



# 1140

## LLANURAS MAREALES

**COORDINADOR**  
Francisco Javier Gracia

**AUTORES**  
Juan Antonio Morales, José Borrego, Francisco Javier Gracia y Gloria Peralta



Esta ficha forma parte de la publicación **Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España**, promovida por la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino).

#### Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo.

#### Realización y producción



#### Coordinación general

Elena Bermejo Bermejo y Francisco Melado Morillo.

#### Coordinación técnica

Juan Carlos Simón Zarzoso.

#### Colaboradores

Presentación general: Roberto Matellanes Ferreras y Ramón Martínez Torres. Edición: Cristina Hidalgo Romero, Juan Párbole Montes, Sara Mora Vicente, Rut Sánchez de Dios, Juan García Montero, Patricia Vera Bravo, Antonio José Gil Martínez y Patricia Navarro Huercio. Asesores: Íñigo Vázquez-Dodero Estevan y Ricardo García Moral.

#### Diseño y maquetación

Diseño y confección de la maqueta: Marta Munguía.

Maquetación: Do-It, Soluciones Creativas.

#### Agradecimientos

A todos los participantes en la elaboración de las fichas por su esfuerzo, y especialmente a Antonio Camacho, Javier Gracia, Antonio Martínez Cortizas, Augusto Pérez Alberti y Fernando Valladares, por su especial dedicación y apoyo a la dirección y a la coordinación general y técnica del proyecto.

Las opiniones que se expresan en esta obra son responsabilidad de los autores y no necesariamente de la **Dirección General de Medio Natural y Política Forestal** (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino).

**Coordinador:** F. J. Gracia<sup>1</sup>.

**Autores:** J. A. Morales<sup>2</sup>, J. Borrego<sup>2</sup>, F. J. Gracia y G. Peralta<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Univ. de Cádiz, <sup>2</sup>Univ. de Huelva.

**Colaboraciones específicas relacionadas con los grupos de especies:**

**Plantas:** Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas (SEBCP). Jaime Güemes Heras, Álvaro Bueno Sánchez (directores), Reyes Álvarez Vergel (coordinadora general), M.<sup>a</sup> Inmaculada Romero Buján (coordinadora regional) y M.<sup>a</sup> Inmaculada Romero Buján (colaboradores-autores).

**Colaboración específica relacionada con suelos:**

Sociedad Española de la Ciencia del Suelo (SECS). Xosé Luis Otero Pérez.

**A efectos bibliográficos la obra completa debe citarse como sigue:**

VV.AA., 2009. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

**A efectos bibliográficos esta ficha debe citarse como sigue:**

MORALES, J. A., BORREGO, J., GRACIA, F. J. & PERALTA, G., 2009. 1140 Llanuras mareales.  
En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 68 p.

**Primera edición, 2009.**

**Edita:** Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica.  
Centro de Publicaciones.

NIPO: 770-09-093-X

ISBN: 978-84-491-0911-9

Depósito legal: M-22417-2009

<b>1. PRESENTACIÓN GENERAL</b>	7
1.1. Código y nombre	7
1.2. Definición	7
1.3. Relaciones con otras clasificaciones de tipos de hábitat	8
1.4. Descripción	8
1.5. Problemas de interpretación	13
1.6. Distribución geográfica	14
<b>2. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA</b>	17
2.1. Regiones naturales	17
2.2. Demarcaciones hidrográficas	17
2.3. Identificación de masas de agua	18
2.4. Lugares de importancia comunitaria	19
2.5. Factores biofísicos de control	21
2.5.1. Factores generales de control	21
2.5.2. Procesos	25
2.6. Subtipos	27
2.7. Exigencias ecológicas	28
2.7.1. Especies características y diagnósticas	29
<b>3. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN</b>	31
3.1. Determinación y seguimiento de la superficie ocupada	31
3.2. Identificación y evaluación de las especies típicas	31
3.3. Evaluación de la estructura y función	33
3.3.1. Factores, variables y/o índices	33
3.3.2. Protocolo para determinar el estado de conservación global de la estructura y función	37
3.3.3. Protocolo para establecer un sistema de vigilancia global del estado de conservación de la estructura y función	38
3.4. Evaluación de las perspectivas de futuro	39
<b>4. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN</b>	43
<b>5. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA</b>	45
5.1. Bienes y servicios	45
5.2. Líneas prioritarias de investigación	46
<b>6. BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE REFERENCIA</b>	47
<b>7. FOTOGRAFÍAS</b>	51
<b>Anexo 1: Información edafológica complementaria</b>	53





# 1. PRESENTACIÓN GENERAL

## 1.1. CÓDIGO Y NOMBRE

1140 Llanuras mareales

## 1.2. DEFINICIÓN

La definición propuesta en la Directiva de Hábitats corresponde al concepto de llanuras mareales, que fueron caracterizadas por H.E. Reineck en 1972 como “*Terrenos llanos, de baja pendiente y de naturaleza arenosa o fangosa que emergen durante la bajamar y se sumergen durante la pleamar*”. En base a esta definición, para que un hábitat sea considerado como llanura mareal debe cumplir tres requisitos:

1. Tratarse de una zona de baja pendiente.
2. Tener naturaleza arenosa o fangosa.
3. Tener carácter intermareal.

Esta definición es incompleta, ya que estos tres requisitos englobarían a otros tipos de hábitat que la directiva caracteriza separadamente y puede generar confusión como en el caso de las playas o las marismas (ver apartado “relaciones con otras clasificaciones de tipos de hábitat”). Esta definición debería, pues, incluir que se trata de medios dominados por la marea con muy baja influencia del oleaje y ausencia de vegetación vascular.

Medios que sí pueden considerarse englobados dentro de la definición son los bordes intermareales de canales mareales activos. Éstos cumplen con todos los requisitos anteriormente expuestos, salvo con la baja pendiente, ya que se trata de zonas con pendientes de alrededor del 5%.

Definición mejorada propuesta:

“Fondos costeros dominados por la marea, con carácter intermareal y pendiente suave, de naturaleza fango-arenosa, desprovistos de plantas vasculares y colonizados habitualmente por algas azules y diatomeas o tapizados por formaciones anfibias de *Nanozostera noltii*”.

### Código y nombre del tipo de hábitat en el anexo 1 de la Directiva 92/43/CEE

1140 Llanos fangosos o arenosos que no están cubiertos por el agua cuando hay marea baja

### Definición del tipo de hábitat según el Manual de interpretación de los tipos de hábitat de la Unión Europea (EUR25, octubre 2003)

Sands and muds of the coasts of the oceans, their connected seas and associated lagoons, not covered by sea water at low tide, devoid of vascular plants, usually coated by blue algae and diatoms. They are of particular importance as feeding grounds for wildfowl and waders. The diverse intertidal communities of invertebrates and algae that occupy them can be used to define subdivisions of 11.27, eelgrass communities that may be exposed for a few hours in the course of every tide have been listed under 11.3, brackish water vegetation of permanent pools by use of those of 11.4.

### Relaciones con otras clasificaciones de hábitat

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A2.1 Littoral coarse sediment

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A2.2 Littoral sand and muddy sand

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A2.24 Polychaete/bivalve-dominated muddy sand shores

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A2.3 Littoral mud

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A2.31 Polychaete/bivalve-dominated mid estuarine mud shore

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A2.32 Polychaete/oligochaete-dominated upper estuarine mud shores

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A2.4 Littoral mixed sediments

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A2.6 Littoral sediments dominated by aquatic angiosperms

*EUNIS Habitat Classification 200410*

A2.61 Seagrass beds on littoral sediments

*Palaeartic Habitat Classification 1996*

14 Mud flats and sand flats

Las características enumeradas en esta definición englobarían las llanuras mareales y los bordes de canal activo y excluirían las playas y las marismas.

### 1.3. RELACIONES CON OTRAS CLASIFICACIONES DE TIPOS DE HÁBITAT

La lista de la Directiva de Hábitats (92/43 CEE) incluye tipos de hábitat de muy diferente magnitud y jerarquía, así, por ejemplo, puede considerarse que el tipo de hábitat 1140 Llanuras mareales, forma parte como submedio de otros tipos de hábitat de mayor magnitud, como el 1130 Estuarios y el 1160 Grandes calas y bahías poco profundas. Por otra parte, el tipo de hábitat 1140 presenta una relación espacial muy estrecha con los tipos de hábitat del grupo 13 (Marismas y pastizales salinos atlánticos y continentales); concretamente, en España los tipos de hábitat 1310 Vegetación halonitrófila anual sobre suelos salinos poco evolucionados y 1320 Pastizales de *Spartina* (*Spartiniom maritimae*) representan la continuidad del tipo de hábitat 1140 hacia zonas intermareales topográficamente más elevadas.

### 1.4. DESCRIPCIÓN

Las llanuras mareales y los bordes de canal activo son superficies deposicionales formadas en su mayoría por fangos y arenas que se encuentran situadas en el espacio limitado por el nivel del mar entre la pleamar y la bajamar. Se desarrollan a lo largo de:

1. Costas abiertas de bajo relieve y afectadas por olas poco energéticas.
2. Costas de mayor energía en zonas protegidas de la acción de las olas (bahías semicerradas, detrás de islas barreras, flechas litorales o arrecifes). De cualquier modo, la condición necesaria para la formación de llanuras de marea es la presencia de mareas, además de la acción amortiguada o ausencia del oleaje.

Las llanuras de marea localizadas en costa abierta se localizan preferentemente en costas macromareales según Hayes (1975).

En el primero de los casos, cuando se desarrollan en costas macromareales de baja energía de oleaje (ver figura 1.1), las llanuras de marea se originan como sistemas independientes y suelen estar loca-

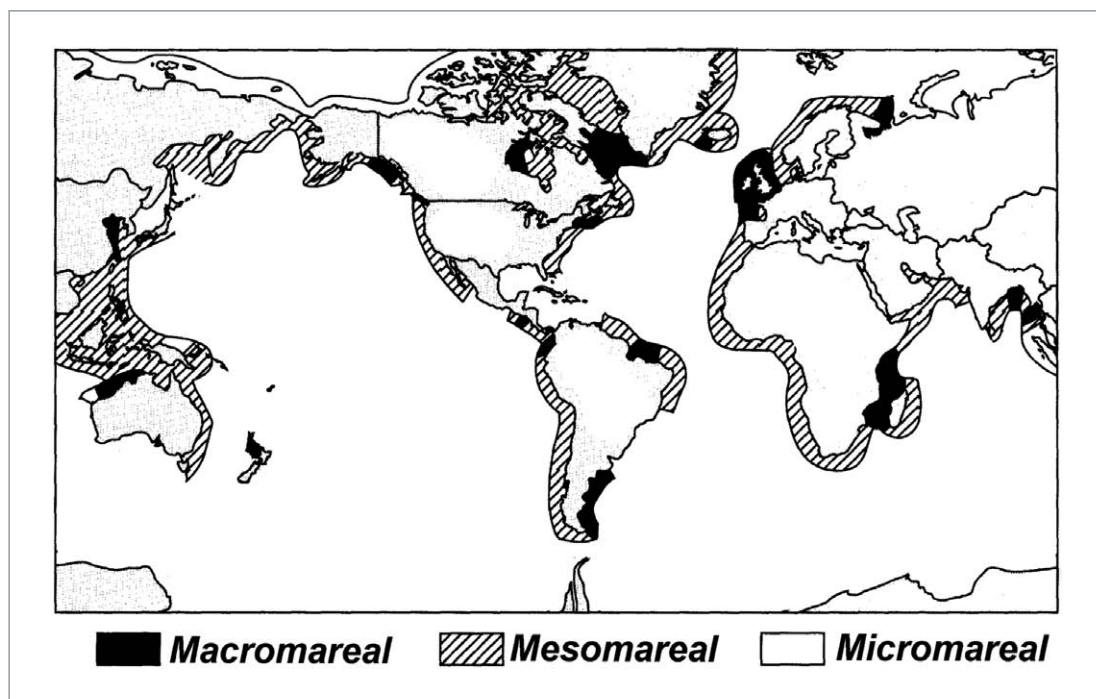


Figura 1.1

Distribución de los diferentes tipos de costa según su rango mareal (Davies, 1964).

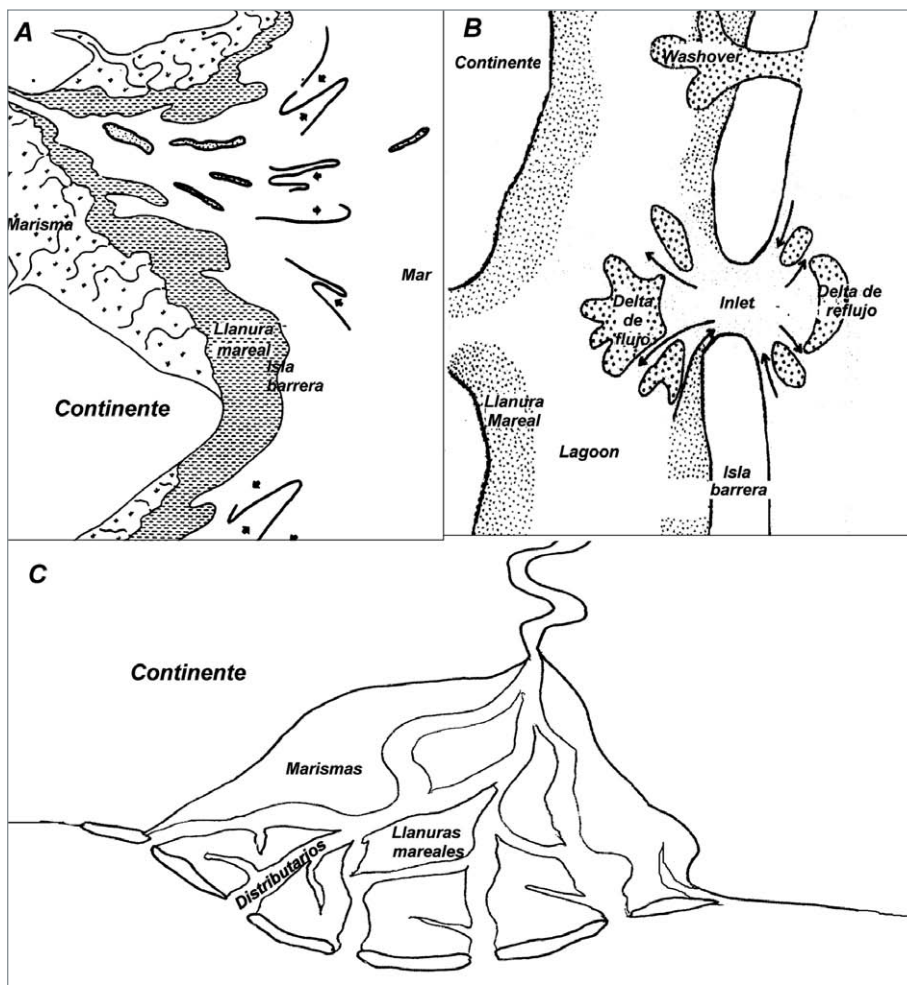


lizadas en bahías, dando lugar a lo que se conoce como costas fangosas; son los casos del Monte Saint Michel en Francia, Inchon en Corea, el Wash en Inglaterra, la Bahía de Fundy, la Bahía de San Sebastián (en la Tierra del Fuego, Argentina) o el Golfo de California. En España está el claro ejemplo de la Bahía de Cádiz. Sin embargo, en el segundo de los casos, pueden encontrarse, además, asociadas a otros medios sedimentarios, como (ver figura 1.2): estuarios (Llanura de San Simón en la Ría de Vigo, estuarios asturianos y cántabros o estuarios onubenses), deltas (Deltas del Guadiana y del Guadalquivir), o las zonas protegidas por islas barreras o flechas litorales (Mar de Wadden o Costa de Georgia, EE.UU.).

En la actualidad la llanura mareal de mayor extensión es la del Mar Amarillo en Corea, donde llega a alcanzar una extensión de 25 km de anchura (Chung

& Park, 1977). A pesar de su gran extensión, la distribución de su textura sedimentaria es similar a las descritas para las llanuras mareales menores como las del Mar del Norte (Wells & Hugh, 1979), o para los bordes de canal activo en deltas o estuarios (Morales, *et al.*, 1995).

La mayor parte de las llanuras de marea actuales son lugares en los que tiene lugar una sedimentación principalmente siliciclástica (constituida por minerales silicatados). Este es el caso de los ejemplos más conocidos, ya citados en los párrafos anteriores, aunque existen ejemplos significativos de llanuras de marea constituidas por sedimentos carbonatados o evaporíticos; es el caso de las llanuras asociadas a Laguna Madre en Tejas, la zona norte de la Isla de Andros en las Bahamas o la Costa de los Piratas (*Trucial Coast*) en el Golfo Pérsico; no existen ejemplos en España, debido a las condiciones climáticas.



A) Estuarios, B) Sistemas de islas barrera y C) Deltas.

**Figura 1.2**  
Las llanuras mareales como partes de otros tipos de hábitat de jerarquía mayor.

El interés que presentan las llanuras mareales como medio sedimentario y como tipo de hábitat se ve reflejado en las abundantes monografías dedicadas a su estudio: De Boer, *et al.*, 1988; Ginsburg 1975; Klein, 1976; 1977; Smith, *et al.*, 1991; Stride, 1982 & Thompson, 1968. Además aparecen como capítulo en una gran parte de las monografías dedicadas al estudio de los medios sedimentarios en general: Klein, 1985; Shinn, 1983; Vilas, 1989; Weimer, *et al.*, 1982 y Perillo, 1995, entre otros. Y en numerosos artículos que constantemente se publican en las revistas científicas dedicadas a la difusión de la sedimentología.

Además del interés puramente científico y ecológico que puedan tener las llanuras mareales, recientemente también se les ha encontrado un gran interés económico, ya que en ellas se pueden encontrar depósitos de uranio, petróleo y gas natural.

### Distribución global de las llanuras mareales

La distribución de las llanuras mareales en las costas del mundo ha sido clásicamente asociada al rango de marea (Davies, 1964). Así, en un principio se pensaba que este tipo de sistemas estaba siempre asociado a las costas macromareales (para oscilaciones mareales superiores a 4 m) o en casos excepcionales a costas mesomareales (entre 2 y 4 m de rango mareal medio). Sin embargo, Hayes, (1979) discutió los criterios de variación en la morfología de las líneas de costa y la distribución de los medios sedimentarios costeros existentes hasta ese momento. Para este autor, no es el rango mareal, sino el balance entre rango mareal y altura de oleaje, el factor que determina la morfología de las costas deposicionales y la distribución de medios sedimentarios y hábitat en las mismas (ver figura 1.3).

Existirían, pues, costas dominadas por oleaje, costas dominadas por la marea y costas de energía mixta.

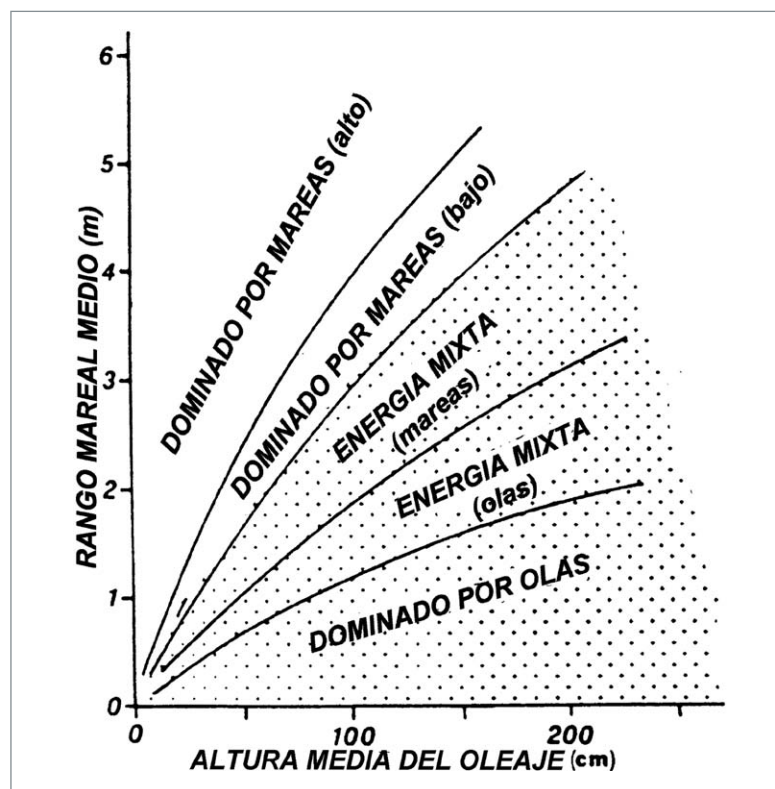


Figura 1.3

Clasificación de los diferentes tipos de costa de acuerdo con Hayes (1979).

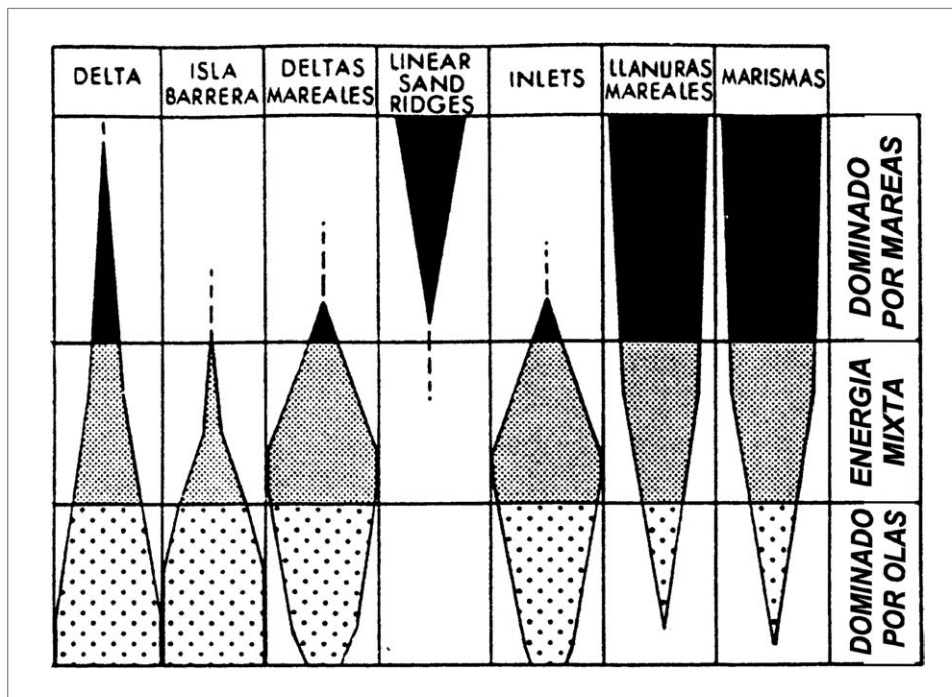


Figura 1.4

Distribución de las llanuras de mareas y otros tipos de hábitat según el tipo de costa de acuerdo con Hayes (1979).

De tal modo (ver figura 1.4), la distribución de llanuras de marea es máxima en costas dominadas por las mareas y decrece en costas de energía mixta, siendo mínima en costas dominadas por el oleaje. Sin embargo, como ya se ha comentado, pueden aparecer llanuras mareales en costas dominadas por el oleaje en localizaciones especiales, donde un elemento morfológico generado por el oleaje amortigüe la acción de las olas creando una zona de sombra dinámica al oleaje en la que sólo actúen las mareas. Así se explica la presencia de llanuras de marea en costas micromareales y dominadas por el oleaje, como es el caso ya citado de las Islas Bahamas o de las llanuras de trasbarrera de la Costa Este de Florida.

Además de este factor dinámico que controla la distribución de las llanuras mareales, el depósito en esos sistemas sedimentarios también depende de la zona climática en la que se encuentren. Así podemos encontrarnos con los siguientes casos:

a) En regiones de clima templado, estos sistemas son predominantemente clásticos, las marismas cubren usualmente las partes más altas de la llanura, mientras que en la parte central se acumula una mezcla de fangos y arenas y, por último, en las zonas más bajas y los canales se acumulan mayoritariamente arenas.

b) En las zonas de latitudes bajas, la composición del sedimento depende del aporte terrígeno y de la tasa de evaporación. Si el primero es abundante, las diferencias con las llanuras de clima templado son mínimas, salvo que éstas son frecuentemente afectadas por procesos de desecación (por lo que es común encontrar grietas de desecación y crecimiento en el fango de cristales de yeso y halita) y que las marismas de la parte alta están sustituidas por manglares. Si, por el contrario, el aporte terrígeno es mínimo, las aguas claras y las altas temperaturas permitirán el desarrollo de llanuras mareales en las que predomine la sedimentación carbonatada. En condiciones de evaporación extrema, en la parte alta de las llanuras de marea se localizan áreas áridas de inundación ocasional conocidas como *sabkhas* costeras.

c) En zonas subárticas, se caracterizan por tener una enorme cantidad de cantos arrastrados por los bloques de hielo que a su vez dejan pequeños surcos en la superficie de la llanura.

#### Morfología y zonación de las llanuras mareales

En las llanuras mareales descritas en Holanda y Alemania (Mar de Wadden), y la costa este de Inglate-

rra (The Wash) o la Tierra del Fuego Argentina (Bahía de San Sebastián) por Van Straaten (1959; 1961), Reineck (1963), Evans (1965), Vilas *et al.*, (1987, 1999) respectivamente, los procesos de transporte y depósito de sedimentos, así como la colonización de organismos, originan varios subambientes alargados paralelamente a la costa y de anchura variable.

En general, existen tres zonas perfectamente diferenciadas: la zona supramareal, la zona intermareal y la zona submareal. A su vez, la zona intermareal se encuentra compartimentada en varias zonas distintas que, en general, presentan diferente distribución del sedimento y de los procesos dominantes. En la mayor parte de los casos, tales como los de las costas de Alemania y Holanda, se pueden distinguir tres unidades intermareales denominadas según su altura o su sedimento dominante (Van Straaten, 1954; Reineck, 1967), si bien existen casos más complejos como el del Wash de Inglaterra, en el que se distinguen hasta cinco (Evans, 1965) y otros aún más complejos (Amos, 1995). De todos modos, la mayoría de las grandes llanuras mareales descritas coinciden en la existencia de una disminución de tamaños de grano desde la zona submareal hasta la supramareal. Sin embargo, en llanuras mareales de pequeña extensión, como las de la costa de Huelva, la agradación es tan rápida que no se observan zonas, sino que la disminución de tamaños de grano tiene lugar en el tiempo (Morales, 1997).

Así pues, siguiendo el modelo más general y los casos descritos, en España en una llanura de marea pueden distinguirse (ver figura 1.5).

- a) *La zona submareal*: La zona submareal de las llanuras de marea se encuentra por debajo de las bajamares vivas, de tal modo que su zona superior sólo puede exponerse ocasionalmente durante mareas extremas. Esta zona puede presentar características diferentes según la ubicación de la misma en una costa abierta o asociada a otro tipo de sistema mareal y su reconocimiento es importante, ya que es este el sector con mayor potencial de preservación. Así pues, la zona submareal de llanuras de mareas puede estar constituida por un típico *nearshore*, por un *lagoon* o por diferentes tipos de canal, en el caso de estar asociadas a deltas o estuarios.
- b) *La llanura intermareal*: Se encuentra entre las bajamares vivas y las pleamares medias, de tal modo que está sometida a continuas alternancias entre períodos de exposición y sumersión. Sin embargo, el número y duración de estas exposiciones y sumersiones no afecta por igual a toda la llanura, de tal modo que la parte topográficamente más baja de ésta presenta índices más altos de sumersión y, al contrario, su parte más alta presenta, obviamente, índices más altos de exposición. Evidentemente esta transición es gradual, aunque da lugar a la existencia de tres zonas diferentes dentro de la llanura intermareal: llanura intermareal

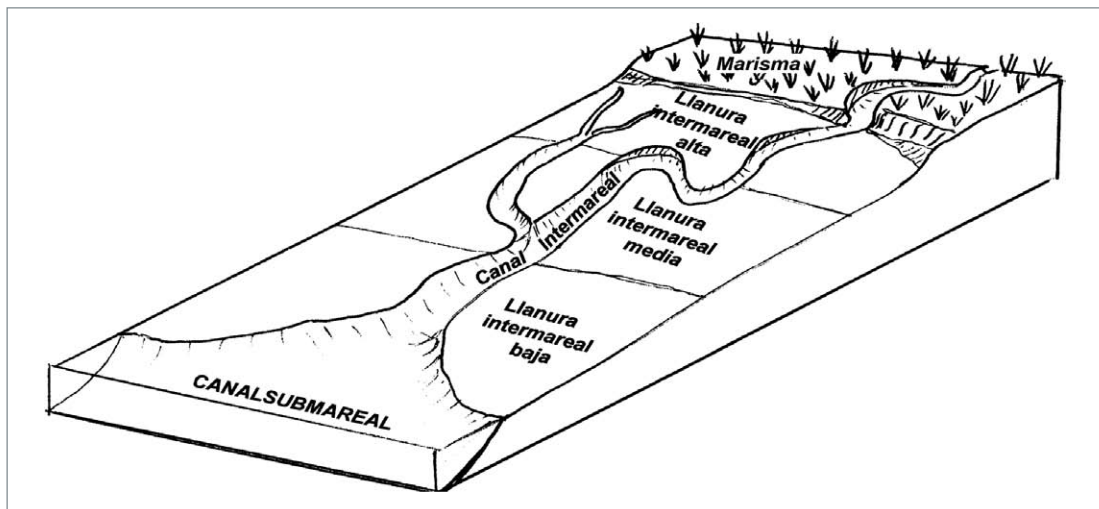


Figura 1.5

Zonación vertical típica de las llanuras mareales.

baja o arenosa, llanura intermareal media o mixta y llanura intermareal alta o fangosa. La denominación de estas zonas está relacionada con el tipo de sedimento más frecuente en las mismas.

- c) *La zona supramareal*: Aparece por encima de las pleamares medias de tal modo que únicamente es inundada durante las pleamares vivas y durante los períodos de temporal. En climas cálidos y templados está abundantemente colonizada por vegetación, aunque ésta varía según el tipo de clima; así se desarrollan marismas o manglares. Dentro de la propia zona supramareal puede existir otra zonación topográfica marcada por la sucesión de plantas y animales que la colonizan, aunque ésta no siempre está presente.

En climas áridos la vegetación de esta zona no se desarrolla y el sedimento que llega a la misma durante las mareas extremas se ve sometido la mayor parte del tiempo a la acción del viento. Así se desarrollan las llamadas llanuras mareales eólicas.

En este caso, tanto la zona submareal como la zona supramareal están descritas como tipos de hábitat distintos por la directiva de la CEE y no son objeto de esta descripción.

Tanto la zona intermareal como la supramareal están surcadas por una compleja trama de canales meandriformes, que constituyen el sistema de drenaje de la marea. Este sistema de drenaje presenta una jerarquía en cuanto a su funcionalidad y en cuanto a su localización topográfica (Zeff, 1988). Así existen canales alimentadores y distribuidores (submareales) y canales finalizadores (intermareales).

En las llanuras de marea desarrolladas en el interior de bahías, la zona submareal no presenta corrientes demasiado fuertes. Esto permite el desarrollo de amplios deltas fangosos en la zona donde los canales distribuidores desembocan en la zona submareal. Se trata de un tipo de delta de reflujo distinto

a los descritos en sistemas de islas barrera que ha sido identificado en las de la Bahía de Cádiz.

La distribución del sistema de drenaje mareal de las llanuras de marea representa, la trama inicial de los canales existentes en las zonas de marismas o pantanos que, en consecuencia, puede ser heredada de la antigua llanura intermareal (Pestrong, 1972). Algunas depresiones todavía no colmatadas, como las pozas salinas (*salt pans*), pueden ser incluso formas relictas de las etapas iniciales de la red de drenaje (Evans, 1965; Redfield, 1972).

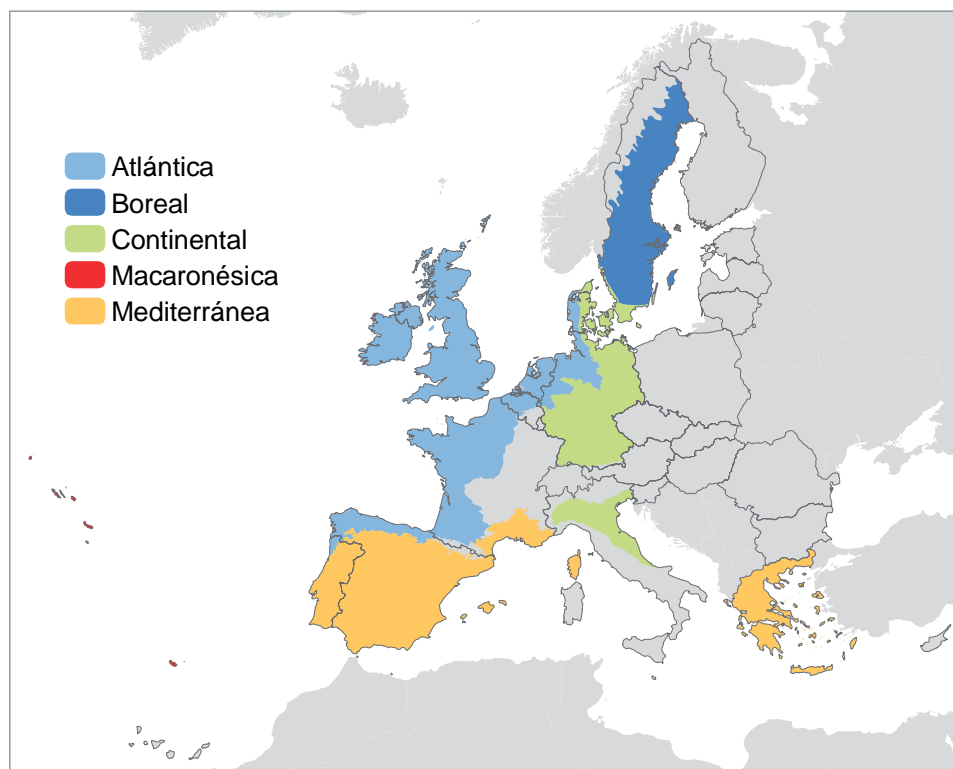
## 1.5. PROBLEMAS DE INTERPRETACIÓN

Posibles problemas de interpretación pueden venir del hecho de que, en la zona Atlántica española, las playas también desarrollan extensiones arenosas en la franja intermareal, conocidas en la literatura como playa húmeda, playa intermareal o *foreshore*. Sin embargo, estas zonas no pueden incluirse dentro del tipo de hábitat 1140 ya que:

- a) Están claramente dominadas por el oleaje y no por la marea, por lo que no pueden considerarse medios de marea incluidos en el grupo 11 de la lista de los tipos de hábitat.
- b) Su naturaleza es netamente arenosa y mucho más grosera que las llanuras de marea.
- c) Presentan una alta movilidad del sedimento y una dinámica muy diferente a las llanuras de marea y los bordes de canal activo.

Por todas estas causas, en ningún caso se encuentran colonizados por algas azules ni diatomeas o tapizados por formaciones anfíbias de *Nanozostera noltii*, por lo que se entiende que la definición propuesta por la Directiva de Hábitats no se refiere específicamente a estos medios.

## 1.6. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA



**Figura 1.6**

**Mapa de distribución del tipo de hábitat 1140 por regiones biogeográficas en la Unión Europea.**

Datos de las listas de referencia de la Agencia Europea de Medio Ambiente.



**Figura 1.7**

**Mapa de distribución estimada del tipo de hábitat 1140.**

Datos del *Atlas de los Hábitat de España*, marzo de 2005.

Región biogeográfica	Superficie ocupada por el hábitat (ha)	Superficie incluida en LIC	
		ha	%
Alpina	—	—	—
Atlántica	2.128,28	1.652,61	77,65
Macaronésica	[0,00003]	0	0
Mediterránea	1.603,11	1.275,93	79,59
<b>TOTAL</b>	<b>3.731,30</b>	<b>2.928,54</b>	<b>78,48</b>

Tabla 1.1

Superficie ocupada por el tipo de hábitat 1140 por región biogeográfica, dentro de la red Natura 2000 y para todo el territorio nacional. Datos del *Atlas de los Hábitat de España*, marzo de 2005.

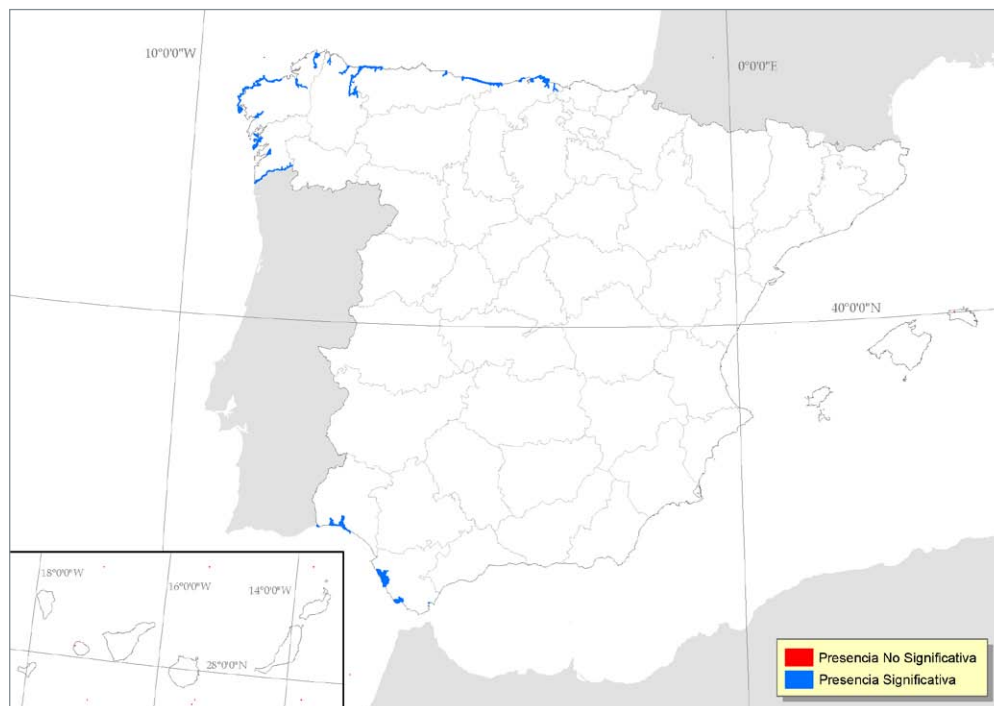


Figura 1.8

Lugares de Interés Comunitario en que está presente el tipo de hábitat 1140.

Datos de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000, enero de 2006.

Región biogeográfica	Evaluación de LIC (número de LIC)				Superficie incluida en LIC (ha)
	A	B	C	In	
Alpina	—	—	—	—	—
Atlántica	5	13	3	—	2.022,24
Macaronésica	—	—	—	—	—
Mediterránea	3	4	2	—	1.557,17
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>—</b>	<b>3.579,41</b>

A: excelente; B: bueno; C: significativo; In: no clasificado.

Datos provenientes de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000, enero de 2006.

Tabla 1.2

Número de LIC en los que está presente el tipo de hábitat 1140, y evaluación global de los mismos respecto al tipo de hábitat. La evaluación global tiene en cuenta los criterios de representatividad, superficie relativa y grado de conservación.

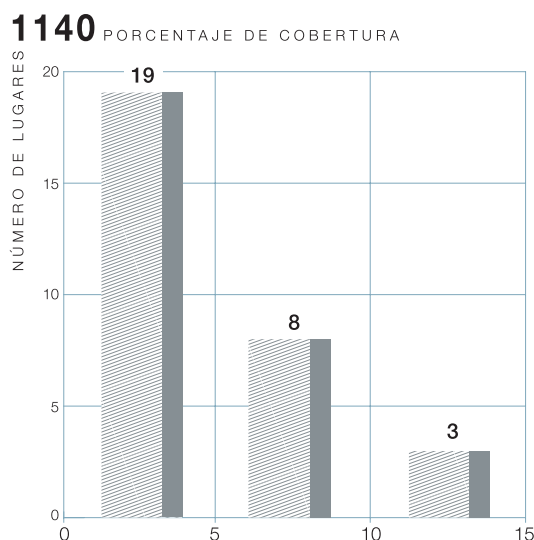


Figura 1.9

**Frecuencia de cobertura del tipo de hábitat 1140 en LIC.**  
La variable denominada *porcentaje de cobertura* expresa la superficie que ocupa un tipo de hábitat con respecto a la superficie total de un determinado LIC.

		ALP	ATL	MED	MAC
Andalucía	Sup.	—	—	99,56%	—
	LIC	—	—	100%	—
Asturias	Sup.	—	11,07%	—	—
	LIC	—	23,80%	—	—
Islas Canarias	Sup.	—	—	—	—
	LIC	—	—	—	100%
Cantabria	Sup.	—	15,76%	—	—
	LIC	—	28,57%	—	—
Cataluña	Sup.	—	—	0,44%	—
	LIC	—	—	—	—
Galicia	Sup.	—	71,18%	—	—
	LIC	—	47,61%	—	—
País Vasco	Sup.	—	1,97%	—	—
	LIC	—	—	—	—

**Sup.:** porcentaje de la superficie ocupada por el tipo de hábitat de interés comunitario en cada comunidad autónoma respecto a la superficie total de su área de distribución a nivel nacional, por región biogeográfica.

**LIC:** porcentaje del número de LIC con presencia significativa del tipo de hábitat de interés comunitario en cada comunidad autónoma respecto al total de LIC propuestos por la comunidad en la región biogeográfica. Se considera presencia significativa cuando el grado de representatividad del tipo de hábitat natural en relación con el LIC es significativo, bueno o excelente, según los criterios de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000.

Datos del *Atlas de los Hábitat de España*, marzo de 2005, y de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000, enero de 2006.

Tabla 1.3

**Distribución del tipo de hábitat 1140 Llanuras mareales en España por comunidades autónomas en cada región biogeográfica.**





## 2. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA

El objetivo de este apartado es caracterizar los principales factores abióticos y bióticos que determinan la estructura y la funcionalidad de las llanuras de marea que se pueden identificar en España. Para ello se ha realizado un análisis bibliográfico, basado fundamentalmente en la amplia literatura científica sobre estos sistemas que existe, principalmente debido a la labor investigadora de numerosos grupos.

### 2.1. REGIONES NATURALES

De las regiones biogeográficas propuestas por la EEA (Agencia Europea de Medioambiente) sólo cuatro están presentes en el territorio español (alpina, atlántica, mediterránea y macaronésica) y, de ellas, sólo en las regiones atlántica y mediterránea está presente este tipo de hábitat. En la región alpina obviamente falta y en la región macaronésica porque todas las franjas intermareales se encuentran expuestas a la acción directa del oleaje.

Que en la región mediterránea, donde no actúan las mareas, existan llanuras mareales puede dar lugar a confusión. Sin embargo, entendemos que las regiones naturales están definidas desde un plano estrictamente botánico. El mapa de regiones naturales, generado a partir de esta clasificación (ver figura 2.1), sirve para delimitar regiones de igual distribución botánica y facilita la localización de los tipos de hábitat. Tomando como ejemplo las llanuras mareales de Andalucía, éstas se encuentran en la región biogeográfica mediterránea y, sin embargo, se localizan en la costa atlántica, expuestas a su régimen mareal. Estas contradicciones se han mostrado en la ficha del tipo de hábitat 1130 Estuarios.

### 2.2. DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS

Empezando por la costa cantábrica y siguiendo la costa en dirección contraria a las agujas del reloj, las demarcaciones o confederaciones hidrográficas que contienen el tipo de hábitat 1140 son las siguientes:

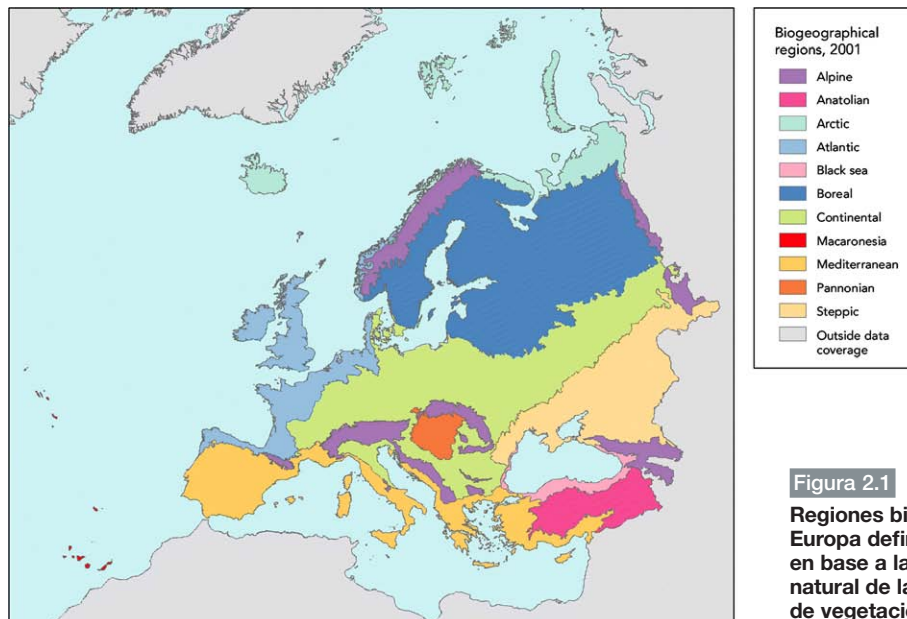


Figura 2.1

Regiones biogeográficas de Europa definidas por la EEA en base a la distribución natural de las comunidades de vegetación terrestre.

1. Cuencas internas del País Vasco.
2. Confederación hidrográfica Norte II.
3. Confederación hidrográfica Norte I.
4. Cuencas internas de Galicia.
5. Confederación hidrográfica del Guadiana.
6. Confederación hidrográfica del Guadalquivir.

### 2.3. IDENTIFICACIÓN DE MASAS DE AGUA

Hay que tener en cuenta que el tipo de hábitat 1140 Llanuras mareales se encuentra, en la mayoría de los

casos, asociado al tipo de hábitat 1130 Estuarios, por lo que su distribución va a ser muy parecida; sin embargo, también se encuentra asociado al tipo de hábitat 1160 Grandes calas y bahías poco profundas, como es el caso de las llanuras mareales asociadas a las bahías de Cádiz o Santander. De este modo, la distribución conocida del tipo de hábitat 1140 se encuentra en las masas de agua que se recogen en la tabla 2.1. Esta información ha sido obtenida en su mayor parte de la ficha del tipo de hábitat 1130, que a su vez fue obtenida de los diferentes estudios realizados para la aplicación de la Directiva Marco del Agua (DMA) por las confederaciones hidrográficas antes enumeradas.

Tabla 2.1

**Masas de agua estuarinas, deltaicas o de bahía que presentan asociados tipos de hábitat de llanuras intermareales.**

PAÍS VASCO	
Estuario del río Barbadun	Estuario del río Deba
Estuario del río Ibaizabal	Estuario del río Urola
Estuario del río Butroe	Estuario del río Oria
Estuario del río Oka	Estuario del río Urumea
Estuario del río Lea	Estuario del río Oiartzun
Estuario del río Artibai	Estuario del río Bidasoa
CANTABRIA	
Ría de Tina Mayor	Bahía de Santander
Ría de Tina Menor	Ría de Galizano
San Vicente de la Barquera	Ría de Ajo
Ría de Oyambre	Marismas de Joyel
Ría de Suances	Marismas de Victoria
Ría de Mogro	Marismas de Santoña
Ría de San Juan de la Canal	Ría de Oriñón
Ría de la Maruca	
ASTURIAS	
Ría del Eo	Ría de Avilés
Ría del Navia	Ría de Villaviciosa
Ría del Esva	Ría de Ribadesella
Ría del Nalón	
GALICIA	
Ortigueira-Mera	Río Eo
Costa da Morte	Ría de Foz-Masma
Complejo húmido de Corrubedo	Costa da Mariña occidental
Betanzos-Mandeo	A Ramallosa
Costa de Dexo	Complejo Ons-O Grove
Esteiro do Tambre	Baixo Miño
Monte e lagoa de Louro	Enseada de San Simón
Xubia-Castro	

► Continuación Tabla 2.1

ANDALUCÍA	
Delta del Guadiana	Estuario del río Guadalete
Estuario del río Piedras	Bahía de Cádiz
Estuario del río Odiel	Estuario del río Barbate
Estuario del río Tinto	Estuario de los ríos Jara y Vega
Estero Domingo Rubio	Estuario del río Palmones
Delta del Guadalquivir	

## 2.4. LUGARES DE IMPORTANCIA COMUNITARIA

Los espacios litorales en los que se desarrolla el tipo de hábitat 1140 Llanuras mareales son humedales de una gran riqueza ecológica y muchos de ellos

han sido declarados Lugares de Importancia Comunitaria (LIC). A continuación se enumeran, por comunidades autónomas aquellos LIC en los que las llanuras mareales aparecen asociadas a otros tipos de hábitat (ver tabla 2.2).

Tabla 2.2

Lugares de Importancia Comunitaria que desarrollan el tipo de hábitat 1140 Llanuras mareales.

PAÍS VASCO	
Denominación	Código
Ría del Urola (Gipuzkoa)	ES2120004
Ría del Oria (Gipuzkoa)	ES2120010
Txingudi-Bidasoa (Gipuzkoa)	ES2120018
Ulía (Gipuzkoa)	ES2120014
Ría del Barbadun (Bizkaia)	ES2130003
Zonas litorales y Marismas de Urdaibai (Bizkaia)	ES2130007

CANTABRIA	
Denominación	Código
Parque Natural de Oyambre	ES130000
Rías occidentales y Duna de Oyambre	ES1300003
Costa central y Ría de Ajo	ES1300006
Dunas del Puntal y Estuario del Miera	ES1300005
Dunas de Liencres y Estuario del Pas	ES1300004
Parque Natural de las Marismas de Santoña, Victoria y Joyel	ES130000
Marismas de Santoña, Victoria y Joyel	ES1300007

ASTURIAS	
Denominación	Código
Ría de Villaviciosa	ES1200006
Ría del Eo	ES1200016
Ría de Ribadesella - Ría de Tina Mayor	ES1200032

Sigue ►

► Continuación Tabla 2.2

GALICIA	
Denominación	Código
Ortigueira-Mera	ES1110001
Costa da Morte	ES1110005
Complejo húmido de Corrubedo	ES1110006
Betanzos-Mandeo	ES1110007
Costa de Dexo	ES1110009
Esteiro do Tambre	ES1110011
Monte e lagoa de Louro	ES1110012
Xubia-Castro	ES1110013
Río Eo	ES1120002
Ría de Foz-Masma	ES1120011
Costa da Mariña occidental	ES1120017
A Ramallosa	ES1140003
Complejo Ons-O Grove	ES1140004
Baixo Miño	ES1140007
Enseada de San Simón	ES1140016

ANDALUCÍA	
Denominación	Código
Isla de San Bruno	ES6150015
Marismas de Isla Cristina	ES6150005
Estuario del río Piedras	ES6150028
Marismas del río Piedras y Flecha del Rompido	ES6150006
Marismas del Odiel	ES0000025
Estero de Domingo Rubio	ES6150003
Estuario del río Tinto	ES6150029
Marismas y riberas del Tinto	ES6150014
Bajo Guadalquivir	ES6150019
Parque Nacional de Doñana	ES0000024
Bahía de Cádiz	ES0000140
Río Guadalete	ES6120021
La Breña y marismas del Barbate	ES6120008
Río de La Jara	ES6120028
Marismas del río Palmones	ES6120006

## 2.5. FACTORES BIOFÍSICOS DE CONTROL

### 2.5.1. Factores generales de control

La sedimentación en las llanuras mareales está influida por una serie de procesos que, a su vez, están controlados por una serie de factores abióticos (físicos y químicos) y bióticos, que son:

- a) La dinámica mareal (amplitud de mareas y corrientes mareales).
- b) La generación de olas en la masa de agua que se extiende sobre la propia llanura durante las mareas altas.
- c) La pendiente y extensión del fondo.
- d) La físico-química del agua (salinidad, temperatura y nutrientes).
- e) El aporte de sedimentos (tipo de fondo y turbidez).
- f) La actividad orgánica.

#### ■ Factores abióticos

##### a) Dinámica mareal

El régimen de mareas es uno de los principales factores de control de la dinámica sedimentaria costera y, en concreto, de la evolución de los estuarios, deltas y llanuras mareales, ya que el número de horas de exposición y sumersión de la franja intermareal controla directamente la zonación bio-sedimentaria existente en la misma (Swinkbanks & Murray, 1981) teniendo una marcada influencia el resto de los factores, que a su vez, proporcionan características propias a cada llanura mareal.

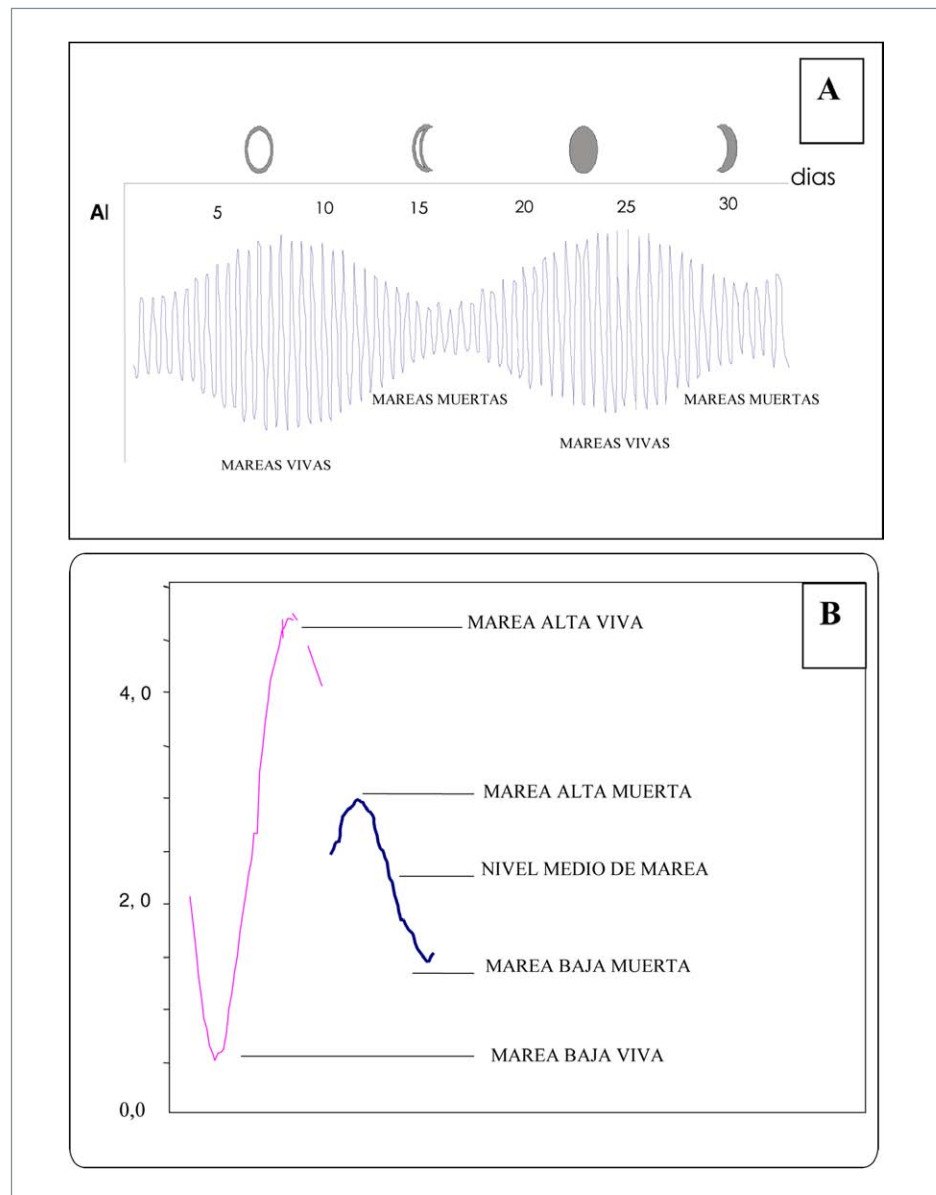
La amplitud de las mareas se define como la diferencia entre los niveles de pleamar y bajamar; ésta varía desde menos de un metro hasta más de seis metros. Siguiendo la clasificación de Davies (1964), si esta diferencia va desde cero a dos metros se habla de un “régimen micromareal”, de dos a cuatro metros sería “régimen mesomareal”, si supera los cuatro metros se hablaría de un “régimen macromareal” y si supera los seis metros sería “régimen macromareal”. Dentro de la región natural ibérico-macaronésica, y más concretamente en las regiones atlántica y mediterránea, se encuentran rangos mareales que van desde micromareal, caso del Mediterráneo, a mesomareal, casos del Atlántico y Cantábrico. La marcada diferencia en el

rango mareal de estas dos vertientes hace que el tipo de hábitat esté presente sólo en la vertiente atlántica.

Es bien conocido que el origen de las mareas está relacionado con la posición relativa entre la Luna y el Sol respecto a la Tierra. Al variar en el tiempo la posición relativa entre estos tres astros, se produce una variación en la amplitud de cada marea, dando lugar a la existencia de lo que se conoce como ciclos mareales. De este modo, a lo largo de un registro mareal se caracterizan ciclos de diferente duración. Los ciclos de menor duración son los semidiurnos que se manifiestan en la desigualdad de las dos mareas diarias. Existen también ciclos de carácter bisemanal, que consisten en la alternancia de mareas vivas y mareas muertas, de manera que cada mes existen dos mareas vivas y dos muertas (ver figura 2.2.A), de acuerdo con el alineamiento o la cuadratura de la Luna y el Sol respecto a la Tierra. Finalmente, existen ciclos semestrales cuya consecuencia es la alternancia de mareas de equinoccio (grandes diferencias entre mareas vivas y muertas) y solsticios (pequeñas diferencias entre las mareas vivas y muertas), (Borrego, 1992; Morales, 1993).

Las variaciones cíclicas sufridas por la marea origina una zonación en la franja intermareal, cuyas zonas se separan por lo que se ha dado en llamar Niveles Críticos de Marea (Doty, 1946) y que son los niveles topográficos medios alcanzados por las pleamares y bajamares durante las mareas vivas y muertas (ver figura 2.2.B). De estos niveles críticos tienen especial importancia los niveles de Marea Baja Viva Media (MBVM), Marea Alta Muerta Media (MAMM) y Marea Alta Viva Media (MAVM), por separar las zonas submareal, intermareal, y supramareal.

El desplazamiento de la onda de marea genera movimientos en la masa de agua, de una forma semejante al desplazamiento circular que se produce en el fenómeno del oleaje, es decir, las partículas de agua se desplazan en órbitas. Cuando al desplazarse, esta onda interfiere con el fondo, las órbitas seguidas por las partículas se convierten en elipses elongadas en su eje horizontal; estas elipses serán tanto más elongadas en la dirección paralela a la costa cuanto menos profundo sea el fondo. Así pues, en zonas costeras, especialmente en zonas intermareales, la fricción es tal que los movimientos verticales son despreciables frente a los movimientos horizon-



**Figura 2.2**  
**Ciclos mareales de**  
**período bisemanal y su**  
**relación con los niveles**  
**críticos de marea.**

tales. Estos movimientos horizontales de la masa de agua son conocidos como corrientes de marea.

Según lo expuesto, parece ser que la magnitud de las corrientes mareales está directamente relacionada con la amplitud mareal; sin embargo esto no siempre es así, pues también intervienen otro tipo de factores, como la morfología y la naturaleza del fondo, la densidad del agua y la presencia de corrientes no mareales.

En zonas costeras someras, como las llanuras de marea, debido a la fricción con el fondo y a la inducción de las mareas desde las zonas abiertas, la

inversión en las corrientes se produce de forma más o menos simultánea con la pleamar o bajamar (Grant, 1987). En estos casos, la velocidad de las corrientes mareales está relacionada con el volumen de agua mareal que intercambia la costa abierta con el sistema restringido (estuario, laguna costera o bahía), conocido como prisma de marea.

Es muy interesante el estudio de los modelos de interacción de corrientes mareales en la zona de contacto entre sistemas canalizados, donde las corrientes de entrada y salida son perpendiculares a la línea de costa y las corrientes mareales de la costa abierta ad-

yacente. Estos modelos de interacción, junto con los patrones de oleaje, condicionan la morfología de los cuerpos arenosos costeros existentes en las desembocaduras de estos canales (tipo de hábitat 1110 Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda (Bancales sublitorales)).

**b) Generación de oleaje en la masa de agua que se extiende sobre la propia llanura durante las mareas altas**

Las llanuras de mareas asociadas a estuarios amplios y a bahías pueden estar afectadas por oleaje generado en el interior del propio sistema. Cuando la anchura y longitud del sistema mareal coincide con la dirección del viento, puede existir el fetch suficiente para generar olas significativas. En este caso, el oleaje puede ser un factor abiótico importante, que influencia los procesos de erosión, transporte y depósito de sedimentos o la transparencia de la columna de agua y, en consecuencia, controla en cierta medida el tipo de organismos presentes.

**c) Pendiente y extensión del fondo**

La orografía del terreno, junto con la amplitud mareal, determina la profundidad con la que cada franja de la zona intermareal se ve sumergida y los tiempos de exposición y submersión y, con ello, la importancia que las corrientes mareales ejercen sobre ese fondo. En general, fondos de baja pendiente desarrollarán extensas llanuras intermareales donde se observa muy bien la zonación biosedimentaria descrita en los capítulos anteriores y donde el transporte de sedimentos tiene lugar verticalmente, desde las zonas más profundas hacia las más someras. Por el contrario, en las zonas de pendiente más alta, generalmente asociadas a canales mareales de estuarios o deltas, se desarrollan bordes de canal activo muy influenciados desde el canal submareal; en este caso, no se presenta una zonación tan clara y el transporte suele ser más longitudinal en relación con las corrientes mareales desarrolladas en el canal cuando la zona intermareal está cubierta de agua.

**d) Físico-química del agua**

En las llanuras mareales asociadas a bahías (Santander y Cádiz), las condiciones de salinidad son siempre características de agua marina; sin embargo,

durante el verano, debido a la alta tasa de evaporación, pueden llegar a alcanzarse condiciones de hipersalinidad. Estas características se dan también en las llanuras mareales de estuarios meridionales con ríos pequeños, como es el caso del Piedras, el Tinto y el Odiel en la provincia de Huelva, donde los caudales de agua dulce son pequeños y estacionales.

En las llanuras mareales asociadas a los estuarios de la franja septentrional (gallegos, asturianos, cantábricos y vascos) y deltas de ríos mayores (Guadiana y Guadalquivir) se dan períodos de mayor estratificación por dilución del agua dulce descargada por los ríos, aunque la salinidad media es también relativamente alta. En estos casos, la variabilidad más grande se produce en forma de gradiente a lo largo del estuario, con valores de salinidad inferiores en las llanuras situadas más cerca del río y superiores en la boca, lo cual condiciona la distribución longitudinal de las comunidades biológicas. A lo largo del año varían los caudales fluviales y estos cambios de salinidad condicionan la distribución de las comunidades biológicas.

En las llanuras mareales situadas dentro de los estuarios onubenses, además del gradiente salino, existe un gradiente de acidez, dado que los ríos Tinto y Odiel proceden de la faja pirítica ibérica y sus aguas presentan de forma natural valores de pH inferiores a 4.

En cuanto a la temperatura, su efecto puede ser doble, ya que, por una parte, puede estimular la producción primaria y el crecimiento de los organismos, pero al mismo tiempo las temperaturas elevadas aumentan más los procesos de respiración que los de fotosíntesis; incluso en las llanuras mareales meridionales puede provocarse evaporación durante los momentos de bajamar en los que la llanura permanece expuesta.

Los valores de nutrientes (disueltos y particulados) en el agua que drena las llanuras mareales suelen ser elevados y aportados desde las zonas submareales conectadas a las mismas (estuarios y bahías), que además han sufrido procesos significativos de eutrofización en las últimas décadas. La limitación por nutrientes, cuando existe, se debe mayoritariamente al nitrógeno, especialmente en las bahías y sector marino de los estuarios; sin embargo, puede suceder limitaciones por fósforo en las zonas más internas y salobres de las llanuras asociadas a los estuarios septentrionales.

### e) Aporte de sedimentos

El tipo de fondo de una llanura de marea estará en función de la competencia de las corrientes mareales y la influencia del oleaje. En general, las llanuras de marea situadas en bahías presentan sedimentos más finos que las situadas en estuarios. Y éstas, a su vez, presentan una zonación en la que las llanuras situadas cerca de la bocana del estuario y cerca de la fuente fluvial presentan sedimentos más arenosos y una zonación vertical mejor delimitada que las llanuras situadas en los sectores centrales de estuarios, donde el sedimento es netamente fangoso y prácticamente sin zonación vertical.

En cuanto a la turbidez, ésta se define como la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión, que provocan que la luz se disperse y sea absorbida. La turbidez es producida por la abundancia de partículas de sedimento, coloides, zoo y fitoplancton. El efecto más notable de la turbidez en un ecosistema acuático es la limitación de la producción primaria y, por consiguiente, de la disponibilidad de oxígeno disuelto. En general, el agua que drena las llanuras mareales españolas presenta valores altos de turbidez y las altas tasas de sedimentación que suelen darse en las mismas están relacionadas con este hecho. Una gran parte de la materia en suspensión está relacionada con procesos de floculación de geles orgánicos, lo cual genera un sedimento rico en materia orgánica; esto hace que en los poros del sedimento del fondo existan condiciones reductoras, lo que puede limitar, a su vez, la comunidad bentónica.

#### ■ Factores bióticos

Los factores biológicos que controlan la estructura y funcionalidad de los ecosistemas mareales están controlados por el equilibrio de la cadena trófica. En el caso de las llanuras mareales, existe una estrecha interrelación entre los factores bióticos y los factores abióticos, de tal modo que factores como la litología y la composición de los fondos o los niveles de exposición/submersión controlan la distribución de especies en la franja intermareal y éstas, a su vez, ejercen un importante control sobre la sedimentación y los tipos de fondo. De este modo, cualquier cambio en los factores bióticos o abióticos es susceptible de crear un efecto en cascada en el resto de los factores, conllevando cambios en la distribución de las comunidades biológicas. A conti-

nuación se van a analizar estos factores de control biótico en función de las comunidades biológicas. Estos factores se utilizarán también como criterio para establecer los indicadores de estado ecológico o estado de conservación.

### a) Fitoplancton y fitobentos

El fitoplancton es un factor biótico de control muy importante en sistemas mareales, debido a que suele ser el principal componente de la producción primaria. En las llanuras mareales, el fitobentos ejerce también un papel importante, con producciones primarias incluso superiores al fitoplancton. Hay que tener en cuenta, además, que la presencia de comunidades fitobentónicas confiere al fondo cohesividad debido a la emisión de geles orgánicos con el fin de generar un sustrato estable para la su vida. Los cambios de fitoplancton y fitobentos, en cuanto a composición y abundancia, afectan a toda la cadena trófica, desde del zooplancton hasta los predadores. Al mismo tiempo, la abundancia de fitoplancton determina la cantidad de luz disponible en las comunidades bentónicas durante los períodos de submersión, lo cual determina en gran parte la abundancia de macrófitos y microalgas presentes en este componente del ecosistema. La cuantificación de composición y abundancia en fitoplancton y fitobentos da una idea de la capacidad productiva del sistema, así como de posibles problemas de eutrofización y otros impactos por actividades humanas.

### b) Macrófitos y macroalgas

Las comunidades biológicas de flora intermareal de evaluación obligatoria para la aplicación de la DMA en las aguas de transición son las macroalgas y las fanerógamas. Estas comunidades pueden representar una parte importante de la producción primaria, especialmente en los estuarios y llanuras mareales. Estos productores primarios son importantes, tanto como fuente de alimento como de refugio para los productores secundarios (invertebrados y peces). Su presencia, además, ayuda a fijar los sedimentos y disminuye la turbidez del agua. La cuantificación de su presencia y abundancia se puede utilizar para evaluar diversos impactos sobre el medio (eutrofización o cambios en los balances sedimentarios).

### c) Macroinvertebrados bentónicos



El estudio de las comunidades de invertebrados bentónicos puede proporcionar información del estado de conservación del ecosistema y de su estructura y productividad. Al tratarse de comunidades fijas (como los macrófitos), suelen reflejar los impactos integrados a lo largo del tiempo, ya sea en la calidad del agua, estabilidad y calidad del sedimento. La comunidad de macroinvertebrados bentónicos es sensible a los cambios de oxígeno, salinidad y nutrientes, por lo que su cuantificación (composición y abundancia) es un parámetro fundamental para evaluar los impactos sobre el ecosistema; además son precisamente estas comunidades las que ejercen bioturbación sobre el fondo, dando lugar a procesos de aireación y oxigenación del sustrato sedimentario. De entre los invertebrados bentónicos susceptibles de evaluación en las llanuras de marea, son fundamentales los anélidos, los moluscos y los crustáceos.

#### **d) Fauna ictiológica**

Las comunidades piscícolas no habitan directamente sobre las llanuras de marea, ya que son medios que se exponen periódicamente a las condiciones subaéreas, aunque sí están condicionadas por el estado del ecosistema intermareal, ya que suelen alimentarse de los niveles inferiores de la cadena trófica de este tipo de hábitat durante los períodos de submersión. La presencia de especies ictiológicas sobre las llanuras de marea está totalmente condicionada por su distribución en el medio submareal que sustenta a la llanura (estuarios, lagunas costeras y bahías). Su alteración por diversos impactos (pesca, contaminación, introducción de especies alóctonas), son factores fundamentales para explicar el estado de conservación de estos medios, ya que sus efectos se pueden extender sobre el conjunto del ecosistema (comunidades planctónicas y bentónicas). Para conocer el estado de conservación es necesario estudiarlo en el conjunto del sistema (estuarino lagunar, o de bahía); así se pueden cuantificar diferentes aspectos de la fauna ictiológica ya descritos en la ficha de estuarios, como su estructura y funcionalidad: estructura taxonómica de comunidades (proporción relativa de especies); estructura funcional de comunidades, evaluando la proporción relativa de grupos biológicos según el tipo de alimentación (plancívoros, invertívoros, piscívoros, detritívoros, etc.); hábitat reproductivo (litófilos, fitófilos, etc.) tipo de migración (anádro-

mos, catádromos, anfídromos); estado sanitario de los peces (proporción de individuos con parásitos, malformaciones, heridas, etc.); estructura de poblaciones (clases de tallas, estructura de cohortes, etc.).

#### **2.5.2. Procesos**

La sedimentación en las llanuras mareales está influida por factores analizados en los párrafos anteriores, que, a su vez, están influidos por el clima que controla: la presión atmosférica, el régimen de vientos, el tipo de organismos colonizadores, el aporte sedimentario y las condiciones químicas del medio.

De este modo, los procesos que tienen lugar en las llanuras mareales pueden clasificarse en físicos, químicos y biológicos.

##### **■ Procesos físicos**

Los procesos físicos más importantes en las llanuras mareales están relacionados, obviamente, con la actividad de las mareas; sin embargo, también juegan un papel importante las pequeñas olas generadas en las propias aguas que inundan la llanura y las tormentas que esporádicamente actúan sobre la misma.

La energía mareal se distribuye de forma desigual a lo largo de la llanura, de tal modo que, en las zonas submareales y la zona intermareal baja, es donde se desarrollan corrientes mareales mayores. Estas corrientes mareales pueden superar los 1,5 m/s en los canales, mientras que en la superficie de la llanura, los rangos de velocidades rara vez superan los 0,5 m/s (Reineck & Shing, 1980); de todos modos, estas velocidades son suficientes para transportar arena y generar formas de fondo. Así, las corrientes mareales introducen el sedimento en la llanura de marea a través de los canales y lo hacen migrar hacia las zonas topográficamente más altas. Aquí queda atrapado de acuerdo con el diagrama de Postma (1967), teniendo en cuenta que, a medida que nos desplazamos en altura, no sólo las corrientes son cada vez menores, sino que, además, actúan cada vez un tiempo menor (ver figura 2.3). Por otra parte, suele ocurrir que las corrientes mareales sean asimétricas.

La distribución de la energía de las corrientes en los diferentes sectores de la llanura de marea condicio-

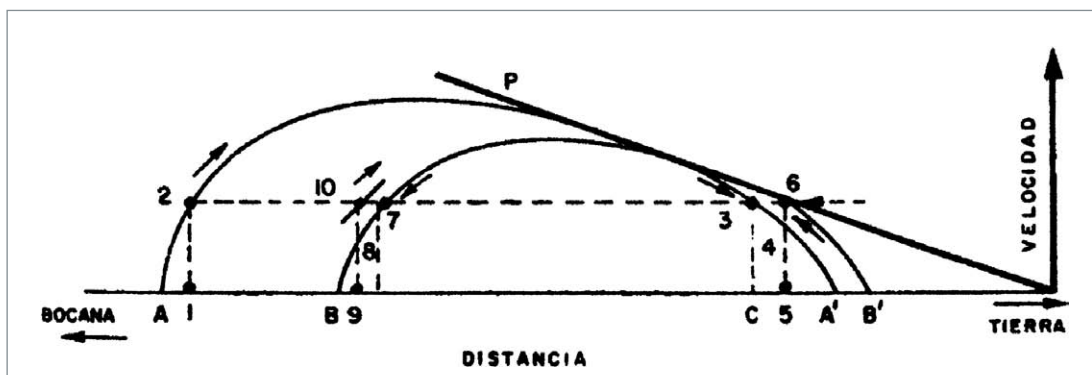


Figura 2.3

Diagrama del transporte de partículas en suspensión en función de la variación de las corrientes de marea (Postma, 1967).

na los procesos sedimentarios y el tipo de sedimentos que se depositan en ellos. De este modo, en las zonas más próximas a los canales, predomina el transporte en carga de fondo; además, al tener éstos una morfología meandriforme, se produce una migración de los mismos con erosión en un margen y sedimentación en el contrario (Reineck, 1967; Vilas, 1981). Esta erosión supera el mm/día y, de tener lugar sobre sedimentos cohesivos, genera cantos blandos (Vilas, 1981).

Sobre la llanura intermareal tiene lugar un proceso mixto entre el transporte en carga de fondo, que ocurre durante los momentos de mayor energía, y la decantación de material en suspensión, que ocurre durante la parada de marea en los repuntes (Klein, 1977; 1985). La importancia relativa entre ambos procesos es gradual, de tal modo que a medida que nos desplazamos hacia zonas topográficamente más elevadas van adquiriendo cada vez mayor importancia los procesos de decantación, a la vez que la importancia de la marea se hace menor frente a la actuación de las pequeñas olas generadas *in situ* (Collins, *et al.*, 1981). Este hecho tiene una notable influencia en la distribución de las facies sedimentarias en la llanura, como veremos más adelante. Por otra parte, la existencia de ciclos mareales de diferente período tiene como consecuencia una ciclicidad en la capacidad de transporte de las corrientes, que se ve reflejada en las características del sedimento depositado en cada ciclo.

En la llanura supramareal predominan claramente los procesos de decantación debido a la baja energía de las corrientes cuando el agua alcanza este nivel. La alta tasa de exposición genera grietas de desecación.

La acción de tormentas periódicas puede afectar a las llanuras de marea en dos sentidos: por una parte, en las zonas más bajas se produce una fuerte erosión y puesta en movimiento de material ya depositado; por otra, es durante las tormentas cuando gran cantidad de sedimento grueso puede introducirse en las zonas más altas de la llanura en forma de *cheniers* (Vilas, *et al.*, 1999). Este sedimento tiene un alto potencial de preservación, ya que el rango de energía que se pone normalmente en juego en estas zonas es mucho menor y no puede retrabajar este material grueso. Por otra parte, hay que tener en cuenta que en las zonas intermareales de las llanuras de marea carbonatadas, es en los momentos posteriores a las tormentas cuando tiene lugar la mayor parte de la sedimentación. Esto ocurre al presentar el agua una mayor cantidad de materia en suspensión procedente de las zonas submareales, teniendo en cuenta que el resto del tiempo se trata de un medio de aguas limpias (Tucker & Wright, 1992).

#### ■ Procesos químicos

Los procesos químicos juegan un papel importante en las llanuras mareales como suministradores de sedimento autógeno. En aquellas llanuras donde tiene lugar predominantemente sedimentación terrígena, los procesos de floculación, que tienen lugar durante los momentos en los que las corrientes mareales son menores, dan lugar a una importante cantidad de sedimento orgánico que se suma al sedimento procedente de la decantación.

Otro tipo de procesos químicos que tienen lugar en las llanuras mareales ocurren en la zona topográficamente más alta de éstas cuando el clima es árido,

como ocurre en las llanuras de los estuarios meridionales españoles. Allí, el agua intersticial que rellena los poros durante los períodos de exposición circula a través de ellos dando lugar a la precipitación capilar de aragonito y dolomita que actúan como cemento formando costras (Shinn, 1983a). Acompañando a esta cementación por capilaridad puede aparecer cristalización evaporítica de yeso, anhidrita y también dolomita (Boggs, 1995).

#### ■ Procesos biológicos

La actividad de los organismos en las llanuras de marea es de vital importancia, ya que se trata de medios con una amplia profusión de vida, tanto animal como vegetal. Esta influencia de los organismos sobre el medio se da en un cuádruple sentido: por una parte, la acumulación, tanto de sus partes blandas como de sus caparzones, o el producto de sus defecaciones puede formar sedimento biogénico; por otra parte, algunos organismos son capaces de modificar las condiciones químicas del medio que los rodea induciendo procesos de floculación o precipitación (sedimentación bioquímica); además, organismos pueden ejercer de pantalla a las corrientes acelerando la decantación y atrapando las partículas de sedimento mediante mucosas cohesivas (sedimentación biomecánica); finalmente la actividad de los organismos sobre el sustrato sedimentario provoca una importante alteración de la estructura interna del sedimento (bioturbación).

De este modo, es típico encontrar rocas compuestas únicamente por caparzones de microorganismos, que pasan a formar parte de la fracción arenosa bioclástica.

Un claro ejemplo de sedimento conformado únicamente por defecaciones es la presencia de lodos peloides procedentes de las bateas de mejillones en la bahía de San Simón (Nombela, *et al.*, 1995).

En cuanto a la sedimentación bioquímica y biomecánica, el ejemplo más típico es la acción de las plantas subacuáticas: por un lado, éstas hacen de pantalla a las corrientes, disminuyendo por fricción su velocidad y contribuyendo a la decantación; por otro lado, la propia planta modifica su entorno químico para mantener su balance osmótico induciendo procesos de floculación y precipitación química.

Existen numerosos ejemplos de la actividad orgánica como trampa de sedimento. El caso más conocido es el de la formación de estromatolitos mediante la adhesión de partículas por parte de las algas verde-azuladas (cianobacterias), aunque el mismo fenómeno ocurre en entornos detríticos, como las llanuras mareales españolas, donde la actividad de microorganismos en los poros del sedimento (diatomeas, foraminíferos y ostrácodos) genera unas mucosas que le confieren un carácter cohesivo (De Boer, 1981).

Si bien los procesos descritos anteriormente contribuyen a la génesis de sedimento en las llanuras de marea, los procesos de bioturbación tienen justo el efecto contrario. La bioturbación consiste en la alteración de gran parte del sedimento debido a la actividad de macroorganismos, que destruyen total o parcialmente el ordenamiento interno previo. Por otra parte, tiene lugar la removilización de una parte del sedimento, al verse privado del elemento de unión que representa la matriz orgánica, que es digerida por los organismos.

La distribución de todos estos procesos biológicos a lo largo de las llanuras de marea es claramente zonal, ya que los organismos se distribuyen verticalmente de acuerdo con su grado de tolerancia a los niveles de exposición y sumersión (figura 2.4.). Así, animales como crustáceos, gasterópodos, pelecípodos, poliquetos, foraminíferos, ostrácodos y diatomeas o vegetales como las fanerógamas marinas, se sitúan en franjas concretas dentro de la zona intermareal (Swinbanks & Murray, 1981). En general, el grado de bioturbación se incrementa hacia las zonas más altas, ya que hacia abajo la migración de formas arenosas puede ser inhibidora de la actividad bentónica. Sin embargo, la presencia de ciertos organismos como diatomeas pueden contribuir a la fijación del sedimento, aumentando el contenido en material lutítico e inhibiendo la migración de formas de fondo. En definitiva, la actividad orgánica puede alterar la zonación sedimentaria normal de las llanuras mareales (Swinbanks & Murray, 1981).

## 2.6. SUBTIPOS

Dentro del tipo de hábitat 1140 Llanura mareales, en España pueden distinguirse diferentes subtipos

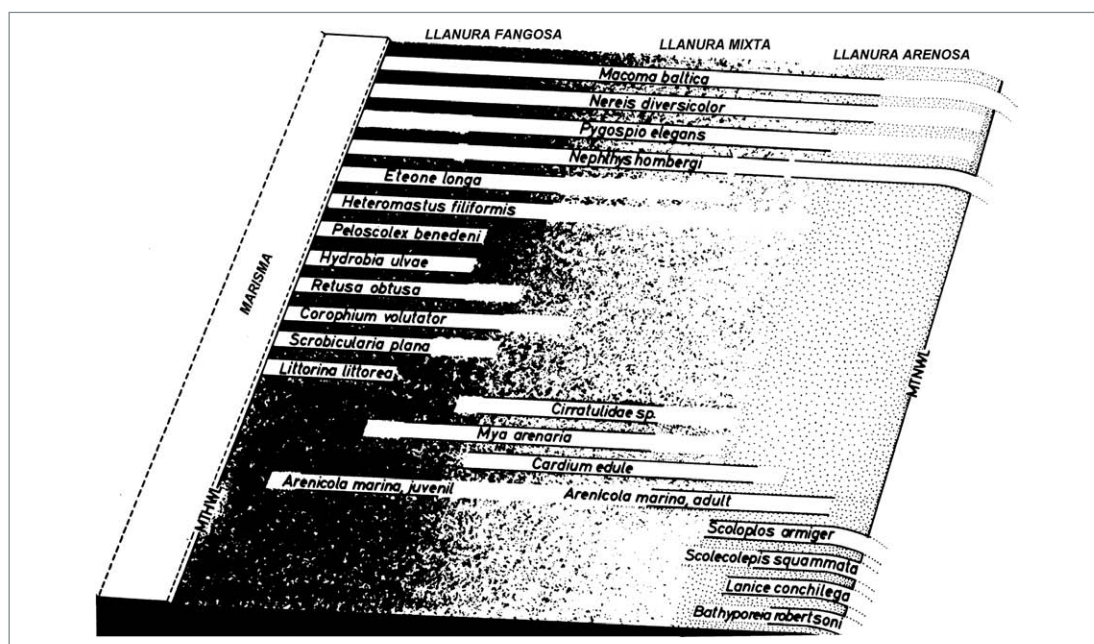


Figura 2.4

Un ejemplo de distribución vertical de los organismos. La llanura mareal de Wadden (Weimer, et al., 1982).

en función del sistema mareal al que se encuentren asociados y del tipo de zona submareal que las drenen. Distinguimos:

- I. Llanuras intermareales asociadas a canales de estuarios.
- II. Llanuras intermareales asociadas a lagunas costeras.
- III. Llanuras intermareales de bahía protegida.

Sus diferencias se basan, sobre todo, en la distribución vertical del sedimento, en la competencia de las corrientes y en la pendiente. De este modo, en las llanuras intermareales asociadas a un canal, el régimen de corrientes y la pendiente suelen ser mucho mayores y la zona baja de la llanura suele ser muy arenosa, mientras que las asociadas a bahías suelen tener un régimen de corrientes más suave y una pendiente menor y son, en general, más fangosas, presentando una zonación más difusa, siendo el caso de las llanuras asociadas a lagunas costeras un caso intermedio.

## 2.7. EXIGENCIAS ECOLÓGICAS

### I. Llanuras mareales asociadas a estuarios

**Clima:** atlántico.

**Vertiente:** atlántica.

**Régimen mareal:** elevado (mesomareal).

**Régimen de corrientes:** elevado.

**Sustrato:** buena zonación desde arenoso a fangoso.

**Estratificación de la columna de agua:** nula.

**Temperatura:** elevada.

**Salinidad media:** elevada.

**Variación de la salinidad:** baja.

### II. Llanuras mareales asociadas a lagunas costeras

**Clima:** atlántico.

**Vertiente:** atlántica.

**Régimen mareal:** elevado (mesomareal).

**Régimen de corrientes:** moderado.

**Sustrato:** zonación variable desde buena (arenoso a fangoso) en la zona de comunicación con el mar a difusa (sólo fangos) en las zonas internas.

**Estratificación de la columna de agua:** nula.

**Temperatura:** elevada.

**Salinidad media:** elevada.

**Variación de la salinidad:** baja.

### III. Llanuras mareales asociadas a bahías protegidas

**Clima:** mediterráneo.

**Vertiente:** mediterránea.

**Régimen mareal:** elevado (mesomareal).

**Régimen de corrientes:** moderado a bajo.

**Sustrato:** zonación difusa (sólo fangos).

**Estratificación de la columna de agua:** nula.

**Temperatura:** elevada.

**Salinidad media:** elevada.

**Variación de la salinidad:** baja.

#### 2.7.1. Especies características y diagnósticas

Las especies características de este tipo de hábitat aparecen tanto en llanuras mareales como en caños de marea, y se encuentran en los tres subtipos anteriores:

- *Zostera noltii* Hornemann: angiosperma marina de pequeño porte que forma poblaciones muy densas. Esta especie puede considerarse como diagnóstica del presente hábitat. Convive con *Zostera marina* y *Zostera nana*.

- *Ulveas* (por ejemplo, *Ulva rigida*, *Enteromorpha intestinalis*): clorophita que forma poblaciones estacionales con máxima presencia entre finales de invierno y principios de primavera. Aunque puede aparecer en sustrato rocoso, cuando crece en sustrato blando se caracteriza por desarrollar frondes de gran tamaño.
- *Gracilariopsis* spp.: alga roja filamentosa (muy apreciada para la extracción de agar). Estacional.
- *Caulerpa prolifera*: alga clorophita característica de las llanuras inter a submareales.

Asimismo, en la tabla 2.3 se ofrece un listado con las especies que, según la aportación de la Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas (SEBCP), pueden considerarse como características y/o diagnósticas del tipo de hábitat de interés comunitario 1140 Llanuras mareales. En ella se encuentran caracterizados los diferentes taxones en función de su presencia y abundancia en este tipo de hábitat.

Tabla 2.3

**Taxones que, según las aportaciones de las sociedades científicas de especies (SEBCP), pueden considerarse como característicos y/o diagnósticos del tipo de hábitat de interés comunitario 1140 Llanuras mareales.**

\* **Presencia:** Habitual: taxón característico, en el sentido de que suele encontrarse habitualmente en el tipo de hábitat; Diagnóstica: entendida como diferencial del tipo/subtipo de hábitat frente a otras; Exclusiva: taxón que sólo vive en ese tipo/subtipo de hábitat.

Con el objeto de ofrecer la mayor precisión, siempre que ha sido posible, la información se ha referido a los subtipos definidos en el apartado 2.6.

Especie	Subtipo	Especificaciones regionales	Presencia*	Abundancia	Ciclo vital/presencia estacional/Biología	Comentarios
<b>PLANTAS</b>						
<i>Zostera marina</i>	1	—	Habitual	Muy abundante	Perenne	
<i>Zostera noltii</i>	1	—	Habitual	Dominante	Perenne	Puede contactar con comunidades de <i>S. maritima</i>
<i>Spartina maritima</i>	1	—	Habitual	Moderada	Perenne	

Datos aportados por la Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas (SEBCP).

**Subtipo 1:** Atlántico

**Referencias bibliográficas:** Fernández Prieto & Bueno, 1997; Rivas-Martínez, *et al.*, 1980.

<i>Cymodocea nodosa</i>	2	—	Habitual	Dominante	Perenne	
<i>Zostera noltii</i>	2	—	Habitual	Moderada	Perenne	
<i>Zostera marina</i>	2	—	Habitual	Escasa	Perenne	
<i>Halophila decipiens</i>	2	—	Habitual	Moderada	Perenne	Participa exclusivamente en las comunidades de fanerógamas submarinas de las Islas Canarias

Datos aportados por la Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas (SEBCP).

**Subtipo 2:** Mediterráneo-Macaronésico

**Referencias bibliográficas:** Hauroun, *et al.*, 2003; Reyes, *et al.*, 1995.





### 3. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN

Como se ha comentado en capítulos anteriores, el tipo de hábitat 1140 Llanuras mareales se encuentra asociado a otros tipos de hábitat, formando parte de un ecosistema mayor, que la mayor parte de las veces es un estuario, aunque en ocasiones puede tratarse de una laguna costera parcialmente restringida o de una bahía protegida. En cualquier caso, aunque se trata de un tipo de hábitat intermareal, se encuentra fuertemente condicionado por los factores de control de las masas de agua que se mueven en los citados ecosistemas. En consecuencia, los factores de seguimiento del estado de conservación de las llanuras intermareales ya han sido tratados y expuestos como parte de los mismos, especialmente, la ficha del ecosistema 1130 Estuarios contempla ampliamente los criterios de evolución de las llanuras mareales y las marismas vegetadas como tipos de hábitat integrados en los estuarios.

Las llanuras de marea, como ecosistemas acuáticos, están contempladas en el ámbito legal de dos directivas europeas, la Directiva de Hábitats (92/43/CEE) y la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE). Los objetivos de ambas directivas siguen diferentes enfoques, que han sido también ampliamente descritos en la ficha del tipo de hábitat 1130 Estuarios. La principal conclusión expuesta en esta ficha, es que las administraciones locales y autonómicas han puesto en marcha un gran número de trabajos con el objetivo de dar cumplimiento a la Directiva Marco del Agua y determinar así el estado ecológico de las masas de agua dentro de sus competencias, especialmente de los espacios protegidos. No ocurre lo mismo con la Directiva de Hábitats, sin embargo, puede deducirse que, aunque los objetivos ambientales de ambas directivas no son exactamente los mismos, se asume que el estado de conservación favorable del tipo de hábitat se encuentra fuertemente relacionado con el estado ecológico según la DMA. Con este criterio, los autores de la ficha 1130 Estuarios utilizan la información generada para el desarrollo de indicadores del estado ecológico según la DMA para establecer indicadores

del estado de conservación y de igual modo se ha adoptado el mismo criterio para hacerlo en el caso del tipo de hábitat 1140 como parte de los estuarios.

#### 3.1. DETERMINACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA SUPERFICIE OCUPADA

Aunque existe una amplia información sobre la superficie ocupada por humedales, tales como los estuarios y las bahías, no existe una buena base de información sobre el porcentaje de esa superficie ocupada por las llanuras mareales, ya que se trata de un trabajo más complejo al ceñirse éstas a una franja relativamente estrecha, localizada en los márgenes de los canales. Una de las recomendaciones para el conocimiento de este tipo de hábitat es que las administraciones autonómicas determinen mediante SIG la superficie ocupada por llanuras intermareales dentro de los estuarios, utilizando como referencia superior el nivel de la Marea Alta Muerta Media, por encima del cual aparece la vegetación halófila pionera y como referencia inferior el nivel de la Marea Baja Viva Media.

#### 3.2. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS ESPECIES TÍPICAS

##### Poliquetos

- *Nereis diversicolor* (“Miñoca”)
- *Marphysa sanguinea* (“Gusana de sangre”)
- *Diopatra napolitana* (“Gusana de canutillo”)

##### Moluscos

- *Scrobicularia plana* (“Coquina de fango”)
- *Monodonta turbinata* (“Burgaillo”)
- *Murex trunculus* (“Caracola”)

- *Murex brandaris* (“Cañailla”)
- *Cerastoderma edule* (“Berberecho”)
- *Ruditapes decussatus* (“Almeja fina”)
- *Ruditapes aureus* (“Perrillo”)

#### Crustáceos

- *Carcinus maenas* (“Coñeta”)
- *Uca tangeri* (“Boca”)

Asimismo, en la tabla 3.1 se ofrece un listado con las especies vegetales que, según la información disponible y la aportación de la Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas (SEBCP), pueden considerarse como típicas del tipo de hábitat de interés comunitario 1140. Se consideran especies típicas a aquellos taxones relevantes para mantener el tipo de hábitat en un estado de conservación favorable, ya sea por su dominancia-frecuencia (valor estructural) y/o por la influencia clave de su actividad en el funcionamiento ecológico (valor funcional).

Taxón	Nivel* y opciones de referencia**	Directrices Estado Conservación						Comentarios
		Área de distribución	Extensión y calidad del tipo de hábitat	Dinámica de poblaciones	Categoría de Amenaza UICN		CNEA***	
					España	Mundial		
<b>PLANTAS</b>								
<i>Zostera noltii</i> Hornem <sup>1</sup>	Hábitat 1140 Subtipo Atlántico (5, 6)	Costas atlánticas de Europa y N de África, mar Mediterráneo, Negro, Caspio y Aral	Desconocida	Desconocida	—	—	—	Principal fanerógama que coloniza el subtipo atlántico
<i>Cymodocea nodosa</i> (Ucria) Aschers <sup>2</sup>	Hábitat 1140 Subtipo Mediterráneo-Macaronésico (1, 4, 5, 6)	Mediterráneo, costas atlánticas del SW de la Península Ibérica, alcanzando W de Marruecos, Islas Canarias y Senegal	Desconocida	Desconocida	Datos insuficientes (DD)	—	—	
<i>Halophila decipiens</i> Osterf.	Hábitat 1140 Subtipo Mediterráneo-Macaronésico (5, 6)	Pantropical	Desconocida	Desconocida	Vulnerable (VU)	—	—	

Datos aportados por la Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas (SEBCP).

#### Referencias bibliográficas:

<sup>1</sup> Moreno & Guirado, 2006; Talavera (inédito a).

<sup>2</sup> Moreno & Guirado, 2006; Pérez, *et al.*, 1997; Talavera (inédito b); VV.AA., 2000.

\* **Nivel de referencia:** indica si la información se refiere al tipo de hábitat en su conjunto, a alguno de sus subtipos y/o a determinados LIC.

\*\* **Opciones de referencia:** 1: taxón en la que se funda la identificación del tipo de hábitat; 2: taxón inseparable del tipo de hábitat; 3: taxón presente regularmente pero no restringido a ese tipo de hábitat; 4: taxón característico de ese tipo de hábitat; 5: taxón que constituye parte integral de la estructura del tipo de hábitat; 6: taxón clave con influencia significativa en la estructura y función del tipo de hábitat.

\*\*\* **CNEA** = *Catálogo Nacional de Especies Amenazadas*.

Con el objeto de ofrecer la mayor precisión, siempre que ha sido posible, la información se ha referido a los subtipos definidos en el apartado 2.6.

**Tabla 3.1**

**Identificación y evaluación de los taxones que, según la información disponible y las aportaciones de las sociedades científicas de especies (SEBCP), pueden considerarse como típicos del tipo de hábitat de interés comunitario 1140 Llanuras mareales.**



### 3.3. EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIÓN

Para dar respuesta a las directrices marcadas en la normativa europea en vigor, los ecosistemas relacionados con masas de agua deberán ser evaluados en cuanto a su estructura y funcionamiento. Como se ha comentado, en la actualidad, y sobre todo en España, es la Directiva Marco del Agua (DMA) la que se encuentra más desarrollada y en algunas Comunidades Autónomas existe ya una compleja metodología desarrollada para valorar el estado ecológico de los tipos de hábitat acuáticos. Dado el avanzado estado de desarrollo de algunas de estas metodologías, se propone utilizarlas para evaluar la estructura y función de los tipos de hábitat de interés comunitario. Sin embargo, previamente deben hacerse algunas consideraciones generales ya indicadas en la ficha del tipo de hábitat 1130:

- En la actualidad, los trabajos de evaluación de los ecosistemas de transición, de acuerdo con los criterios de la DMA, están todavía en proceso de revisión y desarrollo. La mayoría de demarcaciones hidrográficas aún no han establecido métodos oficiales de evaluación y además éstos pueden variar entre demarcaciones. Deberán tenerse en cuenta los cambios que progresivamente puedan introducirse en las metodologías oficiales.
- Por otra parte, en las diferentes comunidades autónomas y del estado español se están desarrollando trabajos para fijar condiciones de calidad óptimas que sirvan de referencia en cada tipo de masa de agua. Estas condiciones pueden hacer modificar algunos umbrales de calidad. Deberá seguirse la evolución de estos trabajos.
- Finalmente, los trabajos de intercalibración a nivel europeo de los indicadores de estado ecológico que deben asegurar que los umbrales de calidad sean comparables en todo el territorio europeo están todavía iniciándose. Esto significa que los protocolos de determinación del estado ecológico pueden modificarse en un futuro y deberá seguirse el resultado de estos trabajos.

#### 3.3.1. Factores, variables y/o índices

En este caso hay que volver a tener en cuenta que existen índices que algunas comunidades autónomas están empleando en los ecosistemas costeros que desarrollan llanuras mareales en su interior. En

el caso de los estuarios, existen buenos indicadores que están siendo aplicados; sin embargo, no existe ningún índice específico concebido para su uso en llanuras de mareas. En este apartado se ha realizado un análisis de los índices propuestos en aguas costeras a nivel autonómico y en cada caso se propone la utilización de un índice específico para las llanuras mareales, que en muchos casos se ha adaptado de uno o varios preexistentes.

Hay que destacar que no se indican valores de referencia ni umbrales definitivos para la diferenciación del estado ecológico, ya que en la mayoría de los casos todavía no existe suficiente información y validación para proponer unos criterios fiables. En general, se recomienda el establecimiento de una red de puntos de control, seguimiento y muestreo en cada sistema donde se desarrollen llanuras mareales y donde se determinen los indicadores que se proponen a continuación.

#### ■ Indicadores biológicos

##### a) Zoo y fito *microbentos*

No existen antecedentes de utilización de este indicador como criterio marcador de la calidad del tipo de hábitat. Sin embargo, existen numerosos trabajos que indican que, en general, las especies microbentónicas, como diatomeas, ostrácodos y foraminíferos son muy sensibles a la contaminación y no aparecen en llanuras mareales contaminadas. De tal modo, se propone la utilización de las asociaciones microbentónicas como indicador de la salud de las llanuras mareales:

$$\text{Índice de riqueza microbentónica} = \text{Número de especies presentes} / \text{Número de especies posibles}$$

##### b) Vegetación acuática intermareal

En Cantabria y Asturias se ha utilizado la vegetación intermareal de los estuarios. Concretamente Cantabria ha desarrollado el *Índice de Vegetación de Estuarios* (IVE), que integra tres índices parciales: el Índice de riqueza ( $I_{riq}$ ), el índice de cobertura ( $I_{cob}$ ) y el índice de especies invasoras ( $I_{inv}$ ). En Asturias, además, se ha realizado un importante esfuerzo por desarrollar umbrales que puedan aplicarse en toda la zona atlántica española y que incluso pueda ser extrapolada a otros países en los que existan estuarios con las mismas características.

El punto de partida para el análisis de la vegetación en ambas comunidades consiste en la realización de una cartografía de tipos de hábitat basada en la Directiva 92/43/CEE. La cartografía se elabora sobre topografía de escala adecuada a cada caso. Con toda la información recopilada, se calculan una serie de parámetros que se integrarán en un índice final, el cual permitirá determinar la calidad de las masas de agua de transición, de acuerdo al estado ecológico que presentan las macroalgas y las angiospermas.

Los índices propuestos en Cantabria y Asturias no son del todo válidos para las llanuras mareales, ya que, al referirse a todo el estuario, consideran a las marismas como parte de la franja intermareal y valoran la riqueza de la vegetación de marisma en función del número de comunidades o tipos de hábitat diferentes que aparezcan en la misma. A pesar de ello, la metodología propuesta es del todo coherente y se propone la adaptación de estos índices para su utilización en la franja intermareal, excluyendo la franja ocupada por vegetación halófito superior.

En el País Vasco trataron de aplicar la metodología de Orfanidis, *et al.* (2001), que básicamente trabaja con la cobertura de las especies de macroalgas, dividiéndolas en dos grupos:

- I. Sensibles a la contaminación (especies de vida larga, talos grandes, etc.). Fundamentalmente grandes algas: *Fucus*, *Cystoseira*, *Sargassum*.
- II. Oportunistas (especies de vida corta, talos filiformes, etc.). Fundamentalmente algas verdes, epifitas, etc.

Así, se propone que, de acuerdo con la metodología desarrollada por Asturias, se cartografie en cada sistema la franja intermareal comprendida entre la Marea Baja Viva Media y la Marea Alta Muerta Media, calculando su superficie y empleando los índices establecidos por Cantabria, adaptados a esta zona:

- El índice de riqueza valorará en número de especies vegetales autóctonas presentes.
- El índice de cobertura valorará la superficie intermareal que se encuentra vegetada, referido exclusivamente al área intermareal del estuario.
- En el caso del índice de especies invasoras se valorará la presencia de especies que suponen un riesgo para la biodiversidad original de la llanura mareal, al desplazar a las especies autóctonas. Para valorar este indicador, en primer lugar, se evaluará

independientemente la cobertura de las especies invasoras en las llanuras mareales, obteniéndose el valor del índice parcial de especies invasoras ( $I_{inv,i}$ ) mediante una escala de valoración.

#### c) Macroinvertebrados bentónicos

En el caso de los macroinvertebrados bentónicos, también se han realizado numerosas aproximaciones de índices de estudio para estuarios y llanuras costeras en diferentes comunidades, principalmente las comunidades de la Costa Cantábrica. Nos encontramos con la misma problemática que en el caso de la vegetación: estos índices se proponen para todos los tipos de hábitat asociados al estuario, incluyendo las llanuras mareales. Sin embargo, algunos de estos índices son de fácil aplicación en este tipo de hábitat de forma aislada.

La comunidad asturiana aún no ha desarrollado un índice que pueda ser de aplicación; sin embargo, se encuentra en fase de recogida de muestras de invertebrados bentónicos a fin de utilizar la información obtenida en la elaboración del mismo y sí ha hecho una propuesta para la metodología de muestreo que debe emplearse.

El País Vasco y Cantabria coinciden en la aplicación a los ecosistemas costeros de tres índices usados con éxito internacionalmente para evaluar el estado ecológico de los estuarios y aguas costeras:

- La riqueza específica, que puede ser fácilmente calculada como el número total de taxa.
- El índice AMBI (AZTI Marine Biotic Index), desarrollado por la Fundación AZTI (Borja, *et al.*, 2000).
- El índice de diversidad de Shannon-Wiener (HI).

La metodología empleada en la recogida de macrofauna bentónica fue similar en todos los casos. Se emplearon diferentes tipos de dragas con una superficie operativa conocida, lo que permitió obtener muestras cuantitativas. En todos los casos la recogida de muestras fue realizada desde embarcación y normalmente las muestras fueron tamizadas con mallas de 500  $\mu\text{m}$ .

Para el caso de las llanuras mareales, se propone la recogida manual durante las bajamareas de 500 g de muestra en los primeros 10 cm del sedimento. En cada uno de los puntos de muestreo se recogerán

tres muestras distribuidas verticalmente: una en la zona situada entre la Pleamar Muerta Media y el Nivel Medio de Marea (zona predominantemente expuesta), una segunda entre este último nivel y la Bajamar Muerta Media (zona predominantemente sumergida) y una última entre éste y la Bajamar Viva Media (Zona escasamente expuesta). Para la obtención del macrobentos, las muestras deberán tamizarse igualmente con tamices de 500 µm.

En cuanto a los índices, se propone que se siga la utilización de los tres empleados por Cantabria y el País Vasco, tal y como se describe pormenorizadamente en la ficha del tipo de hábitat 1130 Estuarios.

#### ■ Indicadores físico-químicos

Los parámetros físico-químicos enumerados a continuación son medidos habitualmente en los ecosistemas acuáticos; la información que proporcionan ayuda a entender la estructura y función del ecosistema, además de aportar información ecológica relevante para interpretar el estado de las comunidades biológicas. En el caso de las llanuras mareales, las mediciones de parámetros físico-químicos se realizan comunmente en el agua contenida en los poros del sedimento, aunque los contenidos en contaminantes se determinan, bien en la materia en suspensión del agua que cubre esta zona durante las pleamares, bien en los sedimentos del fondo.

##### a) Temperatura

La temperatura en un tipo de hábitat acuático es un factor que influye no sólo en el ciclo vital de los organismos sino también en todos los procesos físicos, químicos y biológicos. En las llanuras mareales la temperatura varía durante los ciclos de marea, la época del año y el grado de salinidad. En general, puede afirmarse que la temperatura del agua que drena las llanuras mareales españolas se mantiene entre los 10 y los 28 °C. Temperaturas menores a 10 °C pueden darse puntualmente en el agua de los poros durante las bajamares invernales en las llanuras mareales de la franja atlántica del norte de España. Las temperaturas mayores a los 28 °C suelen darse en llanuras mareales situadas en estuarios donde se vierten aguas de refrigeración de maquinarias industriales.

Se recomienda medir la temperatura como mínimo mensualmente en la columna de agua y en el sedimento.

##### b) pH

La acidificación-basificación representa la pérdida de capacidad neutralizante del agua. La modificación del pH provoca alteraciones en todas las comunidades animales y vegetales de los sistemas dependientes del agua. Además, pHs por debajo de 6 y por encima de 9 favorecen la disolución de carbonatos, sílice y metales pesados, dejándolos más fácilmente biodisponibles (y más tóxicos) para la biota.

De forma natural, las variaciones de pH responderán a los procesos metabólicos que se den en el agua. Valores elevados de pH suelen provenir de elevadas concentraciones de dióxido de carbono en el agua, producto de la respiración. Valores bajos de pH pueden provenir de la degradación de la materia orgánica, natural o alóctona (antrópica), aunque en el caso de los estuarios onubenses son los ríos los que aportan aguas con pH inferior a 3. Por ello, la determinación del grado de acidificación puede informar sobre la calidad del estuario y los tipos de hábitat asociados al mismo.

El potencial ecológico puede medirse en función del pH de acuerdo con la siguiente escala:

Valor de pH	Potencial ecológico
1-4	Muy malo
4-6	Malo
6-8	Bueno
8-10	Malo
10-14	Muy malo

Tabla 3.2

**Medida del potencial ecológico en función del pH.**

Se propone medir (como mínimo) mensualmente el pH del agua en la columna de agua y en los sedimentos del fondo.

### c) Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es el factor más limitante de la vida en un ecosistema acuático; depende directamente del intercambio con la atmósfera y, sobre todo, del balance fotosíntesis/respiración (F/R) que se produce en dicho ecosistema. Cuando un ecosistema acuático se encuentra en relativo equilibrio F/R, el oxígeno no es limitante para la mayoría de los organismos; el problema surge cuando la respiración supera a la producción, lo cual conduce a la disminución del oxígeno (hipoxia) que puede llegar hasta su agotamiento (anoxia). El caso más conocido de desequilibrio en la tasa F/R es la disminución del oxígeno por eutrofización. Cuando el oxígeno disuelto disminuye drásticamente, sólo un reducido grupo de organismos es capaz de sobrevivir gracias a las adaptaciones para aprovechar esos bajos niveles; un ejemplo muy conocido son los invertebrados que poseen hemoglobina como pigmento respiratorio. Las comunidades de ecosistemas acuáticos con poco oxígeno disuelto suelen ser muy poco diversas. Se considera que los valores de oxígeno por debajo de 3 mg/l (hipoxia) pueden ser dañinos para muchas especies acuáticas. Por el contrario, aguas con más de 10 mg/l (eutrofia), pueden desarrollar tantos individuos que su respiración finalmente acabará consumiendo totalmente el oxígeno. El estado trófico del agua se mide por la siguiente escala (OECD, 1982):

Oxígeno disuelto (mg/l)	Estado trófico
0,1-1	Ultraoligotrófico
1-3	Oligotrófico
3-10	Mesotrófico
10-30	Eutrófico
> 30	Hipereutrófico

Tabla 3.3

Medida del estado trófico en función del oxígeno disuelto en agua (mg/l).

El oxígeno disuelto se medirá directamente del agua, en profundidad y en superficie, en la parte alta, media y baja del estuario, con una frecuencia mínima mensual.

En el caso de las llanuras mareales, influye tanto el oxígeno disuelto en el agua que circula sobre la mis-

ma durante las pleamares como el oxígeno disuelto en el agua de los poros, ya que la presencia de materia orgánica contribuye al aislamiento entre este agua intersticial y la columna de agua, pero además consume el oxígeno al oxidarse. En general, se considera normal que el agua de los poros presente condiciones anóxicas en las llanuras de marea fangosas, mientras que en las arenosas las condiciones del agua de los poros pueden ser más oxidantes debido a una mayor porosidad unida a una mayor comunicación con el agua corriente.

### d) Nutrientes

Los nutrientes inorgánicos disueltos en el agua son indispensables para los productores primarios y, por lo tanto, para el mantenimiento de la cadena trófica. Los nutrientes más importantes son los compuestos de nitrógeno y fósforo. Las formas predominantes de nitrógeno en ecosistemas acuáticos son los nitratos y el amonio, mientras que para el fósforo son los ortofosfatos. Un enriquecimiento de estos nutrientes por aportes antrópicos causa el crecimiento desmesurado de los productores primarios, generando episodios de eutrofización con concentraciones elevadas de fitoplancton. La medida de las concentraciones de nutrientes puede revelar posibles problemas de eutrofización.

En aguas dulces se ha propuesto la siguiente escala de concentración de nutrientes.

Para la determinación de la concentración de nutrientes disueltos (nitrato, amonio y fosfato) debe recogerse una muestra de agua y sedimentos para analizarse en el laboratorio mediante protocolos estandarizados. Se recomienda una frecuencia de muestreo mensual.

Concentración de nutrientes (mg/l)	Estado trófico
1-6	Ultraoligotrófico
6-10	Oligotrófico
10-60	Mesotrófico
60-100	Eutrófico
100-1.000	Hipereutrófico

Tabla 3.4

Medida del estado trófico en función de la concentración de nutrientes (mg/l).

### e) Salinidad y conductividad

La salinidad y la conductividad aportan información sobre la concentración de sales solubles en el agua. Este parámetro influye en el equilibrio osmótico de los organismos y limita la presencia de aquellos organismos no tolerantes. En llanuras de marea se producen constantes cambios de salinidad debi-

do a los períodos cíclicos de exposición (evaporación) y submersión (dilución); además, en las llanuras mareales localizadas en estuarios se producen cambios de salinidad en las llanuras localizadas en diferentes sectores del mismo, de tal forma que hacia el río se produce un decrecimiento importante de la salinidad. La escala de salinidad utilizada más comunmente es la siguiente:

% sales (mg/l)	Estado halino	Agua
< 0,5	Límnico	Dulce
0,5-5	Oligohalino	Salobre
5-18	Mesohalino	
18-30	Polihalino	
30-40	Euhalino	Marina
> 40	Hiperhalino	Mares cerrados

Tabla 3.5

Clasificación del estado halino del agua en función del porcentaje de sales (mg/l).

Se recomienda medirlo mensualmente en el agua de los poros durante las pleamares y las bajamares y en la columna de agua durante las pleamares.

En la actualidad no se conoce la existencia de ningún índice que relacione el estado ecológico con la combinación de las escalas utilizadas para la valoración de los indicadores físico-químicos en sistemas acuáticos, tanto menos en sistemas intermareales.

#### 3.3.2. Protocolo para determinar el estado de conservación global de la estructura y función

En cada punto de control, se determinará el estado ecológico a partir de los factores biológicos y físico-químicos mencionados en el apartado anterior, tal como se muestra en el esquema de la figura 3.1.

El resultado de la estación se extrapolará para toda el área de influencia que se supone bajo las mismas condiciones ecológicas.

Alternativamente, el estado ecológico puede evaluarse con la metodología establecida por la administración autonómica a la que pertenezca. Los datos para determinar el estado ecológico deberán tomarse expresamente, o bien tomar los datos válidos previos que posean las administraciones.

En cuanto al estado de conservación del tipo de hábitat, al no haber metodologías establecidas para su determinación, otras fichas proponen que éste se determinará a partir del estado ecológico, según la tabla 3.6.

Estado ecológico	Estado de conservación
Muy bueno	Favorable
Bueno	
Moderado	Desfavorable - Inadecuado
Deficiente	
Malo	Desfavorable - Malo

Tabla 3.6

Tabla para la determinación del estado de conservación a partir del estado ecológico.

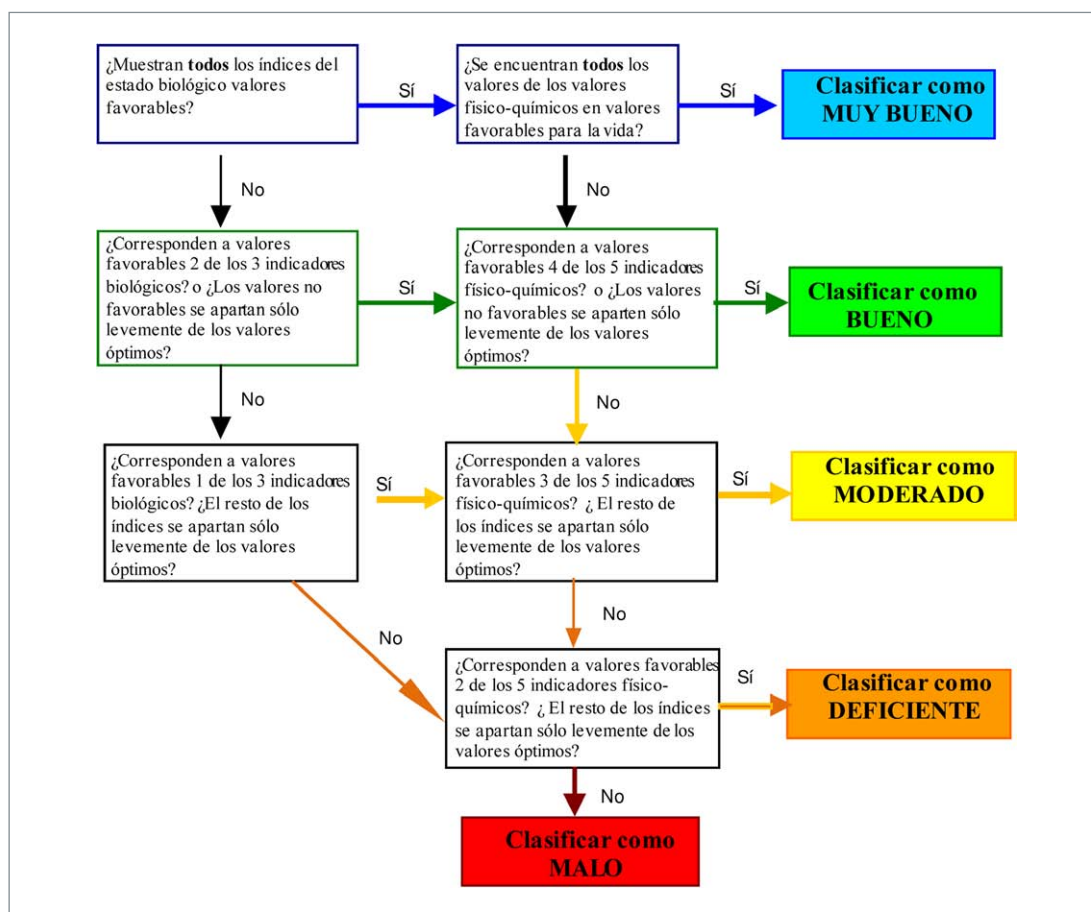


Figura 3.1

Procedimiento de determinación del estado ecológico.

### 3.3.3. Protocolo para establecer un sistema de vigilancia global del estado de conservación de la estructura y función

Se establecerán varios puntos de muestreo por área de importancia comunitaria. En llanuras de marea asociadas a estuarios es necesario localizar un punto de muestreo por cada área de influencia (fluvial, mezcla y marina), en llanuras asociadas a bahías y

lagunas costeras se establecerán al menos dos puntos (zonas externa e interna). En cada punto se determinarán todos los factores biológicos y físico-químicos de forma periódica. Esta periodicidad dependerá de las particularidades del medio, de acuerdo con la tabla 3.7. Es necesario tener en cuenta que hay que hacer diferentes mediciones a lo largo del año, teniendo en cuenta los ciclos biológicos de las especies.

	Biológicos			Físico-químicos
	Macro-invertebrados	Macrófitos	Fitobentos	
Sin riesgo*	2 años	2 años	2 años	Estacional
En riesgo*	1 año	1 año	1 año	Mensual

\* Ver el apartado siguiente (3.4).

Tabla 3.7

Periodicidad en los muestreos de parámetros físico-químicos y biológicos en llanuras mareales.

### 3.4. EVALUACIÓN DE LAS PERSPECTIVAS DE FUTURO

#### Metodología para la evaluación del riesgo

El riesgo del tipo de hábitat se determinará a partir del riesgo de que las masas de agua donde se encuentra no alcancen el buen estado ecológico, cosa que equivale a decir que el mismo se podría encontrar

en un estado de conservación desfavorable. El análisis de riesgo debe realizarse a partir de un análisis de presiones y otro de impactos, determinándose según la tabla 3.8.

		Presión			
		Nula	Baja	Media	Alta
Impacto (estado ecológico)	Muy bueno	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo	En riesgo
	Bueno	Sin riesgo	Sin riesgo	En riesgo	En riesgo
	Moderado	Sin riesgo	En riesgo	En riesgo	En riesgo
	Deficiente	En riesgo	En riesgo	En riesgo	En riesgo
	Malo	En riesgo	En riesgo	En riesgo	En riesgo

Tabla 3.8

Análisis del riesgo en función del análisis de presiones e impactos.

#### Análisis de presiones

El análisis de presiones se realizará en aquellas masas de agua donde se encuentre el tipo de hábitat. Con el fin de aprovechar la información generada por la Directiva Marco del Agua, el análisis de presiones se realizará siguiendo la misma metodología de cada demarcación hidrográfica donde se halle el tipo de hábitat de interés comunitario. Como ejemplo, se adjunta en la tabla 3.9 la parte de la metodología establecida por la Agencia Catalana del Agua (ACA, 2005a) que es aplicable a llanuras mareales, al ser la que mejor contempla el cálculo de las presiones desde un punto de vista cuantitativo. Esta metodología está concebida para sistemas fluviales, pero en la mayoría de casos se puede aplicar

a los estuarios, y es necesario añadir elementos específicos para llanuras intermareales. Hay que tener en cuenta que muchas de las actuaciones que generan presión directamente sobre los sistemas fluviales modifican la composición de las masas de agua en los sistemas costeros del área donde éstos desembocan, tales como estuarios, deltas o bahías, y, a su vez, las presiones sobre la masa de agua de estos sistemas inciden sobre las llanuras mareales que se asientan en sus márgenes intermareales. De la tabla original se han eliminado las presiones que no influyen directamente sobre las llanuras de marea, y del mismo modo se han añadido nuevas propuestas de presiones no contempladas en el protocolo catalán. A continuación se detalla la forma de cuantificar las presiones:

Tabla 3.9

Metodología establecida por la Agencia Catalana del Agua (ACA, 2005).

Presión	Fórmula
<b>ALTERACIONES MORFOLÓGICAS</b>	
Presas y esclusas	$RI\_PRS = \frac{1}{0,5} \times \frac{\text{Número presas y esclusas}}{\text{Longitud MA}}$

► Continuación Tabla 3.9

Presión	Fórmula
<b>ALTERACIONES DEL RÉGIMEN DE CAUDALES FLUVIALES SOBRE LOS SISTEMAS ESTUARINOS ASOCIADOS</b>	
Extracciones de agua	$RI_{PC} = \frac{CM}{RN(Q50) - CC}$
Alteración hidrológica por embalses	$RI_{RF} = \frac{1}{obj} \times \frac{\text{Volumen}}{RN}$
Alteración hidrológica por derivaciones hacia minicentrales hidroeléctricas	$RI_{PMN} = \frac{1}{12} \sum \frac{CM}{(RN - CC)}$
<b>USOS DEL SUELO EN MÁRGENES ESTUARINOS Y LLANURAS MAREALES</b>	
Invasión de la zona intermareal por usos urbanos	$RI_{PINZU} = \frac{1}{0,20} \times [PZU100 + (0,5 \times (PZU500 - PZU100))]$
Invasión de la zona intermareal por usos portuarios	$RI_{PINZPt} = \frac{1}{0,20} \times [PZPt100 + (0,5 \times (PZPt500 - PZPt100))]$
Invasión de la zona intermareal por actividades extractivas (dragados)	$RI_{PINEX} = \frac{1}{0,20} \times \left[ \frac{PEA100 + (0,5 \times (PEA500 - PEA100) + (0,5 \times PENA100) + (0,25 \times (PENA500 - PENA100)))}{RN} \right]$
Invasión de la zona intermareal por explotaciones salineras y de acuicultura	$RI_{PINFO} = \frac{1}{0,25} \times [PFO100 + (0,5 \times (PFO500 - PFO100))]$
<b>FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN</b>	
Vertidos biodegradables	$RI_{DQO} = \frac{1}{5} \times \left[ \frac{\text{Caudal vertido} \times DQO_{media}}{RN} \right]$
	$RI_{PT} = \frac{\text{Caudal vertido} \times \text{Conc. fósforo total}}{RN}$
	$RI_{ANS} = \frac{1}{20} \times \left[ \frac{\text{Carga orgánica no saneada}}{RN} \right]$
	$RI_{PBD\_AC} = \frac{1}{10} \times \left[ \sum ((\sum PBD) \times e^{-0,0001 \times \text{Longitud río}}) \right]$
	$RI_{PT\_AC} = \left[ \sum ((\sum PT) \times e^{-0,0001 \times \text{Longitud río}}) \right]$
	$RI_{DSU} = \frac{1}{20} \times \left[ \frac{\text{V. escorrentía} \times \text{Conc. DQO}}{\text{Caudal RN}} \right]$
<b>FUENTES DIFUSAS DE CONTAMINACIÓN AL RÍO O LOS MÁRGENES DEL ESTUARIO, LAGUNA COSTERA O BAHÍA</b>	
Vertidos industriales y mineros no biodegradables	$RI_{PI} = \frac{1}{0,05} \times \left[ \frac{\sum (\text{Caudal vertido} \times \text{Coeficiente})}{RN} \right]$
Vertederos de residuos sólidos urbanos	$RI_{AU} = \frac{1}{0,01} \times \left[ \frac{\text{Volumen vertedero} \times \text{Coef. aportación}}{\text{Superf. CA}} \right]$

Sigue ►



► Continuación Tabla 3.9

Presión	Fórmula
<b>FUENTES DIFUSAS DE CONTAMINACIÓN AL RÍO O LOS MÁRGENES DEL ESTUARIO, LAGUNA COSTERA O BAHÍA</b>	
Vertederos de residuos sólidos mixtos (urbanos e industriales)	$RI_{AM} = \frac{1}{0,1} \times \left[ \frac{\text{Volumen vertedero} \times \text{Coef. aportación}}{\text{Superf. CA}} \right]$
Usos agrícolas	$RI_{UA} = \frac{1}{obj} \times \left[ \frac{\text{Superf. UA} \times \text{Coef. aportación}}{\text{Superf. CA}} \right]$
Usos urbanos	$RI_{UU} = \frac{1}{0,10} \times \left[ \frac{\text{Superf. URB} \times \text{Coef. aportación}}{\text{Superf. CA}} \right]$
Deyecciones ganaderas	$RI_{DJ} = \frac{1}{60} \times \frac{\sum (CB \times NG) \times \text{Coef. aportación}}{\text{Superf. CA}}$
Fangos de las EDAR	$RI_{FE} = \frac{1}{2} \times \left\{ \left[ \frac{1}{45} \times \frac{\text{Carga N} \times \text{Coef. aportación}}{\text{Superf. CA}} \right] + \left[ \frac{1}{30} \times \frac{\text{Carga P} \times \text{Coef. aportación}}{\text{Superf. CA}} \right] \right\}$
Excedentes de nitrógeno	$RI_{EN} = \frac{1}{10} \times \left[ \frac{\text{Càrrega N}}{\text{Superf. CA}} \right]$
Suelos contaminados y potencialmente contaminados	$RI_{SC} = \frac{1}{0,001} \times \left[ \frac{\text{Superf. SC} \times \text{Coef. SC} \times \text{Coef. aportación}}{\text{Superf. CA}} \right]$
Vías de comunicación	$RI_{VC} = \frac{1}{0,025} \times \left[ \frac{\text{Superf. VC} \times \text{Coef. aportación}}{\text{Superf. CA}} \right]$
Zonas mineras	$RI_{ZM} = \frac{1}{0,05} \times \left[ \frac{\text{Superf. ZM} \times \text{Coef. aportación}}{\text{Superf. CA}} \right]$
Escombros salinos	$RI_{RS} = \frac{1}{0,0001} \times \left[ \frac{\text{Superf. RS} \times \text{Coef. aportación}}{\text{Superf. CA}} \right]$
Especies invasoras	Estimado a partir del número de especies invasoras en cada masa de agua

### Análisis de impactos

El impacto se determinará directamente del estado ecológico, tal como anteriormente se ha indicado.





## 4. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN

El principal objetivo de la Directiva de Hábitats (92/43/CEE) es la conservación de aquellos tipos de hábitat naturales y de sus especies típicas, entendiendo por estado de conservación de un tipo de hábitat: *“el conjunto de las influencias que actúan sobre el hábitat natural de que se trate y sobre las especies típicas asentadas en el mismo y que pueden afectar a largo plazo a su distribución natural, su estructura y funciones, así como a la supervivencia de sus especies típicas en el territorio a que se refiere el artículo 2”*. Por lo tanto se ha de poner énfasis en la minimización de las presiones que afectan a las llanuras de marea como tipo de hábitat integrado en estuarios, lagunas costeras o bahías protegidas, con el objetivo de preservar su funcionalidad y su integridad biótica.

Las principales recomendaciones para la conservación de las llanuras de marea son:

- Desarrollar índices específicos para el estudio del grado de conservación de las llanuras mareales, revisando los índices adaptados de otros tipos de hábitat que se proponen en esta ficha.
- Minimizar las alteraciones del régimen mareal o restaurarlo en el caso que esté alterado total o parcialmente por la presencia de infraestructuras.
- Restaurar los humedales circundantes, con el objetivo de recuperar la diversidad biológica y mejorar la calidad del agua.
- Reducir las entradas de contaminantes mediante medidas en origen (reducción de vertidos) y mediante la mejora de los procesos de depuración.
- Desarrollar estudios y programas de control para las principales especies invasoras.
- Desarrollar programas de educación ambiental y de participación para implicar a la población local en la gestión y conservación de los estuarios.
- Aumentar el estatus de protección de aquellas zonas intermareales que, por sus valores geológicos o biológicos, lo requieran para minimizar los impactos antrópicos.
- Controlar las actividades de explotación de los recursos biológicos y geológicos de las llanuras mareales (marisqueo, pesca, navegación, dragados, salinas, piscifactoría, etc.), realizando planes sectoriales para la gestión sostenible de dichas actividades.





## 5. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

### 5.1. BIENES Y SERVICIOS

Los bienes y servicios que presta un ecosistema se pueden clasificar en cuatro grandes tipos: suministro, regulación, servicios de base y servicios culturales. Las dunas costeras cumplen con todos ellos, según los mecanismos que se exponen a continuación.

#### Servicios de suministro

Las llanuras mareales y marismas constituyen áreas de acumulación preferente de sedimentos finos costeros, con una típica tendencia a la agradación o ascenso vertical de la superficie sedimentaria, y a la progradación o avance horizontal de la costa. La procedencia de los sedimentos que alimentan a estos sistemas sedimentarios suele ser habitualmente los ríos, bien conectados directamente a ellos (marismas estuarinas), o bien ubicados en áreas próximas. En cualquier caso, el balance sedimentario positivo hace que la evolución natural de las marismas sea la progresiva continentalización. Este proceso conlleva una sucesión de especies vegetales que colonizan y pueblan las marismas, desde las algas intermareales, pasando por las colonias de *Spartina* y *Salicornia*, para culminar en arbustos típicamente continentales. Por lo tanto, la evolución de las marismas supone una expansión de los ámbitos continentales hacia el mar y el suministro de una **base sedimentaria**, rica en materia orgánica, que sustenta el desarrollo posterior de **suelos**, primero transicionales y posteriormente típicamente continentales.

Por otro lado, las llanuras intermareales constituyen áreas de intercambio de flujos hídricos de procedencia mixta, marina y fluvial. Ambos flujos transportan partículas y sedimentos de tamaño muy fino (limo y arcilla), fracción en la que habitualmente se concentra la materia orgánica. El aporte sedimentario a la marisma a través de los canales mareales constituye, así, una **fuentes de nutrientes** de primera importancia para el desarrollo de muy diversas especies animales litorales inter y submareales (moluscos, crustáceos, erizos, peces, etc.), razón que justifica la altísima biodiversidad de estos tipos de hábitat.

#### Servicios de regulación

Los sistemas sedimentarios mareales constituyen una franja costera que protege los ámbitos naturales litorales del embate de olas, corrientes y vientos. Se trata de áreas que amortiguan la acción marina, cuya geometría, constituida por redes intrincadas de canales mareales, permite la distribución eficiente de nutrientes y sedimentos que se reparten a lo largo de porciones costeras amplias. Por otro lado, los sistemas marismeníos facilitan una transición ecológica progresiva, desde ambientes típicamente marinos a otros típicamente continentales, recibiendo la acción de procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos procedentes desde ambos ecosistemas y regulando su interacción.

#### Servicios de base

Las llanuras y marismas constituyen la base sobre la que se implantan especies vegetales colonizadoras que posteriormente, y por su función de atrapamiento de sedimentos finos, asientan el suelo, elevan su topografía manteniéndola a salvo de inundaciones mareales y, finalmente facilitan la implantación de nuevas especies de carácter mixto o directamente continental. Esta sucesión, que conduce a una progresiva continentalización de ambientes marinos y costeros y a una alta proliferación de ambientes de transición, siempre los más ricos y variados, se establece a través del sustento morfosedimentario constituido por las acumulaciones fangosas de las llanuras mareales y marismas. La definitiva continentalización de estos ambientes supone, además, la base para la proliferación de suelos húmedos que rápidamente se cubren de pastos, fuente alimenticia de diversos vertebrados, silvestres y domésticos.

#### Servicios culturales

Debido a la conexión con el ambiente marino, y por tratarse de sistemas que continuamente reciben aportes oceánicos, desarrollados en torno al nivel medio del mar pero afectados por las mareas, históricamente las llanuras mareales han sido fuente de recursos de

muy diverso tipo. Destacan las explotaciones de recursos vivos, inicialmente en forma de pequeños corrales de pesca para la captura de peces durante la vaciante mareal y, en la actualidad en forma de explotaciones piscícolas sofisticadas, entre cuyas actividades destaca la acción del “despesque” de los esteros durante la vaciante, básicamente el mismo procedimiento que se lleva empleando desde hace siglos.

Otra fuente de recursos es la explotación de sal, fuente principal de riqueza en épocas históricas, por tratarse del único producto que permitía conservar los alimentos. La industria salinera data de época fenicia y se ha mantenido hasta nuestros días, con variaciones. En la actualidad existen en las llanuras mareales españolas restos arqueológicos e históricos de construcciones salineras, de bello diseño, cuya protección constituye uno de los objetivos de las autoridades locales y regionales.

## 5.2. LÍNEAS PRIORITARIAS DE INVESTIGACIÓN

Las líneas prioritarias de investigación propuestas están íntimamente relacionadas con las propuestas para los estuarios, al tratarse de tipos de hábitat asociados y son:

- La realización de trabajos científicos acordes con los objetivos ambientales expuestos en el artículo 2 de la Directiva de Hábitats.
- La creación de una red de seguimiento del estado ecológico de las llanuras mareales, que sirva tanto para la Directiva de Hábitats como para la DMA.
- El estudio de la relación entre la dinámica sedimentaria de las llanuras mareales y las características de las comunidades biológicas. Esta recomendación entronca además con el interés de la UNESCO dentro de su programa de desarrollo de la “Ecohidrología”.
- El estudio de la biodiversidad, con especial atención a las especies protegidas y a las especies invasoras.
- Las bases científicas para la gestión de especies de interés susceptibles de explotación.
- El estudio de especies susceptibles de ser incluidas en alguno de los anexos de la Directiva de Hábitat, y de grupos poco estudiados (fitobentos, macroinvertebrados, etc.).



## 6. BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE REFERENCIA

- AUGUSTINUS, P.G.E.F., 1989. Cheniers and Cheniers plains: A general Introduction. *Marine Geology* 90: 219-229.
- AMOS, C.L., 1995. Siliciclastic Tidal Flats. En: Perillo (eds.) *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Amsterdam. Elsevier. pp 273-306.
- BERNER, R.A., 1981. Authigenic Mineral Formation Resulting from the Organic Matter Decomposition in Modern Sediments. *Fortschritte der Mineralogie* 59: 117-135.
- BOERSMA, J.R. & TERWINDT, J.H.J., 1981. Neap-spring Tide Sequences of Intertidal Shoal Deposits in a Mesotidal Estuary. *Sedimentology* 28: 151-170.
- BOGGS, S., 1995. *Principles of Sedimentology. An Stratigraphy*. New Jersey: Prentice Hall. 2<sup>nd</sup> ed. 744 p.
- BORREGO, J., GIL, N.C. & MORALES, J.A., (inédito). Facies deposicionales y evolucion reciente de una llanura de cheniers en la desembocadura de la Ría de Huelva (S.O. España). *Rev. Soc. Geol. de España* nº 13.
- CHUNG, G.S. & PARK, J.A., 1977. Sedimentological Properties of the Recent Intertidal Flat Environments. Southern Nam Young Bay, West Coast of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea* 13: 9-18.
- COLLINS, M. B., AMOS, C. L. & EVANS, G., 1981. Observations of some sediment-transport processes over intertidal flats, the Wash, U.K. I.A.S. *Special Publication*. Nº 5: pp 81-98.
- COLLISON, J.D., 1969. The Sedimentology of the Grindslow Shales and the Kinderscout Grit a Deltaic Complex in the Nanneian of Northern England. *J. Sedim. Petrol* 39: 194-221.
- DAVIES, G.R., 1970. Algal Laminated Sediments, Gladstone Embayment, Shark Bay, Western Australia. *Mem. Am. Ass. Petrol. Geol.* 13: 169-205.
- DAVIES, J.L., 1964. A Morphogenetic Approach to World Shorelines. *Zeits. Geomorphology* 8: 127-142.
- DAVIS JR., R.A., 1992. *Depositional Systems*. 2<sup>nd</sup> ed. New Jersey: Prentice Hall. 603 p.
- DAVIS JR., R.A. & CLIFTON, H.E., 1987. Sea-Level Change and the Presevation Potential of Wave-Dominated and Tide-Dominated Coastal Sequences. *Journ. Sed. Petrol* 57: 167-178.
- DE BOER, P.L., 1981. Mechanical Effects of Micro-Organisms on Intertidal Bedform Migration. *Sedimentology* 28: 129-132.
- DE BOER, P.L., VAN GELDER, A. & NIO, S.D. (eds.) 1988. *Tide Influenced Sedimentary Environments and Facies*. Dordrecht: D. Reidel. 530 p.
- EVANS, G., 1965. Intertidal Flat Sediments an their Environments of Deposition in the Wash. London. *Quart. J. Geol. Soc.* 121: 209-245.
- EVANS, G., 1970. Coastal and Nearshore Sedimentation: A Comparison of Clastic and Carbonate Deposition. *Proceedings of the Geologists Association* 81: 493-508.
- FERNÁNDEZ, J.A. & BUENO, A., 1997. La Reserva Natural Parcial de la Ría de Villaviciosa. Flora y vegetación. *Cuadernos de Medio Ambiente, Naturaleza (Oviedo)*. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias, Consejería de Agricultura nº 2: pp 7-183.
- FREY, W. & BASAN, P.B., 1985. Coastal Salt Marshes. En: Davis Jr., R.A. (ed.). *Coastal Sedimentary Environments*. New York: Springer Verlag. 2<sup>nd</sup> ed. pp 101-169.
- FREY, R.W. & HOWARD, J.D., 1978. Mesotidal Estuarine Sequences: A Perspective from the Georgia Bight. *Journ. Sed. Petrol* 56: 911-924.
- GINSBURG, R.N., 1975. *Tidal Deposits*. New York: Springer Verlag. 428 p.
- GOBIERNO VASCO. *Directiva Marco del Agua 2000/60/CE. Informe relativo a los artículos 5 y 6 Demarcación de las Cuencas Internas del País Vasco*. Diciembre de 2004.
- GOBIERNO DE CANTABRIA. *Documento II. Aguas de transición*. Tomo I. Caracterización de las masas de agua.
- GOBIERNO DE CANTABRIA. *Documento II. Aguas de transición*. Tomo II. Análisis de impactos y presiones.

- GOBIERNO DE CANTABRIA. *Documento II. Aguas de transición*. Tomo III. Evaluación del estado.
- HARDIE, L.A., 1986. Stratigraphic Models for Carbonate Tidal Flat Deposition. *Qart. J. Colorado Shc. Mines* 81: 59-74.
- HAROUN, R., GIL-RODRÍGUEZ, M.C. & WILPRET DE LA TORRE, W., 2003. *Plantas Marinas de las Islas Canarias*. Canseco.
- HAYES, M.O., 1975. Morphology of Sand Accumulations in Estuaries: An Introduction to the Symposium. New York: Academic Press. Cronin (ed.) *Estuarine Research* 2: 3-22.
- HAYES, M.O., 1979. Barrier Island Morphology as a Function of Tidal and Wave Regime. En: Leatherman (ed.) *Barrier island*. New York: Academic Press. pp 1-27.
- JULIVERT, M., 1983. *Libro jubilar de J.M. Ríos. Geología de España*. Tomo I. ITGE. 593 p.
- JIMÉNEZ DE CISNEROS, C. & VERA, J.A., 1993. Milankovitch Cyclicality in Purbeck Limestones of the Prebetic (Beriasian, Southern Spain). *Sedimentology* 40: 513-537.
- KINSMAN, D.J.J. & PARK, R.K., 1976. Algal Belt and Coastal Sabkha Evolution, Trucial Coast, Persian Gulf. En: Walter, M.R. (ed.). *Stromatolites*. Amsterdam: Elsevier. pp 421-433.
- KLEIN, G. DE V., 1970. Depositional and Dispersal Dynamics of Intertidal Sand Bars. *Journ. Sed. Petrol* 40: 195-1.127.
- KLEIN, G. DE V., 1976. *Holocene Tidal Sedimentation*. Stroudsburg, PA. Dowden: Hutchinson and Ross, Inc. 423 p.
- KLEIN, G. DE V., 1977. *Clastic tidal facies*. Ed. Cont. Educ. Publ. Co. Illinois. 327 pp.
- KLEIN, G. DE V., 1985. Intertidal Flats and Intertidal Sand Bodies. En: Davis (ed.). *Coastal Sedimentary Environments*. New York: Springer Verlag. pp 187-224.
- MAS, J.R., 1981. *El Cretácico inferior de la región Noroccidental de la provincia de Valencia*. Tesis Doctoral. Madrid: Seminarios de estratigrafía, nº 8. 476 p.
- MAS, J.R., ALONSO, A. & MELENDEZ, N., 1982. El Cretácico basal "Weald" de la Cordillera Ibérica Suroccidental. *Cuadernos de Geología Ibérica* 8: 309-335.
- MCCAVE, I.N. & GEISER, A.C., 1978. Megaripples, Ridges and Runnels on Intertidal Flats of the Wash, England. *Sedimentology* 26: 353-369.
- MORALES, J.A., 1997. Evolution and Facies Architecture of the Mesotidal Guadiana River Delta (S.W. Spain-Portugal). *Mar. Geol* 138: 127-148.
- MORENO, D. & GUIRADO, J., 2006. Nuevos datos sobre la floración, fructificación y germinación de fanerógamas marinas en Andalucía. *Acta Botanica Malacitana* 31: 51-72.
- MUÑOZ, J.L. & SÁNCHEZ DE LAMADRID, A., 1994. *El medio físico y biológico en la Bahía de Cádiz: Saco Interior*. Informaciones Técnicas 28/94. Sevilla: Junta de Andalucía.
- NOMBELA, M.A. & VILAS, F., 1987. Medios y submedios en el sector intermareal de la Ensenada de San Simón. Ría de Vigo (Pontevedra). Secuencias sedimentarias características. *Acta Geológica Hispánica* 21-22: 223-231.
- NOMBELA, M.A., VILAS, F. & EVANS, G., 1995. Sedimentation in the Mesotidal Rias Bajas of Galicia (Northwestern Spain): Ensenada de San Simon, Inner Ria de Vigo. En: Flemming & Bartholomä (eds.). *Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments. I.A.S. Special Publ.* 24: 133-149.
- PÉREZ-ARLUCEA, M., 1987. Sedimentología de las unidades carbonáticas del Triásico en el sector Molina de Aragón-Albarracín. *Cuad. Geol. Iber.* 11: 623-646.
- PÉREZ-ARLUCEA, M., 1991. Características de los sedimentos carbonáticos de la segunda transgresión del Triásico medio (Ladiniense) en la zona central de la Cordillera Ibérica. *Rev. Soc. Geol. España* 4: 143-164.
- PÉREZ M., MANZANERA, M., INVERS, O. & ROMERO, J., 1997. *Estudio de la fanerógama marina Cymodocea nodosa de la Isla de Mallorca: evolución del estado biológico actual*. Institut Menorquede d'Estudis. (inédito).
- PERILLO, G.M.E. (ed.) 1995. *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Amsterdam: Elsevier. 427 p.
- PESTRONG, R., 1972. Tidal Flat Sedimentation at Coley Landing, Southwest San Francisco Bay. *Sed. Geol.* 8: 251-288.
- POSTMA, H., 1967. Sediment Transport and Sedimentation in Marine Environments. In: Lauff, G.H. (ed.) *Estuaries. Am. Asoc. Adv. Sci. Mem.* 83: 158-179.
- PUJALTE, V., 1982. La evolución paleogeográfica de la cuenca Wealdiense de Cantabria. *Cuadernos de Geología Ibérica* 8: 65-83.



- REDFIELD, A.C., 1972. Development of a New England salt marsh. *Ecol. Monogr.* 42: 201-237.
- REINEK, H.E., 1963. Sedimentgefüge im Bereich der südlichem Nordsee. Abh. Sencken. *Nat. Gesell.* 505: 1-138.
- REINEK, H.E., 1967. Layered Sediments of Tidal Flats, Beaches and Shelf Bottoms of the North Sea. In: Lauff, G.H. (ed.) *Estuaries. Am. Assoc. Adv. Sci. Mem.* 83: 191-206.
- REINEK, H.E., 1972. Tidal Flats. S.E.P.M. *Spec. Pub.* 16: 146-159.
- REINEK, H.E. & SINGH, I.B., 1980. *Depositional Sedimentary Environments*. New York: Springer Verlag. 2<sup>nd</sup> ed. 549 p.
- REINEK, H.E. & WUNDERLICH, F., 1968. Classification and Origin of Flaser and Lenticular Bedding. *Sedimentology* 11: 99-104.
- REYES, J., SANSON, M. & ALFONSO-CARRILLO, J., 1995. Distribution and Reproductive Phenology of the Seagrass *Cymodocea nodosa* (Curia) Ascherson in the Canary Islands. *Aquatic Botany* 50: 171-180.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., COSTA, M., CASTROVIEJO, S. & VALDÉS, E., 1980. Vegetación de Doñana (Huelva, España). *Lazaroa* 2: 5-190.
- RUSELL, E.J. & HOWE, H.V., 1935. Cheniers of Southwestern Louisiana. *Geogr. Rev.* 25: 449-461.
- SEGURA, M., GARCÍA, A., GARCÍA-HIDALGO, J. F. & CARENAS, B., 1993. The Cenomanian-Turonian Transgression in the Iberian Ranges (Spain): Depositional Sequences and the Location of the Cenomanian-Turonian Boundary. *Cretaceous Research* 14: 519-529.
- SHINN, 1983. Tidal Flat Environment. In: Scholle, Bebout & Moore (eds.). *Carbonate Depositional Environments. Mem. Am. Ass. Petr. Geol.* 33: 173-210.
- SMITH, D.G., REINSON, G.E., ZAITLIN, B.A. & RAHMANI, R.A., (eds.) 1991. Clastic Tidal Sedimentology. *Canadian Soc. Petr. Geol. Mem.* 16: 307 p.
- STRIDE, A.H., 1982. *Offshore Tidal Sands*. London: Chapman & Hall. 222 p.
- SWINBANKS, D.D. & MURRAY, J.W., 1981. Biosedimentological Zonation of Boundary Bay Tidal Flats, Fraser River Delta, British Columbia. *Sedimentology* 28: 201-237.
- TALAVERA, S. (inédito a). *Zosteraceae* Dumortier. En: Castroviejo, S., et al. (eds.). *Flora Ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Madrid: Real Jardín Botánico, CSIC. Volumen 17.
- TALAVERA, S. (inédito b). *Cymodoceaceae* N. Taylor. En: Castroviejo, S., et al. (eds.). *Flora Ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Madrid: Real Jardín Botánico, CSIC. Volumen 20.
- TESSIER, et al., 1995. Comparison of Ancient Tidal Rhythmites (Carboniferous of Kansas and Indiana, USA) with Modern Analogues (the Bay of Mont Saint-Michel, France). In: Flemming & Bartholomä (eds.). *Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments*. I.A.S. Special Publ. 24: 259-271.
- THAYER, G.W. & FONSECA, M., 1984. *The Ecology of Eelgrass Meadows of the Atlantic Coasts: A Community Profile*. US Department of Interior, Fish and Wildlife Service. 147 p.
- THOMPSON, R.W., 1968. Tidal Flat Sedimentation on the Colorado River Delta. *Mem. Geol. Assoc. Am.* 107: 133 p.
- TUCKER, M.E. & WRIGHT, V.P., 1992. *Carbonate Sedimentology*. London: Blackwell Sci. Publ. 482 p.
- VAN HORN, M.D., 1979. *Stratigraphy of the Almond Formation, East Central Flank, Rocks Springs Uplift, Sweetwater County, Wyoming: A Mesotidal Shoreline Model for the Late Cretaceous*. Tesis Doctoral. Colorado University. 150 p.
- VAN STRAATEN, L.M., 1954. Composition and Structure of Recent Marine Sediment in the Netherlands. *Leidse. Geol. Meded.* 19: 1-110.
- VAN STRAATEN, L.M., 1959. Minor Structures of Some Recent Litoral and Neritic Sediments. *Geol. Mijnbouuro* 21: 197-216.
- VAN STRAATEN, L.M., 1961. Sedimentation in Tidal Flat Areas. *J. Alberta Soc. Petrol. Geol.* 9: 203-226.
- VV.AA., 2000. Lista Roja de Flora Vasculare Española (valoración según categorías de la UICN). *Conservación Vegetal* 6 (extra): 11-38.
- VÍLAS, F., 1981. Desplazamiento lateral de los canales de drenaje de las llanuras de marea: consideraciones sedimentológicas. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe.* 2: 315-322.
- VÍLAS, F., 1989. Estuarios y llanuras intermareales. En: Arche, A. (ed.). *Sedimentología*. Volumen 1. CSIC. Madrid. pp 351-495.

- VILAS, F. & ARCHE, A., 1987. Llanura de Cheniers en la Bahía de San Sebastián, Tierra del Fuego (Argentina). *Acta Geológica Hispánica* 21-22: 245-251.
- VILAS, F., ARCHE, A., GONZÁLEZ BONORINO, G., ISLA, F. & FERRERO, H., 1999. Sedimentación intermareal en la Bahía de San Sebastián, Tierra del Fuego, Argentina. *Acta Geológica Hispánica* 21-22: 253-260.
- VILAS, F., ARCHE, A., FERRERO, M. & ISLA, F., 1999. Subantarctic Macrotidal Flats, Cheniers and Beaches in San Sebastian Bay, Tierra Del Fuego, Argentina. *Mar. Geol.* 160: 301-326
- VISSER, M.J., 1980. Neap-Spring Cycles Reflected in Holocene Subtidal Large-Scale Bedform Deposits: A Preliminary Note. *Geology* 8: 543-546.
- WEIMER, R.J., 1966. *Time-Stratigraphic Analysis and Petroleum Accumulations Patrick Draw Field, Sweetwater County, Wyoming*. A.A.P.G. Bull. 50: 2.150-2.175.
- WEIMER, R.J., HOWARD, J.D. & LINDSAY, D.R., 1982. Tidal Flats and Associated Tidal Channels. In: Scholle & Spearing (eds.). *Sandstone Depositional Environments*. AAPG. Mem. 31: 191-245.
- WELLS, J.T. & HUN, O.L., 1979. *Tidal Flats Muds in the Republic of Korea: Kinhae to Incheon*. Of. Naval Res. Sci. Bull. 4: 21-30.
- WRIGHT, V.P., 1984. Peritidal Carbonate Facies Models: A Review. *Geol. J.* 19: 309-325.
- ZEFF, M.L., 1988. Sedimentation in a Salt Marsh-Tidal Channel System, Southern New Jersey. *Mar. Geol.* 82: 33-48.



## 7. FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1

Detalle de fauna típica del tipo de hábitat 1140 Llanuras mareales.



Fotografía 2

Detalle de fauna típica del tipo de hábitat 1140 Llanuras mareales.



Fotografía 3

Detalle del aspecto característico del tipo de hábitat 1140 Llanuras mareales.



Fotografía 4

Detalle del aspecto característico del tipo de hábitat 1140 Llanuras mareales.

## ANEXO 1 INFORMACIÓN EDAFOLÓGICA COMPLEMENTARIA

### 1. INTRODUCCIÓN. DESCRIPCIÓN, DEFINICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL HÁBITAT. RELACIÓN CON OTROS TIPOS DE HÁBITAT

Hábitat definido por la propia Directiva como *fondos marinos descubiertos durante la bajamar, fangosos o arenosos, colonizados habitualmente por algas azules y diatomeas y desprovistos de plantas vasculares, pero que pueden aparecer tapizados por formaciones anfibias de Zostera noltii*. Se trata de una zona costera de elevado valor ambiental, al residir en ella una compleja comunidad de algas y macroinvertebrados que sirven de alimento a aves marinas y limícolas.

Según esta definición, para que un hábitat se considere como llanura mareal, debe cumplir tres requisitos:

- Tratarse de una zona de baja pendiente.
- Tener naturaleza arenosa o fangosa.
- Tener carácter intermareal.

No obstante, algunos autores consideran esta definición incompleta y confusa (Gracia, 2008). Incompleta, ya que estos tres requisitos englobarían a otros hábitat que la Directiva de Hábitats (92/43/CEE) considera separadamente como, son las playas o las marismas. Esta definición debería incluir que se trata de medios dominados por la marea con ausencia o muy baja influencia del oleaje (Ministerio

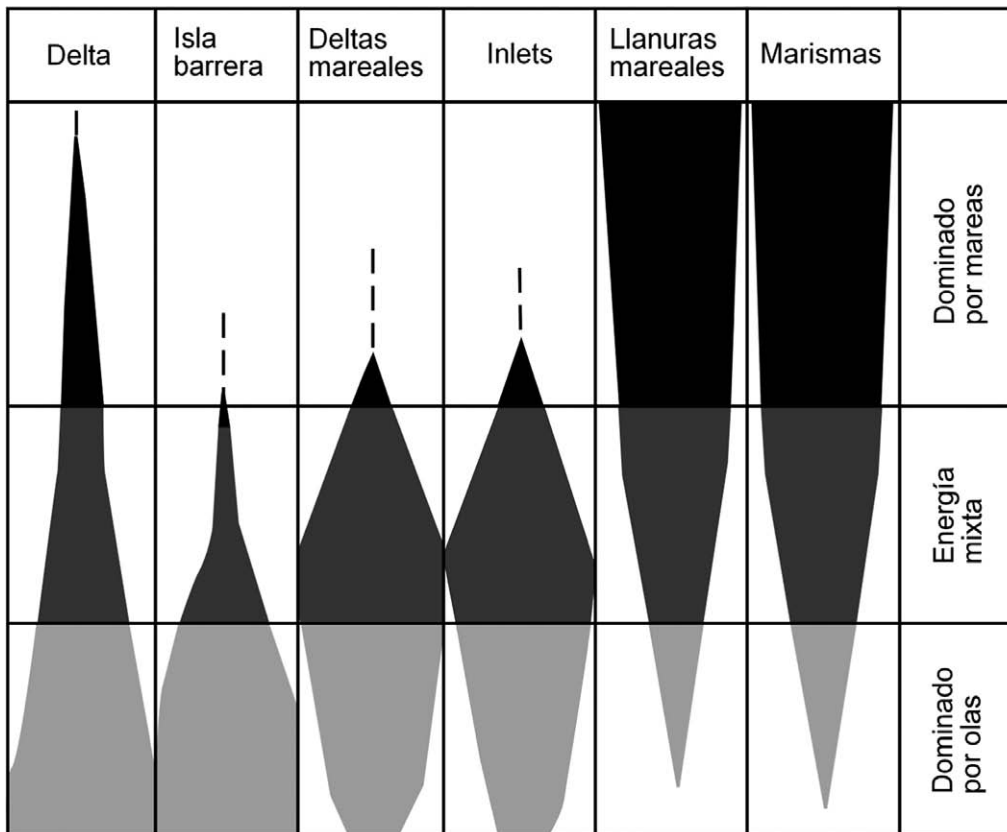


Figura A1.1

Presencia de las llanuras mareales y otros tipos de hábitat costeros según la energía de las olas y la mayor influencia mareal (modificado de Hayes, 1979).

de Medio Ambiente, 2005); y confuso, porque las llanuras intermareales entran a formar parte de otros hábitat de definición más amplia, como los 1130 Estuarios, 1150 Lagunas costeras (\*) o 1160 Grandes calas o bahías poco profundas 1160 (ver, por ejemplo, Ministerio de Medio Ambiente, 2005).

Por otra parte, aunque la mayoría de los trabajos que se realizan en este tipo de áreas consideran al sustrato como sedimento, debemos tener en consideración que esto no siempre es cierto. Teniendo presente la definición de suelo “suelo es un cuerpo natural compuesto por una fracción sólida (mineral y orgánica), líquida y gaseosa que aparece en la superficie terrestre, que es caracterizado por la presencia de uno o varios horizontes o capas que se diferencian del material de partida como consecuencia de procesos de adición, transformación o pérdida de energía o materia o por la capacidad de permitir el desarrollo de plantas vasculares en el medio natural. Su límite superior es el límite entre el suelo y el aire, aguas superficiales, plantas vivas o material vegetal que aún no ha sido descompuesto. Las áreas que no se consideran suelos son las zonas permanentemente cubiertas por aguas profundas, de más de 2,5 m, que no permiten el desarrollo de plantas vasculares...” (Soil Taxonomy, 1999, ver también Domas & Rabenhorst, 1999, 2001), en las llanuras costeras aparecen dos tipos de sustratos:

- Sedimento: zonas cubiertas por algas o sin tapiz vegetal.
- Suelo: zonas colonizadas por *Zostera noltii*.

Esta diferenciación, que *a priori* pudiera ser considerada más académica que real, tiene importantes implicaciones. Así, la colonización de plantas con raíces supone cambios sustanciales en el sustrato que pueden afectar a su composición, a su estabilidad y a sus propiedades químicas (ver más adelante y también ver Ferreira, *et al.*, 2007 a, b).

Dentro de las llanuras costeras, se pueden distinguir diferentes subtipos en función del sistema mareal al que se encuentran asociadas y del tipo de zona submareal que las drene. Así pueden distinguirse (ver figura A1.2):

1. Llanuras intermareales asociadas a canales de estuarios.
2. Llanuras intermareales asociadas a lagunas costeras.
3. Llanuras intermareales de bahía protegida.

Sus diferencias se basan, sobre todo en la distribución vertical del sedimento, en la competencia de las corrientes y en la pendiente. De este modo, en las llanuras intermareales asociadas a un canal, el régimen de corrientes y la pendiente suelen ser mucho mayores y la zona baja de la llanura suele ser muy arenosa, mientras que las asociadas a bahías suelen tener un régimen de corrientes más suave y una pendiente menor y son, en general, más fangosas, presentando una zonación más difusa. Las llanuras asociadas a las lagunas costeras representan una situación intermedia.

## 2. CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO (SUELO Y SEDIMENTO)

### 2.1. Características generales

Los sedimentos de las llanuras de marea son de naturaleza siliclástica, esto es, están constituidos fundamentalmente por minerales silicatados (fundamentalmente cuarzo), y en menor medida de bioclastos (conchas) y otros resistatos como las arenas monacíticas (fosfatos de cerio y torio) o ilmenita, rutilo, piritita, etc. No obstante, existen variaciones significativas en función de su posición respecto a la costa.

Textura, estabilidad del sedimento y salinidad son las tres variables que habitualmente se utilizan para la separación de los diversos ambientes existentes en estos espacios (ver figura A1.3), ya que en buena medida condicionan a las comunidades de plantas y macroinvertebrados presentes en cada sector. Atendiendo a este criterio, se suelen establecer tres grandes categorías, siendo conscientes de que habitualmente los cambios ocurren de forma progresiva entre ellos. Estos son:

**Arenas limpias (llanura mareal baja).** Aparecen en zonas de costa abiertas y bahías sometidas a la acción de las corrientes de marea que impiden la sedimentación de partículas finas tipo limo o arcilla. La salinidad es elevada y el sedimento es móvil y su efecto abrasivo sólo permite que sean habitados por especies robustas, como son algunas especies de anfípodos y crustáceos. También algunos poliquetos pueden estar presentes.

**Arenas fangosas (llanura mareal intermedia).** Aparecen particularmente en zonas de la costa

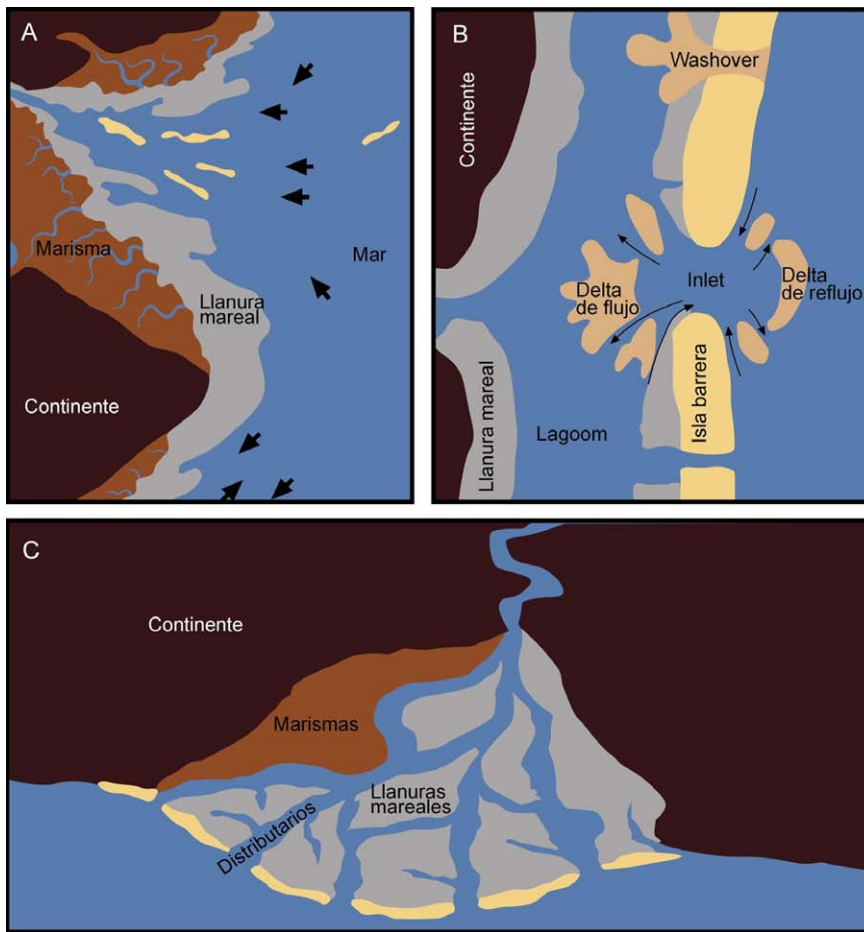


Figura A1.2

Las llanuras mareales como parte de otros sistemas litorales. A) Estuarios; B) Sistemas de isla barrera; C) Delta.

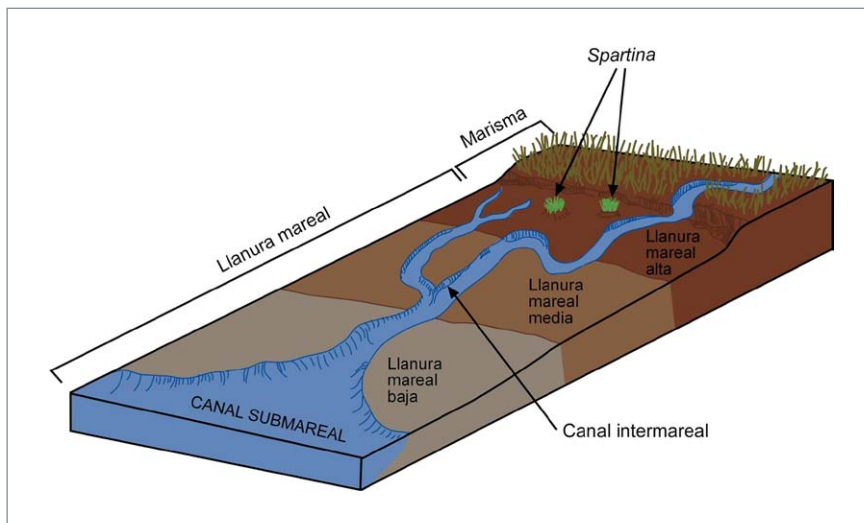


Figura A1.3

Zonación vertical de la llanura mareal.

resguardadas, como son las bocas de los estuarios o detrás de barreras arenosas. En estas condiciones, los sedimentos son relativamente estables permitiendo la presencia de un amplio tipo de macroinvertebrados, como poliquetos, moluscos bivalvos. Además, en este sector suele aparecer *Zostera noltii*.

**Llanuras fangosas (llanura mareal alta).** Aparecen en las zonas más protegidas de la costa, habitualmente en donde son depositadas grandes cantidades de limo procedente de zonas continentales y transportadas por los ríos hasta los estuarios. La baja energía con la que llegan las mareas confiere a los sedimentos y suelos una alta estabilidad que facilita su colonización por parte de gran número de especies de poliquetos, que pueden llegar a alcanzar densidades elevadas, así como de bivalvos. La elevada biomasa que puede llegar a alcanzar las diferentes especies de macroinvertebrados constituye un recurso trófico esencial para un elevado número de especies de aves acuáticas (por ejemplo, *Tadorna tadorna*) y limícolas (por ejemplo, *Calidris común*, *Calidris alpina*).

Además de los cambios texturales, de salinidad y estabilidad del sustrato, otros parámetros, como el contenido en materia orgánica, carbonatos, pH y potencial redox, también experimentan cambios sustanciales. Así, en un estudio realizado en la ría de Betanzos (A Coruña) (ver figura A1.4, Otero, 2006) a través de un transecto que va desde el sector de arenas limpias hasta la llanura fangosa, se obtuvieron, para la zona más externa y expuestas a la acción mareal, valores de pH elevados, similares a los del agua de mar (pH ~ 8,2), potencial redox elevado indicando condiciones óxicas y porcentajes bajos de carbono orgánico. También resultó baja la concentración de Fe total, nutrientes y metales pesados, en consonancia con el bajo contenido de arcilla y materia orgánica.

Por el contrario, hacia el interior de la ría se obtuvo un incremento significativo de partículas finas (limos y arcilla), carbono orgánico, así como de P, Fe y metales pesados; al tiempo que el pH y el potencial redox se redujo alcanzando condiciones subóxicas (ver tablas A1.1, A1.2, A1.3).



Figura A1.4

Ría de Betanzos. Localización de los puntos de muestreo de sedimentos superficiales (0-25 cm) en la llanura de marea.



Muestra	Descripción general	pH	Eh (mV)	Estado redox
1	Sedimento muy arenoso, pocas conchas, ausencia de moteados negros	8,2	+394	Óxico
2	Muy arenoso, sin moteados negros, pocas conchas	8,1	+230	Subóxico
3	Sedimento muy arenoso, pocas conchas y ausencia de manchas negras	8,5	+224	
4	Sedimento muy arenoso, pocas conchas, presencia de manchas negras (probablemente sulfuros de Fe) y ligero olor a sulfuro	8,0	+90	Anóxico
5	Sedimento muy arenoso, abundantes restos de conchas y moteados negros (probablemente sulfuros de Fe -FeS-)	7,9	+100	
6	Sedimento muy arenoso, abundantes conchas y presencia de moteados negros (probablemente sulfuros de Fe: FeS, Fe <sub>3</sub> S <sub>4</sub> )	8,3	+50	
BS-7	Sedimento arenoso, abundantes restos de algas y fuerte olor a sulfuro	8,5	-30	
BS-8	Sedimento arenoso, abundantes conchas, ligero olor a sulfuro	7,6	+10	
BS-9	Sedimento limo-arenoso, muy negro y fuerte olor a sulfuro	7,3	-58	
BS-10	Sedimento limo-arenoso, negro, fuerte olor a sulfuros	7,1	-38	

Tabla A1.1

Ría de Betanzos. Descripción general de las muestras, pH y potencial redox.

Muestra	N total	C orgánico	Carbonatos	Materia orgánica	P asimilable
	%				mg · kg <sup>-1</sup>
1	<ld	0,90	0,52	1,57	18,1
2	<ld	0,65	0,34	1,13	12,9
3	<ld	0,71	0,18	1,23	12,8
4	<ld	0,61	0,67	1,07	15,2
5	<ld	0,85	1,44	1,48	18,4
6	<ld	1,12	1,58	1,95	14,7
7	<ld	1,45	0,66	2,53	14,5
8	<ld	1,74	1,50	3,03	25,7
9	0,08	3,39	0,00	5,90	27,5
10	0,12	3,25	0,00	5,65	36,1

ld: Límite de detección.

Tabla A1.2

Ría de Betanzos. Contenido de C total, N total, materia orgánica y P asimilable.

Muestras	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr	Co	As	Cd
	mg · kg <sup>-1</sup>									
BS1	7.860	188	20	5,0	6,0	13	10	<ld	<ld	<ld
BS2	5.410	129	14	6,0	5,0	12	7,0	<ld	<ld	<ld
BS3	5.910	132	18	n.d.	6,0	11	9,0	<ld	<ld	<ld
BS4	5.850	119	15	n.d.	5,0	12	10	<ld	<ld	<ld
BS5	6.170	108	15	n.d.	11	14	10	<ld	<ld	<ld
BS6	6.090	110	16	n.d.	9,0	16	11	<ld	<ld	<ld
BS7	8.290	138	20	6,0	10	17	14	<ld	<ld	<ld
BS8	9.970	113	26	6,0	14	21	15	<ld	<ld	<ld
BS9	20.670	195	63	16	22	26	22	6,0	5,52	0,09
BS10	29.070	233	72	19	26	28	28	6,0	5,71	0,11

LD: menos al límite de detección.

Tabla A1.3

Ría de Betanzos. Contenido total de metales pesados.

## 2.2. Caracterización edafológica

Un aspecto importante a tener en consideración es el efecto de las plantas vasculares sobre sustrato. Como ya se indicó anteriormente, a pesar de que el sustrato de este hábitat se define como una zona sedimentaria, ausente de plantas vasculares, se contempla la posibilidad de que *Zostera noltii* esté presente. Cuando esto ocurre hablamos de suelo y no de sedimento.

La colonización del sustrato por plantas vasculares introduce cambios sustanciales en sus propiedades y composición (ver, por ejemplo, Otero, *et al.*, 2002, 2003, 2006, Ferreira, *et al.*, 2007 a,b). A pesar de que apenas se dispone de estudios realizados en Es-

paña que se centren en este efecto, los resultados de la tabla A1.4 tratan de mostrar ese efecto en suelos y sedimentos de la ría de Ortigueira (datos propios no publicados).

El incremento del potencial redox registrado, tanto en los suelos de *Zostera* y *Spartina*, indica un incremento de la aireación del sustrato, favorecido por el transporte de aire desde la parte aérea de la planta hasta las raíces. Esto conlleva a su vez la oxidación de las formas reducidas de S (HS<sup>-</sup>), Fe (Fe<sup>2+</sup>) y Mn (Mn<sup>2+</sup>) que conduce a una liberación de protones y a la acidificación del suelo; por ello el pH es del orden de 1-2 unidades inferiores al sedimento (ver tabla A1.4, A1.5).

	Sedimento descubierto	Sedimento cubierto por algas ( <i>Fucus</i> sp.)	Suelo con <i>Zostera noltii</i>	Suelo con <i>Spartina maritima</i>
pH	8,1	8,0	7,3 ± 0,3	6,6
Eh (mV)	-80	-71 ± 24	67 ± 44	177 ± 46

Tabla A1.4

Efecto de las plantas vasculares sobre las condiciones Eh-pH en suelos y sedimentos de la planicie de marea. Se incluye también *Spartina*, ya que aparece colonizando la parte superior de la planicie de marea (ver figura A1.1).

Adicionalmente, los sedimentos suelen presentar concentraciones elevadas de sulfuro ( $\text{HS}^-$ ) en el agua intersticial, altas concentraciones de formas metaestables de sulfuros de Fe ( $\text{FeS}$ ,  $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ) y la forma de Fe reactivo dominante es la piritita ( $\text{FeS}_2$ ). Esta situación suele mantenerse relativamente estable a lo largo de todo el año. Por el contrario, los suelos, presentan cambios estacionales importantes que afectan tanto a la composición de la fase sólida como líquida. En los suelos la concentración de sulfuros ( $\text{SH}^-$ ) y de sulfuros metaestables de Fe es menor que en el sedimento; sin embargo, en estos ambientes la concentración de piritita puede llegar a ser mayor debido a tres aspectos importantes:

1. La formación diagenética de la piritita requiere de cierto grado de oxidación para la formación de polisulfuros ( $\text{S}_5^{2-}$ ), en donde el azufre se encuentra tanto en forma reducida ( $\text{HS}^-$ ) como parcialmente oxidada ( $\text{S}^0$ ).
2. La planta genera un flujo de agua hacia la raíz que aporta Fe ( $\text{Fe}^{2+}$ ) incrementando la concentración de Fe piritizable.
3. La exudación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular (malato, oxalato, butarato, citrato) favorece la actividad de las bacterias sulfato reductoras.

El efecto bioperturbador de la planta conlleva importantes cambios temporales (estacionales) y en pro-

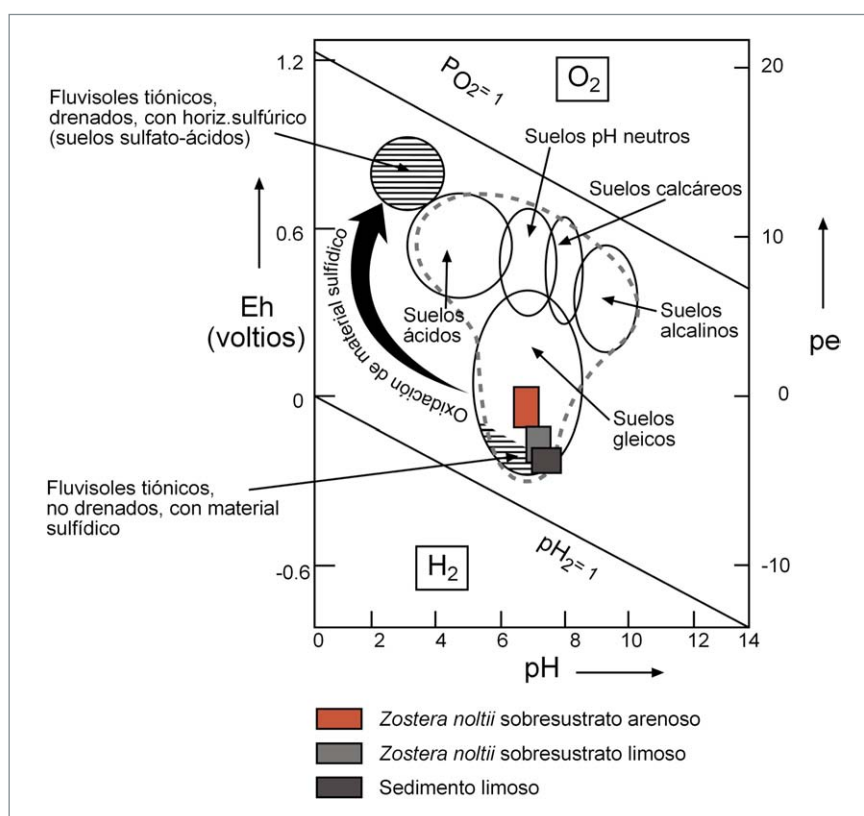


Figura A1.5

Condiciones Eh-pH de la parte superficial (0-5 cm) de los suelos de *Zostera noltii*. El prolongado tiempo de inundación genera condiciones fuertemente reducidas ya en superficie, excepto que el sustrato sea arenoso. En general, por debajo de los 5 cm las condiciones son anóxicas y la actividad sulfato reductora es intensa, al verse favorecida la actividad microbiana por los exudados de las raíces. En este ambiente la piritita representa el mineral neoforado de mayor estabilidad. Su acumulación conlleva la formación de material sulfídico. En este momento el suelo presenta un pH próximo a la neutralidad o ligeramente ácido, pero, si el suelo es drenado o dragado, el material sulfídico se oxida y origina un horizonte fuertemente ácido, denominado horizonte sulfúrico. Esto conlleva la degradación del suelo y desencadena una fuerte toxicidad para la biota al movilizarse elementos altamente tóxicos como aluminio y metales pesados (elaborado a partir de datos de Otero, 2000 y Sánchez, 1995).

fundidad en cuanto a la composición de la fase sólida y del agua intersticial del suelo mientras que el sedimento es más homogéneo. Estos cambios suelen afectar, sobre todo, a las formas de Fe, Mn y S.

En el caso concreto de *Zostera noltii*, las condiciones fisicoquímicas de los suelos muestran cambios importantes respecto al sedimento. La mayor o menor diferencia entre el suelo y el sedimento depende del tipo de sustrato (arenoso o limoso) y también de la profundidad, de manera que los efectos son, sobre todo, más evidentes en los 5 cm superficiales (ver

figura A1.5). Los porcentajes de materia orgánica oscilaron entre 4-7%, mientras que el porcentaje de N total presentó valores medios de 0,2%, encontrándose muestras con valores por debajo del límite de detección (ver tabla A1.5, Sánchez, 1995). Esto explica la respuesta positiva de *Zostera* a la fertilización con N (Willians & Ruckelshaus, 1993). Estos porcentajes fueron netamente inferiores a los obtenidos para el resto de las comunidades vegetales presentes en la marisma baja y alta, pero muy superiores a los encontrados en el sedimento (-2,4-3%, Otero, 2000).

	pH campo	Eh (V)	Cond. Elec. (dS m <sup>-1</sup> )	C org (%)	N total (%)	S total (%)	P asimilable (mg kg <sup>-1</sup> )
Media	7,3	0,13	15,2	3,0	0,2	0,2	10,2
Máximo	7,7	0,23	20,0	3,9	0,5	0,6	32,7
Mínimo	6,4	-0,09	8,8	2,4	<l.d.	<l.d.	0,2

Tabla A1.5

Valor medio y rango de variabilidad de los principales parámetros definidores de las propiedades del suelo (tomado de Sánchez, 1995).

La presencia en estos suelos de porcentajes elevados de S total (sobre todo cuando el sustrato es limoso) indica la presencia de *material sulfídico*, siendo clasificado el suelo como *Tidalic Fluvisol (Prototonic)* (WRB, 2006). En ocasiones, la presencia de carbonato cálcico (restos de conchas) confiere a estos suelos una elevada capacidad de neutralización de la acidez por lo que el pH de la muestra seca o encubada en condiciones de aerobiosis se mantiene próximo a la neutralidad. En este caso los suelos se clasifican como *Tidalic Fluvisol (Sodic)*.

### 3. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN

#### 3.1. Factores, variables y/o índices

La información disponible en la Península Ibérica acerca de las características físico-químicas y composición de los suelos y sedimentos es relativamente reducida (ver, por ejemplo, Cochón & Sánchez, 2005).

Por otra parte, hay que tener en cuenta que se trata de un espacio que se encuentra en el límite de la distribución de los suelos, por lo que los procesos edafogénicos son todavía muy incipientes. En este

tipo de medios, la bioperturbación produce cambios notables en las condiciones geoquímicas de la parte superior del sustrato (suelo o sedimento). Por ello, se propone que la toma de muestras se realice en la parte superior del suelo cada 2 cm hasta una profundidad de 6 cm, de 6-10 cm, y cada 5 cm hasta una profundidad de 25 cm. En zonas con presencia de *Zostera noltii* se debería intentar separar el suelo rizosférico del no rizosférico. Adicionalmente, como consecuencia de los cambios temporales que se pueden llegar a producir en este tipo de medios (por ejemplo efecto de las tormentas, vientos, etc.) parece recomendable que el seguimiento de las variables que se proponen debiera realizarse mensualmente o, cuando menos, estacionalmente. Finalmente, se debe tener en cuenta que las condiciones físico-químicas del sustrato cambian bruscamente cuando éste es sacado al aire; por ello, los análisis que se proponen deben realizarse sobre la muestra húmeda (tal y como se obtiene en el campo), debiéndose conservar en la nevera (T<sup>a</sup>-3 °C) o congeladas hasta su análisis.

Trabajos previos realizados en marismas y zonas intermareales han puesto de manifiesto la importancia de ciertos nutrientes en el desarrollo de las plantas (por ejemplo, Willians & Ruckelshaus, 1993) y su efecto sobre las relaciones competitivas

interespecíficas. Una de las principales amenazas de las llanuras mareales es la eutrofización de sus aguas y sedimentos como resultado de los vertidos de aguas residuales. El aumento de la concentración de nutrientes en las aguas conlleva un incremento de su turbidez, debido a un desarrollo desmesurado de algas, las cuales acaban depositándose sobre el sustrato generando condiciones anóxicas (ver, por ejemplo, Short, *et al.*, 2001, Cochón & Sánchez, 2005).

Teniendo presente los anteriores aspectos, las variables que se proponen analizar son:

- Eh de campo: como medida de las condiciones de oxidación-reducción.
- pH de campo: Como medida de la acidez del suelo.
- Conductividad eléctrica: como medida de la salinidad.
- Contenido de carbonatos: medida de la capacidad neutralizante.
- Porcentaje de saturación de agua: necesaria para el cálculo de la concentración de elementos referida al peso seco.
- C orgánico: como medida de la materia orgánica del suelo.
- N total y  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  soluble: como medida de la reserva y biodisponibilidad de nitrógeno.
- P total y soluble en agua y HCl (0,5 M) (P-Olsen): como medida de la reserva y biodisponibilidad de fósforo.
- Sulfuros volátiles en medio ácido (AVS) o sulfuros en el agua intersticial: como medida de la toxicidad por sulfuro por el método de Cline (1969) (ver también Kostka & Luther, 1994).

### 3.2. Protocolo para determinar el estado de conservación y nutricional del suelo

En cada estación/zona de estudio se debería determinar el estado ecológico del hábitat analizando, para ello, los factores biológicos y físico-químicos recogidos en la ficha 1140 Llanuras mareales. A esta información se debería añadir la derivada de los análisis del suelo o sedimento. El protocolo a seguir debe ser:

En cada estación o zona se deberían establecer, como mínimo, tres parcelas de unos  $10 \times 10$  m y, en cada una de ellas, establecer tres puntos de toma de muestra. El seguimiento debería hacerse mensual o

estacionalmente. Las muestras de suelo se deberían de tomar de la siguiente manera:

- **Suelo rizosférico:** con extremo cuidado se debe extraer el suelo adherido al sistema radicular de *Zostera noltii*; para ello se debe de extraer una cantidad importante de planta.
- **Suelo no rizosférico:** se tomará una muestra cada 2 cm hasta una profundidad de 6 cm, otra de 4-10 cm y cada 5 cm hasta una profundidad de 25 cm. Para la toma de muestras se recomienda usar tubos de PVC (11 cm de diámetro interno), enterrarlos hasta la profundidad deseada y extraer el tubo. El tubo se debe mantener en posición vertical y en hielo durante su transporte al laboratorio. En el laboratorio se extrae la muestra y se corta según lo establecido anteriormente.

Las muestras, de ambos tipos de suelo, deben ser almacenadas en una bolsa de plástico y mantenidas en frío ( $-3^\circ\text{C}$ ) si el análisis se va a realizar en los días siguientes; si no, se deben congelar.

## 4. RIESGOS DE DEGRADACIÓN

### 4.1. Riesgos de degradación física

Cambios en la dinámica sedimentaria pueden afectar negativamente a la estabilidad y naturaleza del sustrato afectando a las poblaciones de invertebrados y a los recursos tróficos que esa zona ofrece a una amplia gama de especies de aves acuáticas y limícolas.

Entre las actividades más peligrosas se citan: el dragado, construcción de diques, puertos, drenajes, construcción de piscifactorías, etc.

Trabajos recientes (por ejemplo, Cochón & Sánchez, 2005) también establecen como causas importantes en la desaparición de *Zostera noltii* en la Ría de Pontevedra los aterramientos progresivos realizados en la franja litoral y la práctica de técnicas agresivas de pesca y marisqueo. Otero (2007) observa que el acondicionamiento de los bancos de almeja en la ría de O Burgo conlleva la destrucción de las manchas de *Zostera noltii* presentes en ellos pero éstas se restablecen rápidamente. La extracción de lombrices para la pesca también puede llevar a la degradación de las praderas de *Zostera*.

#### 4.2. Riesgos de degradación química

El vertido de aguas fecales e industriales conlleva cambios en la composición química del suelo y sedimento. Se ha observado un claro enriquecimiento en nutrientes (P y N), así como de metales tóxicos. Se necesitan estudios detallados de cómo la eutrofización y la presencia de contaminantes puede afectar al sistema. Para esta evaluación es imprescindible conocer la dinámica y comportamiento geoquímico de los diferentes elementos en este tipo de ambientes. Por ejemplo, Otero (2000) puso de manifiesto que el contenido de metales pesados en *Nereis diversicolor* no depende del contenido total del elemento en el suelo, sino que éste está más relacionado con su comportamiento geoquímico.

Otro aspecto importante es el comportamiento de este hábitat ante un más que evidente incremento del nivel del mar asociado al cambio climático global. El mayor período de inundación va a suponer un cambio de las condiciones fisicoquímicas del sustrato y, por tanto, puede ello conducir a una liberación de elementos tóxicos y eutrofizantes a la lámina de agua. Estudiar este tipo de procesos resulta fundamental para prever sus efectos perniciosos sobre la salud de los ecosistemas marinos.

#### 5. RECOMENDACIONES GENERALES DE CONSERVACIÓN

Preservar la franja marítimo-terrestre de los impactos mencionados y mantener la calidad de sus aguas.



Fotografía A1.1

Ría de Ortigueira (A Coruña). Vista general de la llanura mareal.



Fotografía A1.2

Ensenada de O Grove (Pontevedra). Llanura mareal colonizada por *Zostera noltii*. A pesar de que el hábitat es definido en primera instancia como llanuras costeras arenosas o limosas desprovistas de plantas vasculares, sí reconoce la presencia de esta fanerógama.



Fotografía A1.3

Detalle de la comunidad *Zosteretum noltii* en la ensenada de O Vao (O Grove, Pontevedra).

**Número perfil: 8**

- **Código:** Mera3.
- **Localización:** Marisma de Mera (Ría de Ortigueira).
- **Fecha:** marzo de 1996.
- **Posición fisiográfica:** planicie de marea.
- **Vegetación:** sin vegetación.
- **Condiciones de humedad:** suelo mal drenado, encharcamiento permanente.
- **Clasificación del suelo WRB (2006):** protothionic fluvisol (salic).
- **Soil Taxonomy (1999):** salic Hidraquents.

**■ Descripción general de la unidad**

Los grandes canales de la marisma alta reproducen una situación similar al de la marisma baja. Su altura es de 1 a 2 m inferior a la da la superficie de la marisma alta, quedando inundados tanto por mareas vivas como muertas. Estos suelos se encuentran permanentemente inundados, por lo que sus condiciones redox son anóxicas. Los valores obtenidos para el Eh fueron siempre inferiores a  $-100$  mV (ver figura A1.6). El perfil presenta un color homogéneo negro o gris oscuro, excepto en los 5 cm superficiales en donde puede aparecer un color amarillento con moteados rojizos, asociados a los canales generados por poliquetos. Fotografías A1.4, A1.5.

**■ Descripción del perfil**

Horizonte	Profundidad	Descripción morfológica
Ag	0-5	Horizonte con una matriz negro, 5 BG 2/1 (h), canales recubiertos de color rojizo, 2.5YR 4/8 (h). Fluye muy fácilmente entre los dedos, ( $n > 2$ ). Presencia de conchas
Cr	>5	Horizonte de color negro, 5 BG 2/1 (h), más compacto que el anterior sin edafotúbulos, adhesivo. Fluye por entre los dedos ( $n$ : 1-1,2). Presencia de conchas

**Características generales del perfil**

FASE SÓLIDA											
Horizonte	Prof.	C org.	S total					FeS <sub>2</sub>	Textura		
				Arena	Limo	Arcilla					
	(cm)	(%)	Campo	H <sub>2</sub> O (incub)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	(%)	(%)				
Ag	0-5	3,0	1,0	7,4	5,1	2,9	2,0	19,52	47,69	32,79	
Cr	>5	2,5	1,5	7,1	5,9	2,3	2,5	16,53	51,23	32,24	

AGUA INTERSTICIAL					
Horizonte	pH	C. elect.	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> /Cl
		(dSm <sup>-1</sup> )	mg l <sup>-1</sup>		
Ag	7,3	26,10	1.052	7.884	0,13
Cr	7,9	31,10	1.190	9.898	0,12



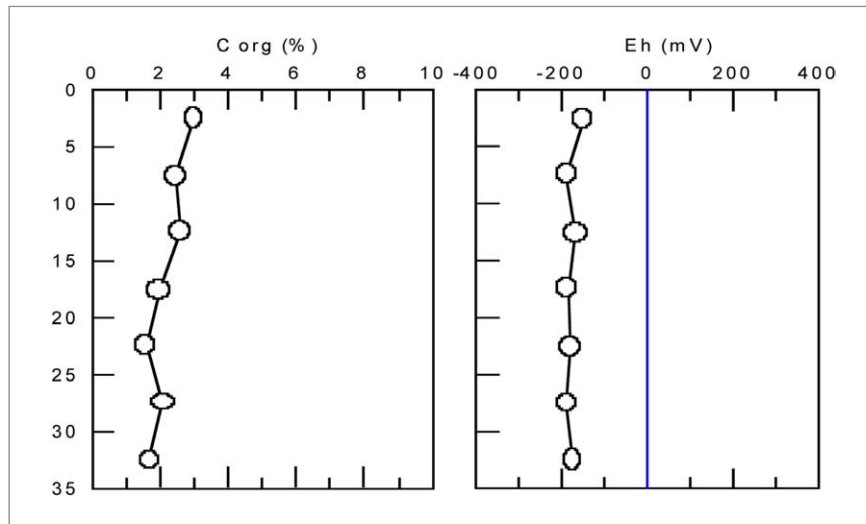
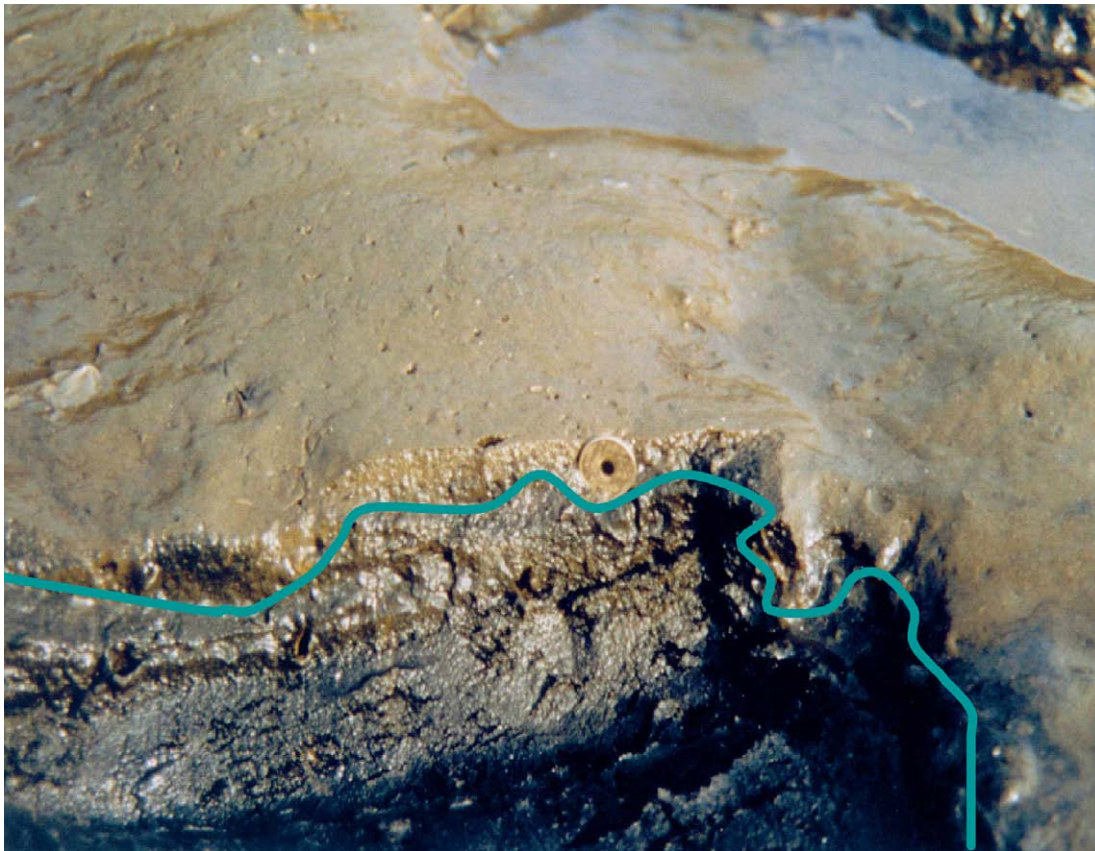


Figura A1.6

Variación del C orgánico y Eh con la profundidad.



Fotografía A1.4

Aspecto del sedimento de la planicie marea. Se trata de un suelo muy fluido y anóxico en superficie.



Fotografía A1.5

Efecto de la biota (poliquetos) sobre los suelos anóxicos del fondo de canal. La construcción túbulos por parte de los poliquetos produce la oxidación del  $\text{Fe}^{2+}$  que precipita recubriendo las paredes de éstos. En ambientes fuertemente contaminados, este efecto puede producir la oxidación de los sulfuros metálicos, de manera que metales como Cu, Ni, Zn pueden ser liberados al agua intersticial y ser asimilados por esta especie (Otero, *et al.*, 2000). También se puede observar la presencia de abundantes restos de conchas que contribuyen a neutralizar la acidificación generada por la oxidación de sulfuros metálicos.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLINE, J.E., 1969. Spectrophotometric Determination of Hydrogen Sulfide in Natural Waters. *Limnol. Oceanogr.* 14: 454-458.
- COCHÓN, G. & SÁNCHEZ, J.M., 2005. Variations of Seagrass Beds in Pontevedra (NW Spain): 1947-2001 (NW SPAIN): 1947-2001. *Thalassas* 21: 9-19.
- FERREIRA, T.O., VIDAL-TORRADO, P., OTERO, X.L. & MACIAS, F., 2007a. Are Mangrove Substrate Sediments or Soils?. A Case Study in Southeastern Brazil. *Catena* 70: 79-91.
- FERREIRA, T.O., OTERO, X.L., VIDAL, P. & MACÍAS, M., 2007b. Redox Processes in Mangrove Soils Under Rhizophora Mangle in Relation to Different Environmental Conditions. *Soil Science Society of America Journal* 71: 484-491.
- HAYES, M.O., 1979. Barrier Island Morphology as a Function of Tidal and Wave Regime. In: Leatherman (ed.). *Barrier island*. Academic Press. pp 1-27.
- KOSTKA, J.E. & LUTHER, G.W. III, 1994. Partitioning and Speciation of Soil Phase Iron in Salt-Marsh Sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 58: 1.701-1.710.
- OTERO, X.L. & MACÍAS, F., 2002. Variation With Depth and Season in Metal Sulfides in Salt Marsh Soils. *Biogeochem.* 61: 247-268.
- OTERO, X.L., 2000. *Biogeoquímica de metales pesados en ambientes sedimentarios marinos*. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- OTERO, X.L. & MACÍAS, F., 2003. Spatial Variation in Pyritization of Trace Metals in Salt Marsh Soils. *Biogeochem.* 62: 59-86.
- OTERO, X.L., SÁNCHEZ J.M. & MACÍAS, F., 2000b. Bioaccumulation of Heavy Metals in Thionic Fluvisols by a Marine Polychaete (*Nereis diversicolor*): The Role of Metal Sulfide. *Journal of Environmental Quality* 29: 1.133-1.141.
- OTERO, X.L., 2006. *Estudio y plan de mejora ambiental de la ría de Betanzos (A Coruña)*. Informe inédito realizado por la Demarcación de Costas de a Coruña. Ministerio de Medio Ambiente. 166 pp.

- SÁNCHEZ, J.M., 1995. *Caracterización florística y fitosociológica de las rías de Ortigueira y Ladrado (Noroeste de la Península Ibérica) en relación con factores ambientales*. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. 232 p.
- WILLIAMS, S.L. & RUCKELSHAUS, M.H., 1993. Effects of Nitrogen Availability and Herbivory on Eelgrass (*Zostera marina*) and Epiphytes. *Ecology* 74: 904-918.

