreshore*. M.S. thesis, University of British Columbia, Vancouver, 153 p.
- Moreira, M.E.S.A. (1992): Recent salt marsh changes and sedimentation rate in the Sado estuary, Portugal. *Journal of Coastal Research*, 8: 631-40.
- Parga Pondal, I., Parga Peinador, R., Vegas, R. y Marcos, A. (1982): Mapa Xeolóxico do Macizo Hespérico, 1:500.000. *Publicacións da Área de Xeoloxía e Minería do Seminario de Estudos Galegos*, 1ª Edición.
- Pérez Estaún, A., Bastida, F., Alonso, J. L., Marquínez, J., Aller, J., Álvarez Marrón, J., Marcos, A. y Pulgar, J. A. (1988): A thin skinned tectonics model for an arcuate fold and thrust belt: the Cantabrian Zone. *Tectonics*, 7(3): 517-537.
- Portero, J.M., Ramírez del Pozo, J., Olivé Davó, A., Martín Alafont, J.M. (1976): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 33 (Comillas)*. I.G.M.E, Madrid.
- Pritchard, D. W. (1967): What is an estuary: a physical view – point. En: *Estuaries* (G.H. Lauff, Ed.). American Association for the Advancement of Science, 83:3-5.
- Rivas, V. (1991): *Evolución reciente y estado actual del litoral Cantábrico Oriental*. Tesis doctoral, Univ. de Murcia, 537 p.
- Rivas, V. y Cendrero, A. (1987): Acrición litoral durante el Holoceno en las rías de Cantabria. En: *Actas de la VII Reunión sobre el Cuaternario*. Comunicaciones, 241-245.
- Rivière, A. (1948): Observations sédimentologiques sur la côte Vendéenne. Sédimentation littorale et estuarienne, leurs lois générale. *Revue Générale de l'Hydraulique*, 48: 1-28.
- Rodríguez Asensio, J.A. y Flor, G. (1979): Estudio del yacimiento prehistórico de Bañugues y su medio de depósito (Gijón, Asturias). *Zephyrus*, 29: 205-222.
- Trenhaile, A.S. (1997): *Coastal Dynamics and Landforms*. Clarendon Press, Oxford, 366 p.
- Verger, F. (1968): *Marais et wadden du littoral Français*, Biscayes Frères, Bordeaux, 548 p.
- Viles, H. y Spencer, T. (1995): *Coastal problems: Geomorphology, Ecology and Society at the Coast*. Arnold, London, 350 p.
- Warner, R.H., Winkler prins, C.F. y Riding, R.E. (1971): Lithostratigraphic units of the lower part of the Carboniferous in Northern Leon, Spain. *Trabajos de Geología*, 4: 603-663.
- Zazo, C. y Goy, J.L. (1994): Litoral Español. En: *Geomorfología de España* (M. Gutiérrez Elorza, Ed.). Editorial Rueda, Madrid, 437-469.
- Zazo, C., Goy, J.L., Somoza, L., Dabrio, C.J., Belluomini, G., Improta, S., Lario, J., Bardají, T. y Silva, P.G. (1994): Holocen séquense of sea level fluctuations in relation climatic trends in the Atlántic-Mediterranean linkage coast. *Journal of Coastal Research*, 10: 933-945.

Manuscrito recibido el 13 de marzo de 2002  
Aceptado el manuscrito revisado el 15 de julio de 2002