PRADERA

RED DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS EN LA REGIÓN BIOGEOGRÁFICA ATLÁNTICA



Con el apoyo de:

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Fundación Biodiversidad

INFORME TÉCNICO

"SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE ZOSTERA NOLTEI (HÁBITAT 1140) EN LOS ESTUARIOS DE LA REGIÓN BIOGEOGRÁFICA ATLÁNTICA ESPAÑOLA"

Informe técnico: Seguimiento del estado de conservación de *Zostera noltei* (Hábitat 1140) en los estuarios de la Región Biogeográfica Atlántica española

Este proyecto cuenta con el apoyo del Ministerio para la Transición Ecológica a través de la Fundación Biodiversidad.

Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto.

ÍNDICE

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

2. ZONA DE ESTUDIO 2

3. METODOLOGÍA 3
3.1. Cartografía actualizada de *Zostera noltei* 3
3.1.1. Imágenes de satélite 3
3.1.2. Procesado y clasificación de las imágenes 4
3.1.3. Validación de la cartografía 7
3.2. Diseño y aplicación de una red de seguimiento del estado de conservación de las praderas de *Zostera noltei* 8
3.2.1. Clasificación de los estuarios Cantábricos 8
3.2.2. Indicadores del estado de conservación 9
3.2.3. Evaluación del estado de conservación 11

4. RESULTADOS 12
4.1. Cartografiado de la distribución de *Zostera noltei* 12
4.2. Validación de la cartografía 17
4.3. Diseño y aplicación de una red de seguimiento del estado de conservación de *Zostera noltei*. 18
4.3.1. Distribución de las praderas de *Zostera noltei* 18
4.3.2. Tendencia de la distribución de *Zostera noltei* 20
4.3.3. Estado de conservación de las praderas cantábricas 22

REFERENCIAS 24

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

La fanerógama marina *Zostera noltei* es una especie protegida (Hábitat 1140 según la Directiva Hábitats 92/43/CEE), que coloniza los estuarios del norte de España y que está incluida en el Catálogo Español de Especies Amenazadas (Real Decreto 139/2011).

El efecto combinado de presiones de origen natural y antrópico ha favorecido que en las últimas décadas las praderas de *Zostera noltei* de los estuarios cantábricos hayan reducido su tamaño, se hayan fragmentado, e incluso hayan desaparecido de algunas zonas.

Detener y revertir esta tendencia requiere diseñar modelos de gestión adaptativos que reconozcan el estado de conservación, reconecten las áreas fragmentadas, e identifiquen las praderas que deben ser protegidas, y las que están dañadas y necesitan ser restauradas. La hipótesis que sustenta el proyecto PRADERA es que la caracterización y vigilancia de comunidades mono-específicas puede abordarse a partir de aproximaciones combinadas de teledetección y datos *in situ*. La ventaja de la teledetección respecto otras técnicas de vigilancia, reside en su capacidad para observar grandes extensiones de forma periódica, en la homogeneidad de la toma de datos y en la gran oferta de imágenes disponibles. Esta serie de ventajas permite diseñar metodologías y protocolos para sistematizar y estandarizar el seguimiento del estado de conservación y para cuantificar cambios en la provisión de servicios ecosistémicos en zonas de alto valor ambiental.

El proyecto PRADERA, que da continuidad al proyecto NANO también apoyado por la Fundación Biodiversidad (http://nano.ihcantabria.com), tiene por objetivo actualizar el inventario, diseñar y aplicar una red de seguimiento para caracterizar y evaluar el estado de conservación y documentar los cambios espacio-temporales en los depósitos de carbono de las praderas de *Zostera noltei* (hábitat 1140) en la Región Biogeográfica Atlántica y, específicamente, en la costa cantábrica. En este marco general se engloba el objetivo específico de la Actividad A1, que es generar la cartografía actual de *Zostera noltei* de los estuarios cantábricos y diseñar y aplicar una Red de evaluación y seguimiento de su estado de conservación, cuya metodología y principales resultados se describen en el presente informe.

2. ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca la costa del norte de la Península Ibérica e, incluye, estuarios de País Vasco, Cantabria, Asturias y Galicia previamente seleccionados en el proyecto NANO. Respecto NANO, la zona de estudio se ha completado con el Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia y con el estuario de la Bahía de Cádiz, ampliando así el área de trabajo hasta el sur atlántico de la Península Ibérica.

La mayor parte de este sector del litoral ibérico está constituido por costa acantilada, localmente interrumpida por desembocaduras fluviales. Los estuarios y rías que se forman en dichas desembocaduras están expuestos a una dinámica mesomareal (la máxima carrera de marea es superior a 4-5 metros) y, en general, presentan amplias superficies intermareales. Estas áreas intermareales, que forman parte del hábitat potencial de *Zostera noltei*, son descubiertas dos veces al día durante la bajamar (marea semi-diurna). A lo largo de la zona de estudio el tamaño de los estuarios es variable, siendo en términos generales los estuarios Cantábricos de un tamaño inferior a las rías situadas en la costa atlántica de Galicia (costa oeste).

El clima en la zona de estudio es templado. Según la clasificación de Köppen para la Península Ibérica, la región cantábrica se caracteriza por un clima templado sin estación seca, con verano templado (Cfb), mientras que la zona del noroeste de la península (costa noroeste y oeste de Galicia) se caracteriza por un clima templado con verano seco y templado (Csb) y la zona de la Bahía de Cádiz presenta un clima templado con verano seco y cálido (Csa) (AEMET-IM, 2000).

Una alta densidad de la población se concentra en las zonas costeras y, especialmente, en las áreas ligadas a zonas estuarinas. En consecuencia, los ambientes estuarinos suelen estar sujetos a una fuerte actividad económica, educativa, cultural y turística que genera impactos sobre el ecosistema en general, y particularmente sobre los hábitats y las especies (p. ej. *Zostera noltei*) que colonizan dichos espacios.

3. METODOLOGÍA

A continuación se describen las metodologías propuestas para el desarrollo de una cartografía de la distribución de *Zostera noltei* basada en sensores remotos, para la selección de las praderas de *Zostera noltei* con una distribución favorable y para el diseño de una red de seguimiento estandarizada del estado de conservación de *Zostera noltei* en la Región Biogeográfica Atlántica.

3.1. Cartografía actualizada de *Zostera noltei*

En el cantábrico, el hábitat 1140 "llanos fangosos o arenosos que no están cubiertos de agua cuando hay marea baja" puede albergar asociaciones fitosociológicas de *Zosteretum noltii; Ruppieteum cirrhosae; Enteromorpho intestinales-Ruppieteum maritimae y Eleocharidetum parvulae*, constituye el hábitat potencial de *Zostera noltei*. Este hábitat, por tanto, está formado por una comunidad mixta donde *Zostera noltei* es la formación vegetal dominante. En consecuencia, la interpretación efectuada sobre las imágenes de satélite para llevar a cabo la cartografía de 2018 se centró en la clasificación de la superficie ocupada por *Zostera noltei.*

3.1.1. Imágenes de satélite

Para cada estuario se seleccionó una imagen obtenida con los satélites Sentinel-2 (A y B) entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2018 atendiendo a dos criterios: (1) menor cobertura de nubes y (2) mayor nivel de bajamar (Tabla 1). Asimismo, para cada imagen, se descargó el correspondiente producto L2A (que proporciona la reflectancia superficial, es decir, *Bottom Of Atmosphere reflectance*) desde la plataforma Copernicus (https://scihub.copernicus.eu).

ID	Estuario	Fecha	Satélite	Órbita	*Tile*
1	Oka	12/08/2018	Sentinel-2A	94	30TWP
2	Oriñón	13/07/2018	Sentinel-2A	94	30TVP
3	Marismas de Santoña	15/08/2018	Sentinel-2A	137	30TVP
4	Joyel	15/08/2018	Sentinel-2A	137	30TVP
5	Bahía de Santander	15/08/2018	Sentinel-2A	137	30TVP
6	Mogro	29/09/2018	Sentinel-2B	137	30TVP
7	Oyambre	15/08/2018	Sentinel-2A	137	30TUP
8	San Vicente de la Barquera	15/08/2018	Sentinel-2A	137	30TUP
9	Tina Menor	15/08/2018	Sentinel-2A	137	30TUP
10	Ribadesella	15/08/2018	Sentinel-2A	137	30TUP
11	Villaviciosa	15/08/2018	Sentinel-2A	137	30TUP
12	Eo	14/06/2018	Sentinel-2B	37	29TPJ
13	Foz	14/06/2018	Sentinel-2B	37	29TPJ
14	Viveiro	14/06/2018	Sentinel-2B	37	29TPJ
15	O Barqueiro	14/06/2018	Sentinel-2B	37	29TPJ
16	Ortigueira	10/09/2018	Sentinel-2A	80	29TNJ
17	Cedeira	10/09/2018	Sentinel-2A	80	29TNJ

ID	Estuario	Fecha	Satélite	Órbita	*Tile*
18	Ferrol	10/09/2018	Sentinel-2A	80	29TNJ
19	Ares	10/09/2018	Sentinel-2A	80	29TNJ
20	Betanzos	17/06/2018	Sentinel-2B	80	29TNH
21	A Coruña	17/06/2018	Sentinel-2B	80	29TNH
22	Corme e Laxe	30/09/2018	Sentinel-2A	80	29TMH
23	Camariñas	30/09/2018	Sentinel-2A	80	29TMH
24	Muros e Noia	17/06/2018	Sentinel-2B	80	29TNH
25	Arousa-O Grove	17/06/2018	Sentinel-2B	80	29TNH
26	Pontevedra	17/06/2018	Sentinel-2B	80	29TNH
27	Vigo-Arcade	17/06/2018	Sentinel-2B	80	29TNG
28	Bahía de Cádiz	29/09/2018	Sentinel-2B	137	29SQA

Tabla 1. Colección de imágenes de los satélites Sentinel seleccionadas para realizar la cartografía de *Zostera noltei* en los estuarios de la zona de estudio (año 2018).

3.1.2. Procesado y clasificación de las imágenes

Para la clasificación de las imágenes de satélite e identificación del área de distribución de *Zostera noltei* se utilizó una aproximación de secuencias basada en el establecimiento de umbrales y en técnicas de clasificación no supervisadas (Figura 1). La unidad de clasificación fue cada uno de los pixeles proporcionados por las imágenes de satélite.

En primer lugar, se aplicaron dos máscaras a las imágenes para delimitar la zona del estuario a clasificar:

- Se seleccionaron las zonas incluidas dentro de los límites de las masas de agua de transición (*sensu* Directiva Marco del Agua 2000/60/CE).
- Se eliminaron las zonas con presencia de agua identificadas a partir de los índices NWI (*Normalized Water Index*) (Silió et al, 2017) y NDWI (*Normalized Difference Water Index*) (McFeeters, S.K., 1996):

$$NWI = \frac{\frac{\sum VIS}{n} - \frac{\sum IR}{m}}{\frac{\sum VIS}{n} + \frac{\sum IR}{m}}$$

donde *VIS* es la reflectancia superficial de las bandas visibles, *IR* es la reflectancia superficial de las bandas infrarrojas, *n* es el número de bandas visibles y *m* es el número de bandas infrarrojas.

$$NDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{NIR}}{\rho_{Green} + \rho_{NIR}}$$

$donde\ \rho_{Green}$ es la reflectancia superficial en la banda del verde (banda 3 en las imágenes de Sentinel-2) y ρ_{NIR} es la reflectancia superficial en la banda del infrarrojo cercano (banda 8 en las imágenes de Sentinel-2).

Inicialmente se aplicó un valor umbral del NWI igual a 0 para identificar las zonas terrestres (NWI<0). En las zonas con NWI>0, se aplicó un valor de NDWI igual a

0.1 para identificar zonas sumergidas (NDWI > 0.1) y zonas emergidas (NDWI < 0.1) en las imágenes de Sentinel-2 con resolución espacial de 10 m (Du et al., 2016).

En segundo lugar, se seleccionaron y calcularon para cada imagen las bandas e índices que potencialmente permiten identificar la presencia de *Zostera noltei* en la zona de estudio a través de técnicas de clasificación estadísticas:

- A través del índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Turker, 1979) será posible diferenciar las zonas no vegetadas y las zonas vegetadas (valores de NDVI próximos a 0 se corresponden con zonas rocosas o arenosas, desprovistas de vegetación).

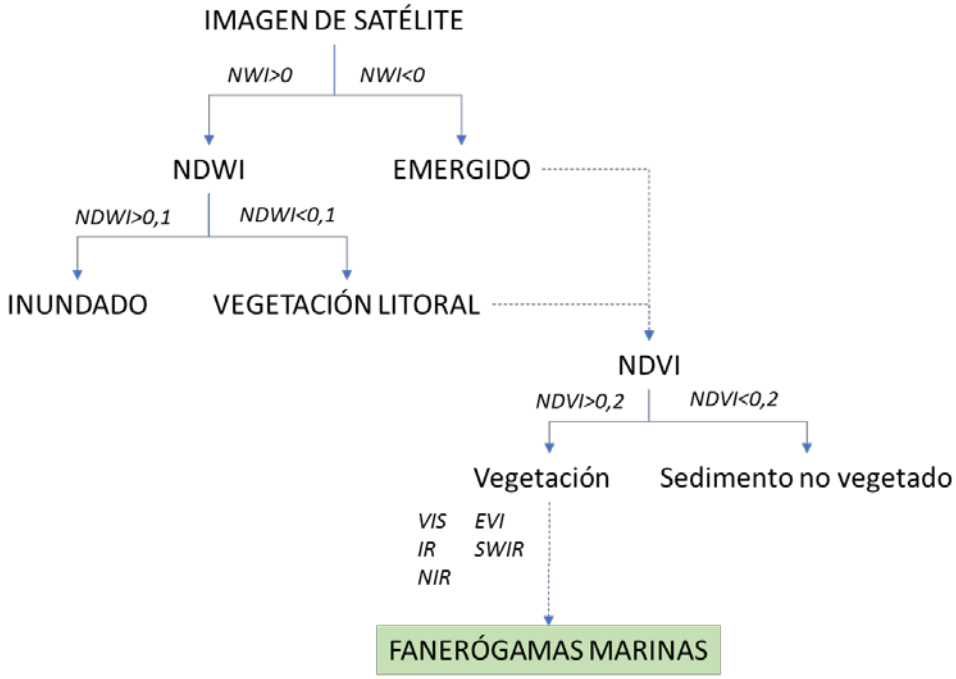
$$NDVI = \frac{\varphi NIR - \varphi R}{\varphi NIR + \varphi R}$$

  donde φNIR es la reflectancia superficial del infrarrojo cercano y φR es la reflectancia superficial de la banda roja (banda 4 en las imágenes Sentinel-2).

- Mediante el índice EVI (*Enhanced Vegetation Index*) se facilitará la diferenciación de las tipologías de comunidades vegetales, dada su susceptibilidad a la banda infrarroja cercana, lo que permite diferenciar la fisionomía de las plantas, variaciones estructurales y tipo de dosel vegetal (Gao et al, 2003).

$$EVI = \frac{2.5 * (\varphi NIR - \varphi R)}{((\varphi NIR + 6\varphi R - 7.5\varphi B) + 1)}$$

  donde φNIR es la reflectancia superficial del infrarrojo cercano, φR es la reflectancia superficial de la banda roja y φB es la reflectancia superficial de la banda azul (banda 2 en las imágenes Sentinel-2).



NWI: Normalized water index
NDWI: Normalized difference water index
VIS: Bandas visibles
IR: Bandas del infrarrojo
EVI: Enhanced vegetation index
NDVI: Normalized difference vegetation index

Figura 1. Sistema de clasificación a nivel de pixel para la identificación del área de distribución de Zostera *noltei*.

Finalmente se excluyeron las zonas pertenecientes al intermareal superior, colonizado por comunidades de vegetación de marisma en las que no aparecen las fanerógamas marinas. De este modo, con base en la información LiDAR de la Península Ibérica, se descartaron las zonas con cotas superiores a 1.5 m. La información LiDAR se obtuvo del Centro Nacional de Información Geográfica.

En las zonas del intermareal inferior y medio con vegetación emergida se aplicó una clasificación no supervisada Isodata en ArcGIS 10.3 (ESRI) a partir de los valores de las bandas del visible e infrarrojo y del índice EVI, para identificar las zonas con presencia de fanerógamas marinas (Figura 1). Como resultado de la clasificación, se obtuvieron 9 grupos o clases que, con base en el criterio de experto y en las cartografías de *Zostera noltei* disponibles, se asignaron a 3 categorías:

- Presencia de *Zostera noltei* con certidumbre alta.
- Presencia de *Zostera noltei* con certidumbre media
- Sin *Zostera noltei*.

En el caso de la Bahía de Cádiz, una vez calculados los índices derivados de la imagen de satélite, y aplicadas las máscaras para seleccionar la zona emergida recubierta de vegetación, se aplicó una técnica de clasificación supervisada (MLC, *Maximum Likelihood*

Classification) utilizando un archivo de firma para la discretización de la vegetación de marisma y las fanerógamas marinas presentes en la Bahía.

3.1.3. Validación de la cartografía

La validación de la cartografía de distribución de *Zostera noltei* elaborada a partir de los datos de satélite se llevó a cabo contrastando los resultados cartográficos con datos sobre la distribución real de la especie.

Con este objeto, se realizó una búsqueda y recopilación de la información disponible sobre la distribución de *Zostera noltei* en los estuarios cantábricos:

- Galicia: Información sobre la distribución de *Zostera noltei* en diferentes áreas de la ría de Vigo de los años 2014 (Román et al., 2019) y 2016 (Román et al., 2018), así como de la información presente en el Atlas de las Praderas Marinas de España a escala 1:210000 (Cacabelos, et al., 2015).
- Asturias: Información cartográfica disponible en el Atlas de las Praderas Marinas de España a escala 1:145000 (Bueno et al., 2015).
- Cantabria: Información actualizada de la Bahía de Santander y Tina Menor derivada de un cartografiado específico de fanerógamas marinas, a escala 1:5000, elaborados en el marco del proyecto NANO (IHCantabria, 2015). Igualmente, se dispone de información actualizada de la distribución de *Zostera noltei* en los estuarios de San Vicente de la Barquera, Tina Menor y Joyel (IHCantabria, 2015).
- País Vasco: Información cartográfica de la distribución de *Zostera noltei* en el estuario del Oka del año 2010 (Valle, 2014) junto con la información disponible en el Atlas de las Praderas Marinas de España a escala 1:150000 (Garmendia, et al., 2015).
- Cádiz: Información cartográfica de la Bahía de Cádiz del año 2008 (Gómez, E., 2008.), así como de la información presente en el Atlas de las Praderas Marinas de España a escala 1:210000 (Arroyo et al., 2015).

Los mapas cartográficos obtenidos a partir del tratamiento de las imágenes de satélite se validaron en seis áreas estuarinas distribuidas a lo largo de la región biogeográfica atlántica y Bahía de Cádiz: Cantabria (Tina Menor, Bahía de Santander), Galicia (Camariñas, Arcade, O Grove) y Andalucía (Bahía de Cádiz).

La validación se llevó a cabo a través de un análisis cuantitativo basado en matrices de confusión o tablas de contingencia. Para construir dichas matrices se distribuyeron puntos aleatorios en las zonas de estudio de los diferentes estuarios, con un número relativo a la superficie de la pradera, y se estimó el porcentaje de aciertos y fallos del modelo de distribución de *Zostera noltei* comparando la presencia/ausencia de *Zostera noltei* en los puntos aleatorios según el modelo derivado de la imagen de satélite y las cartografías de campo existentes.

3.2. Diseño y aplicación de una red de seguimiento del estado de conservación de las praderas de *Zostera noltei*

3.2.1. Clasificación de los estuarios Cantábricos

Los ríos cantábricos se caracterizan por alineaciones sur-norte, corto recorrido, alta pendiente y un régimen altamente torrencial. Las características de los estuarios asociados a estas cuencas, muy determinadas por el régimen aguas arriba, están por tanto muy ligadas a las condiciones hidromorfológicas del medio (p.ej. rango de marea, aporte fluvial, salinidad, área intermareal, etc.). Estas características son las que, en última instancia, condicionan la disponibilidad de nicho ecológico para las especies intermareales.

Con base en la propuesta metodológica de Galvan (2014), y al objeto de definir condiciones de referencia coherentes con las características hidromorfológicas del medio, los estuarios cantábricos se clasificaron en seis tipologías (Figura 2):

- Estuarios someros intermareales de dominancia fluvial y morfología alargada (IRE): Ares, Betanzos, Corme e Laxe y Ribadesella.
- Estuarios someros intermareales de dominancia fluvial y morfología redonda (IRR): Pontevedra y Vigo.
- Estuarios someros intermareales de dominancia fluvial y morfología compleja (IRC): Muros e Noia.
- Estuarios someros intermareales de dominancia mareal y morfología alargada (ITE): A Coruña, O Barqueiro, Foz, Viveiro, Eo, Mogro, Oriñón, Tina Menor y Oka.
- Estuarios someros intermareales de dominancia mareal y morfología redonda (ITR): Joyel, Camariñas y Cedeira.
- Estuarios someros intermareales de dominancia mareal y morfología compleja (ITC): Arousa, Ferrol, Ortigueira, Villaviciosa, Oyambre, Bahía de Santander, Marismas de Santoña y San Vicente de la Barquera.

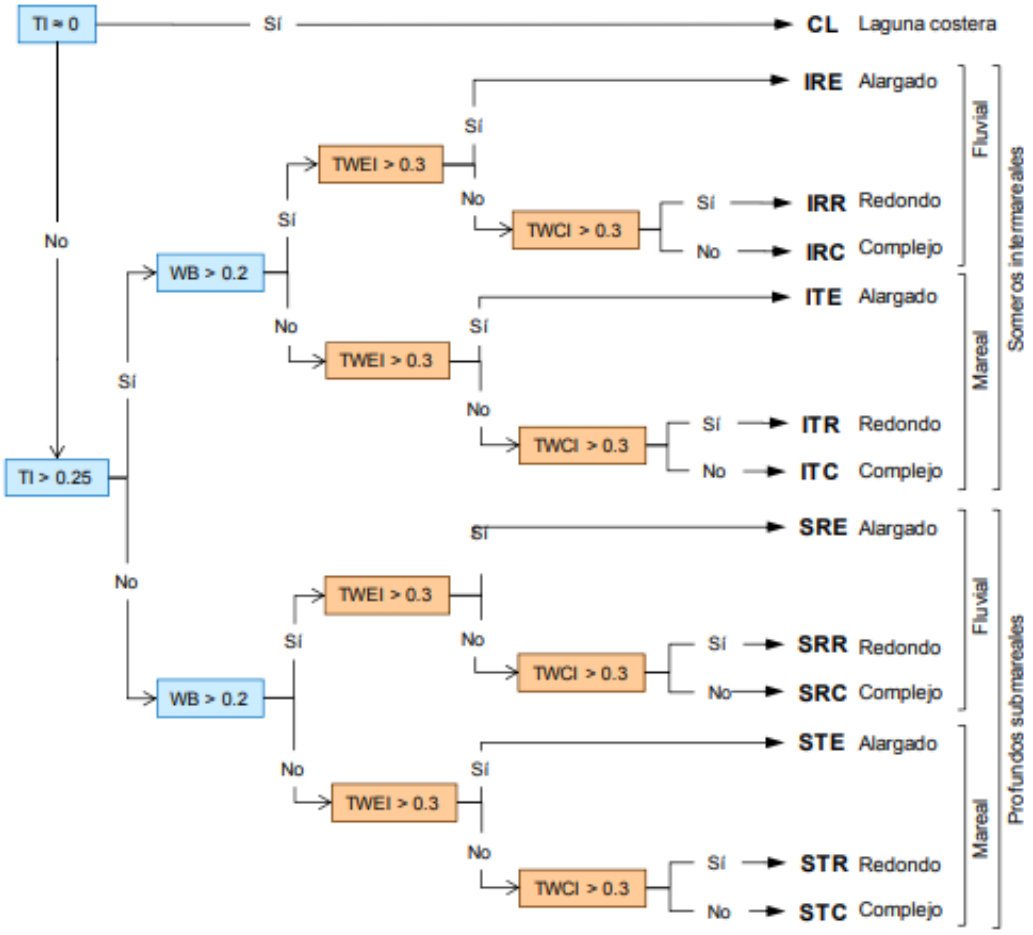


Figura 2. Proceso de clasificación de los estuarios en tipologías hidromorfológicas (Galvan, C., 2014). TI=índice mareal; WB=balance de agua, TWEI=índice de elongación; TWCI=índice de complejidad. Tipologías de estuarios: CL (laguna costera); I/S (dominado por áreas intermareales (somero)/submareales (profundo)); R/T (dominado por el río (fluvial)/dominado por la marea (mareal)); E/R/C (elongado/redondeado/complejo).

3.2.2. Indicadores del estado de conservación

La evaluación del estado de conservación de las praderas cantábricas de *Zostera noltei* se ha definido con base en dos indicadores: (1) la distribución de las praderas de fanerógamas marinas (extensión); y (2) la tendencia observada a lo largo de la serie histórica.

3.2.2.1. Distribución de las praderas de Zostera noltei

Distribución de las praderas

La distribución o extensión es un indicador que expresa la representatividad espacial del hábitat en cada estuario. Se calcula como la desviación del área ocupada por la especie *Zostera noltei,* respecto a su condición de referencia.

El área ocupada por las comunidades de fanerógamas marinas en cada estuario (año 2018) se calculó a partir de imágenes del satélite Sentinel, de acuerdo a la metodología descrita en el apartado 3.1. Estas imágenes también sirvieron para estimar la superficie intermareal total de cada estuario en el momento de realizar la cartografía. La superficie de *Zostera*

noltei cartografiada mediante sensores remotos está condicionada por la disponibilidad de hábitat (superficie intermareal) y, por tanto, por el nivel de marea. Una vez identificada la superficie emergida, se limitó el área intermareal a partir de los datos LiDAR de las zonas de estudio, restringiendo el área intermareal a la cota correspondiente a la máxima altura de marea en cada estuario.

Condición de referencia

De acuerdo con las propuestas realizadas por los Estados Miembros de la vertiente atlántica europea (Alemania, Francia, Reino Unido y Portugal, entre otros), la condición de referencia de la distribución de fanerógamas marinas en un estuario se corresponde con el valor máximo históricamente registrado (Neto *et al*, 2018).

En consecuencia, para cada tipología estuarina se calculó la superficie intermareal (%) cubierta por *Zostera noltei* a lo largo de la serie histórica (período 2000-2018) y se identificó el valor máximo por cada tipología estuarina. La condición de referencia se estableció en el valor máximo registrado (%) por cada tipología estuarina (Tabla 2).

Evaluación de la distribución favorable

El concepto de distribución (o extensión) favorable se ha adecuado a los trabajos realizados por los Estados Miembros de la Unión Europea en la intercalibración de las métricas de evaluación de las masas de agua de transición (Directiva Marco del Agua 2000/60/CE).

Las praderas con una distribución (o extensión) favorable son aquellas que presentan un recubrimiento de la superficie intermareal estuarina superior o igual al 60% de su condición de referencia (Tabla 2). Este umbral se corresponde con el valor límite para la definición de un buen estado de la distribución de fanerógamas en el conjunto de métricas de evaluación del estado ecológico de las fanerógamas marinas en las masas de agua de transición de la Región Biogeográfica Atlántica (Foden & Brazier, 2007; Foden & de Jong, 2007).

Tipo estuario	Condición Referencia (%)	Distribución favorable (%)
IRC	81,32	≥48,79
IRE	85,72	≥51,43
IRR	89,90	≥53,94
ITC	93,21	≥55,93
ITE	91,17	≥54,70
ITR	69,60	≥41,76

Tabla 2. Valores de condición de referencia y umbral de distribución favorable expresados en términos de porcentaje de superficie intermareal del estuario cubierta por *Zostera noltei*.

3.2.2.2. Tendencia de la distribución de Zostera noltei

La tendencia es un indicador que muestra la evolución de la superficie intermareal recubierta por fanerógamas marinas en el estuario. Para su cálculo se analizó la evolución de la distribución de *Zostera noltei* en cada estuario en el período 2000-2018 (datos

proyecto NANO) y se determinó si la tendencia de la superficie ocupada era creciente o decreciente. La tendencia es adimensional y expresa el signo de la misma: positiva (+) o negativa (-).

3.2.3. Evaluación del estado de conservación

El estado de conservación de las praderas de *Zostera noltei* se obtiene evaluando conjuntamente los indicadores de distribución y tendencia. El sistema de integración responde a lo mostrado en la Tabla 3.

Distribución	Tendencia	Estado de conservación
Favorable	Positiva (+)	Favorable Positivo
		Favorable Negativo
Desfavorable	Negativa (-)	Desfavorable Positivo
		Desfavorable Negativo

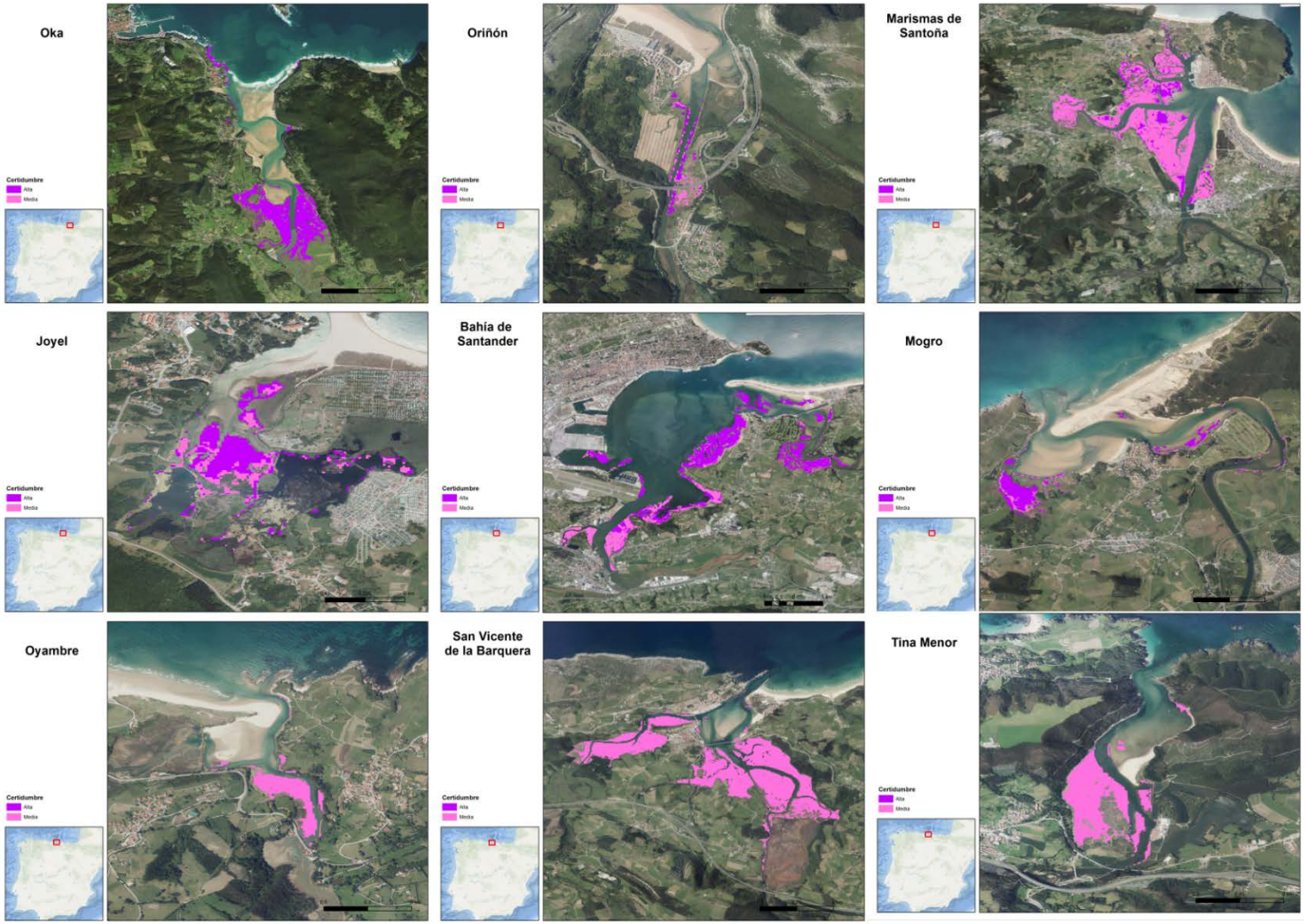
Tabla 3. Integración de los indicadores de distribución y tendencia para definir el estado de conservación de *Zostera noltei*.

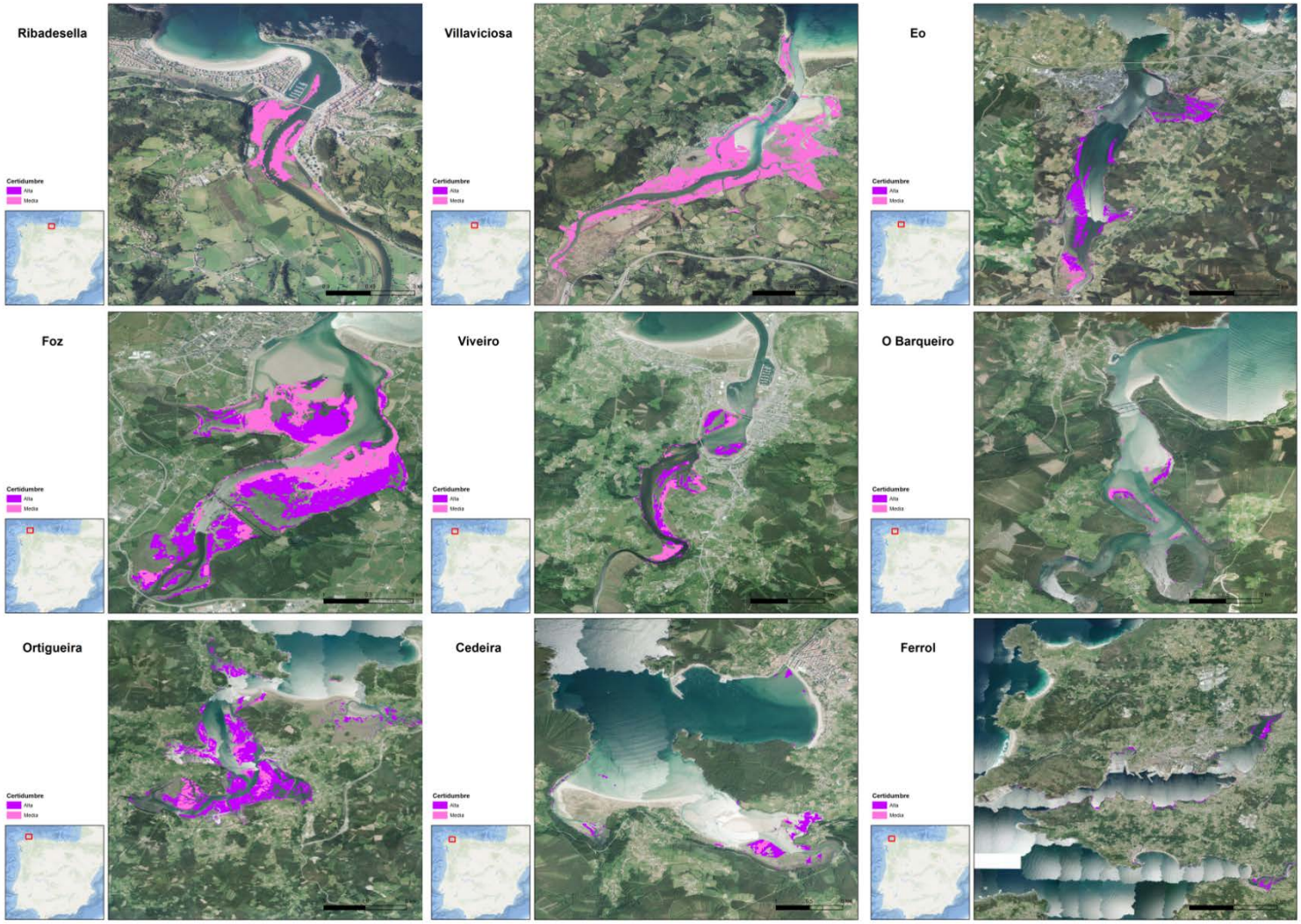
4. RESULTADOS

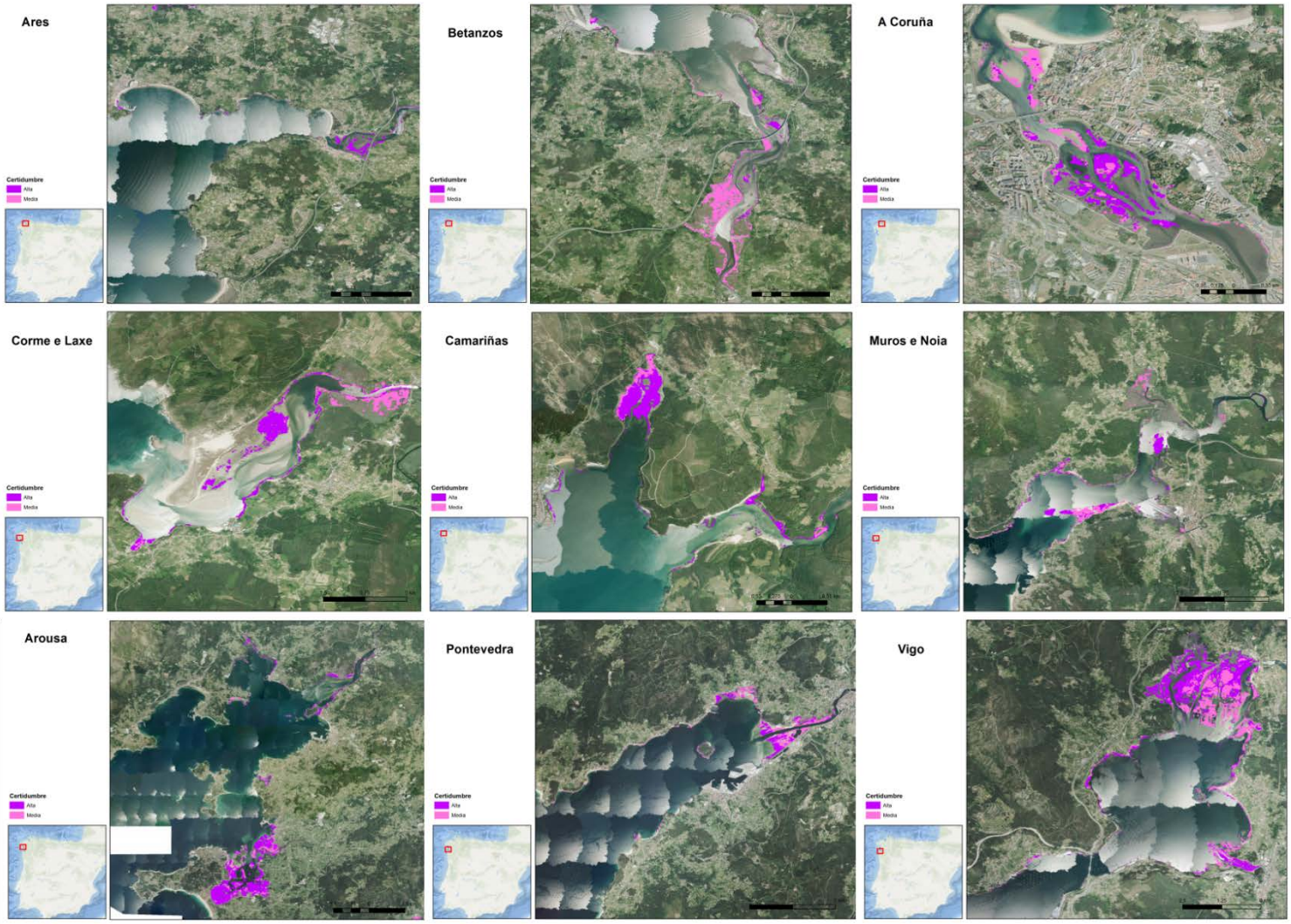
Los resultados presentan la cartografía obtenida para 2018 y su validación con trabajos de campo, así como el diseño y aplicación de la red de seguimiento del estado de conservación de Zostera *noltei* en los estuarios cantábricos.

4.1. Cartografiado de la distribución de *Zostera noltei*

Los mapas del área de distribución de *Zostera noltei* en los estuarios de la región biogeográfica atlántica y Bahía de Cádiz (año 2018) se han efectuado distinguiendo dos niveles de certidumbre en la interpretación: presencia con certidumbre alta y presencia con certidumbre media (Figura 3).


Oka
Oriñón
Marismas de Santoña
Joyel
Bahía de Santander
Mogro
Oyambre
San Vicente de la Barquera
Tina Menor


Ribadesella
Villaviciosa
Eo
Foz
Viveiro
O Barqueiro
Ortigueira
Cedeira
Ferrol
Certidumbre
Alta
Media


Ares
Betanzos
A Coruña
Corme e Laxe
Camariñas
Muros e Noia
Arousa
Pontevedra
Vigo
Certidumbre
Alta
Media

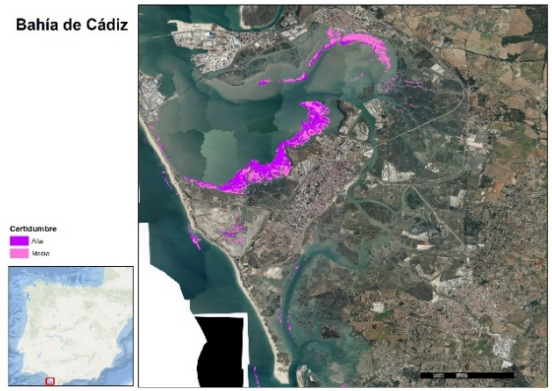


Figura 3. Distribución de *Zostera noltei* en los estuarios de la región biogeográfica atlántica y Bahía de Cádiz (año 2018) de acuerdo con la cartografía elaborada mediante la interpretación de las imágenes de Sentinel.

4.2. Validación de la cartografía

La Figura 4 muestra la distribución de las comunidades de Zostera *noltei* en la Bahía de Santander, el estuario de Tina menor, Camariñas, O Grove, Arcade y Bahía de Cádiz obtenidas por trabajo de campo y por interpretación de imágenes de satélite. Las principales diferencias entre las dos cartografías residen en la altura de la marea. La cartografía de campo se realizó en bajamar y la interpretación de las imágenes de satélite a media marea, y, por tanto, con parte del área intermareal cubierta por el agua.

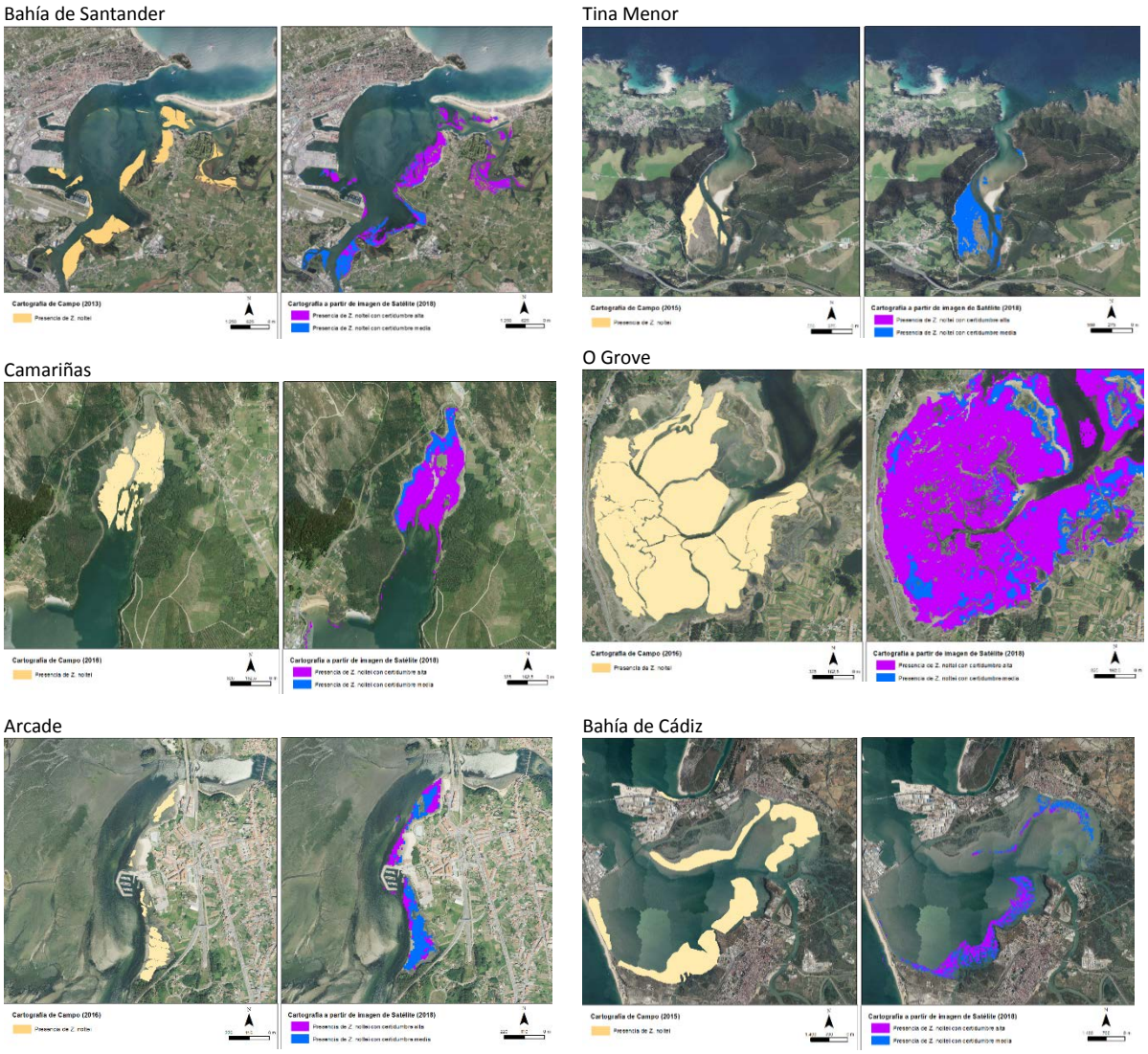


Figura 4. Área de distribución de *Zostera noltei* obtenida con información de campo (años 2013 y 2015) y por interpretación de imagen de satélite (año 2018) para los estuarios de Bahía de Santander, Tina menor, Camariñas, O Grove, Arcade y Bahía de Cádiz

Las matrices de confusión muestran que en el área cartografiada el porcentaje de aciertos de presencia y ausencia de *Zostera noltei* es superior al 70%, alcanzando valores máximos del 97% (Tabla 4). Asimismo, el porcentaje de fallos es, de forma generalizada, inferior al 25%. Los mayores porcentajes de fallo se corresponden con falsos positivos. Si bien la interpretación cartográfica de la comunidad de *Zostera noltei* es buena, la cartografía obtenida tiende a sobreestimar el área de distribución de la especie.

		Tina Menor		**Bahía Santander**		**Camariñas**		**Arcade/Vigo**		**O Grove**		**Bahía Cádiz**	
		Campo 2015		*Campo 2013*		*Campo 2016*		*Campo 2018*		*Campo 2015*		*Campo 2015*	
		Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia
Satélite	Ausencia	388	38	387	24	238	50	426	33	201	48	961	24
	Certidumbre media	46	278	123	123	33	9	34	118	54	32	12	172
	Certidumbre alta			59	84	49	221	41	48	139	323	13	118
	Aciertos	**90%**	**88%**	**70%**	**90%**	**74%**	**82%**	**85%**	**83%**	**51%**	**88%**	**97%**	**92%**
	Fallos	10%	12%	30%	10%	26%	22%	15%	20%	49%	14%	3%	8%
TOTAL		**89%**		**74%**		**78%**		**85%**		**70%**		**96%**	

Tabla 4. Matriz de confusión: estimación del número de puntos de cada categoría cartográfica, según la interpretación de las imágenes de satélite, que se corresponden con zonas de presencia/ausencia de la especie de acuerdo con las cartografías de campo. Estimación del porcentaje de aciertos y fallos en los estuarios de Tina Menor, Bahía de Santander, Camariñas, Arcade (Vigo), O Grove y Bahía de Cádiz.

4.3. Diseño y aplicación de una red de seguimiento del estado de conservación de *Zostera noltei*.

4.3.1. Distribución de las praderas de *Zostera noltei*

La Tabla 5 muestra la relación de estuarios que integran la red de seguimiento del estado de conservación de *Zostera noltei* diseñada para el Cantábrico. Cabe señalar que todos los estuarios de la red diseñada disponen de alguna figura de protección y todos ellos forman parte de la Red Natura 2000.

La distribución en el año 2018 de *Zostera noltei* en los estuarios de la vertiente atlántica (porcentaje de área intermareal cubierta por la comunidad de *Zostera noltei*) varía desde valores mínimos del 3% en el estuario de O Barqueiro, hasta valores superiores al 95% en el caso de Mogro, Bahía de Santander y Marismas de Santoña.

El único estuario del País Vasco evaluado, Oka, tiene una distribución desfavorable, al igual que los estuarios de Asturias y los estuarios de Foz, Viveiro, O Barqueiro, Ortigueira, Cedeira, Ferrol, Ares, Betanzos, A Coruña, Corme e Laxe, Camariñas, Muros e Noia, en Galicia.

ID	Estuario	Tipología	Superficie de *Z. noltei* (ha)	Superficie intermareal (ha)	Recubrimiento (%)	Distribución
1	Oka	ITE	122,66	475	25,82	Desfavorable
2	Oriñón	ITE	4,5	5,45	82,57	Favorable
3	Marismas de Santoña	ITC	682	712,28	95,75	Favorable
4	Joyel	ITR	10,5	14,11	74,42	Favorable
5	Bahía de Santander	ITC	325	329,34	98,68	Favorable
6	Mogro	ITE	17,6	18,78	93,72	Favorable
7	Oyambre	ITC	5,28	8,82	59,84	Favorable
8	San Vicente de la Barquera	ITC	192,33	244,14	78,78	Favorable
9	Tina Menor	ITE	28,51	49,76	57,29	Favorable
10	Ribadesella	IRE	14,79	70,82	20,88	Desfavorable
11	Villaviciosa	ITC	133,07	384,85	34,58	Desfavorable
12	Eo	ITE	138,65	506,93	27,35	Desfavorable
13	Foz	ITE	119,02	253,78	46,9	Desfavorable
14	Viveiro	ITE	21,89	82,08	26,67	Desfavorable
15	O Barqueiro	ITE	5,44	151,03	3,6	Desfavorable
16	Ortigueira	ITC	368,84	1154,73	31,94	Desfavorable
17	Cedeira	ITR	12,55	183,38	6,85	Desfavorable
18	Ferrol	ITC	45,96	393,17	11,69	Desfavorable
19	Ares	IRE	20,01	151,2	13,23	Desfavorable
20	Betanzos	IRE	74,12	390,54	18,98	Desfavorable
21	A Coruña	ITE	27,79	96,89	28,68	Desfavorable
22	Corme e Laxe	IRE	45,14	397,59	11,35	Desfavorable
23	Camariñas	ITR	32,59	145,05	22,47	Desfavorable
24	Muros e Noia	IRC	95,44	358,87	26,6	Desfavorable
25	Arousa-O Grove (Cortegada)	ITC	881,8	1515,02	58,2	Favorable
26	Pontevedra	IRR	119,49	214,63	55,67	Favorable
27	Vigo-Arcade	IRR	301,19	531,36	56,68	Favorable

Tabla 5. Superficie de *Zostera noltei* (ha), Superficie intermareal (ha) y relación de superficie intermareal cubierta por *Zostera noltei* (%) en los 27 estuarios cantábricos de la región biogeográfica atlántica. Datos calculados a partir de la interpretación de las imágenes del satélite Sentinel (año 2018).

Por su parte, los estuarios cantábricos que presentan una distribución favorable de *Zostera noltei* son Oriñón, Marismas de Santoña, Joyel, Mogro, Bahía de Santander, Oyambre y San Vicente de la Barquera y Tina Menor, en Cantabria; y Arousa-O Grove (Cortegada), Pontevedra y Arcade/Vigo, en Galicia (Figura 5). Las praderas del archipiélago de Cortegada, incluido en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia están integradas en la evaluación efectuada para el estuario de Arousa y presentan una distribución favorable para el año 2018.



Figura 5. Detalle de los estuarios donde las praderas de *Zostera noltei* presentan actualmente una distribución favorable.

4.3.2. Tendencia de la distribución de *Zostera noltei*

En la Figura 6 se muestra la tendencia de la distribución de *Zostera noltei* en cada uno de los estuarios cantábricos de la Red de seguimiento en el período 2010-2018.

Con la excepción de los estuarios de Cantabria y de Corme e Laxe en Galicia, la tendencia es predominantemente negativa, y se caracteriza por la pérdida progresiva de superficie intermareal cubierta por fanerógamas marinas.



Figura 6. Tendencia de la evolución de superficie intermareal cubierta por *Zostera noltei* en los estuarios cantábricos integrados en la Red de seguimiento desde el año 2000. Los datos se han ajustado a una recta de regresión y se ha calculado el coeficiente determinación (R^2).

4.3.3. Estado de conservación de las praderas cantábricas

En los estuarios de Oriñón, Santoña, Joyel, Bahía de Santander, Mogro, Oyambre y San Vicente de la Barquera las praderas de *Zostera noltei* presentan un estado de conservación favorable con tendencia positiva (Tabla 6, Figura 7). La superficie de *Zostera noltei* en estos 7 estuarios (1.237 ha) representa el 32% del total de la superficie de *Zostera noltei* en los estuarios cantábricos.

Asimismo, los estuarios de Tina menor, Arousa-O Grove (Cortegada), Pontevedra, Vigo-Arcade representan una singularidad dentro del Cantábrico dado que si bien presentan un estado de conservación favorable, su tendencia es negativa. El estuario de Carme y laxe, por su parte, es el único con un estado de conservación desfavorable, pero con tendencia positiva.

En el resto de los casos, el estado de conservación es desfavorable con tendencia negativa.

ID	Estuario	Distribución	Tendencia	Estado de Conservación
1	Oka	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
2	Oriñón	Favorable	+	Favorable Positivo
3	Marismas de Santoña	Favorable	+	Favorable Positivo
4	Joyel	Favorable	+	Favorable Positivo
5	Bahía de Santander	Favorable	+	Favorable Positivo
6	Mogro	Favorable	+	Favorable Positivo
7	Oyambre	Favorable	+	Favorable Positivo
8	San Vicente de la Barquera	Favorable	+	Favorable Positivo
9	Tina Menor	Favorable	-	Favorable Negativo
10	Ribadesella	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
11	Villaviciosa	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
12	Eo	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
13	Foz	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
14	Viveiro	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
15	O Barqueiro	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
16	Ortigueira	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
17	Cedeira	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
18	Ferrol	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
19	Ares	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
20	Betanzos	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
21	A Coruña	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
22	Corme e Laxe	Desfavorable	+	Desfavorable Positivo
23	Camariñas	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
24	Muros e Noia	Desfavorable	-	Desfavorable Negativo
25	Arousa-O Grove (Cortegada)	Favorable	-	Favorable Negativo
26	Pontevedra	Favorable	-	Favorable Negativo
27	Vigo-Arcade	Favorable	-	Favorable Negativo

Tabla 6. Estado de conservación de las praderas de *Zostera noltei* en los estuarios cantábricos de la Región Biogeográfica Atlántica.

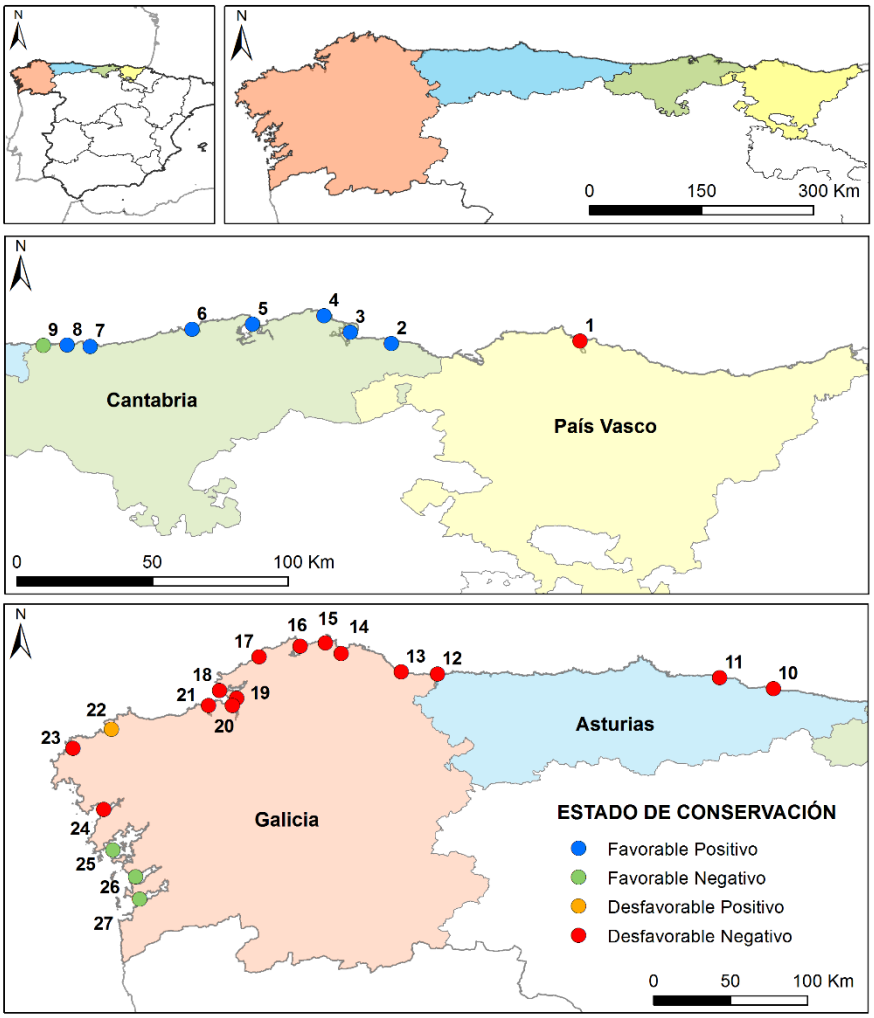


Figura 7. Estado de conservación de las praderas de *Zostera noltei* en los estuarios cantábricos de la Región Biogeográfica Atlántica. Ver código del número de estuario en la Tabla 6.

REFERENCIAS

AEMET-IM. (2000). Atlas Climático Ibérico (Agencia Es). Agencia Estatal de Meteorología del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino e Instituto de Meteorología de Portugal, 18 pp.

Arroyo, M.C., Barrajón, A., Brun, A.G., del Castillo, F., de la Rosa, J., Fernández-Casado, M., Hernández, I., Moreno, D., Pérez-Lloréns, J.L., Otero, M.M., Remón, J.M., Vergara, J.J., Vivas, M.S. 2015. Praderas de angiospermas marinas de Andalucía. En: Ruiz, J.M., Guillén, J.E., Ramos Segura, A. & Otero, M.M. (Eds.). Atlas de las praderas marinas de España. IEO/IEL/UICN, Murcia-Alicante-Málaga: 87-91 pp.

Bueno, A., Fernández-Prieto, J.A., Peón, P., García, S., Sánchez, T., Vázquez, V.M. 2015. Praderas de angiospermas marinas de Asturias. En: Ruiz, J.M., Guillén, J.E., Ramos Segura, A. & Otero, M.M. (Eds.). Atlas de las praderas marinas de España. IEO/IEL/UICN, Murcia-Alicante-Málaga: 87-91 pp.

Cacabelos, E., Quintas, P., Troncoso, J.S., Sánchez, J., Amigo, J., Romero, I., García, V., Cremades, J., Bárbara, I. 2015. Praderas de angiospermas marinas de Galicia. En: Ruiz, J.M., Guillén, J.E., Ramos Segura, A. & Otero, M.M. (Eds.). Atlas de las praderas marinas de España. IEO/IEL/UICN, Murcia-Alicante-Málaga: 87-91 pp.

Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., & Li, X. (2016). Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the swir band. Remote Sensing, 8(354), 1–19.

Foden J., Brazier D.P. (2007). Angiosperms (seagrass) within the EU water framework directive: A UK perspective. Marine Pollution Bulletin 55, 181–195. 6.

Foden, J and de Jong, D.J (2007) Assessment metrics for littoral seagrass under the European Water Framework Directive; outcomes of the Auk intercalibration with the Netherlands. Hydrobiologia, 579, 187-197.

Galván. C., 2014. Clasificación de estuarios a diferentes escalas espaciales mediante la integración de modelos físicos y biológicos. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria.

Gao, X.; Huete, A.R. y Didan, K. (2003): Multisensor comparisons and validation of MODIS vegetation indices at the semiarid Jornada Experimental Range. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 41 (10): 2368-2381.

Garmendia, J.M., Chust, G., Valle, M., Borja, A., Franco, J. 2015. Praderas de angiospermas marinas de País Vasco. En: Ruiz, J.M., Guillén, J.E., Ramos Segura, A. & Otero, M.M. (Eds.). Atlas de las praderas marinas de España. IEO/IEL/UICN, Murcia-Alicante-Málaga: 87-91 pp.

Gómez, E. 2008. Propiedades ópticas y teledetección de macrófitos marinos en la Bahía de Cádiz, España. Tesis de Máster. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz.

IHCantabria, 2015. Evaluación espacial y temporal de las praderas de *Nanozostera noltii* (hábitat 1140) en la Costa Cantábrica. Fundación Biodiversidad. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España.

IHCantabria, 2015. Integración de las actividades humanas en los objetivos de conservación de la red Natura 2000 del litoral de Cantabria (LIFE-CONVIVE). www.convivelife.es.

McFeeters, S.K. (1996). The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. Int. J. Remote Sens., 17, 1425–1432.

Neto, J.M., Salas-Herrero, F., Best, M., Buchet, R., Heiber, W., Juanes, J.A., Kolbe, K., Recio, M., Ruiter, H., Scanlan, C., Wilkes, R. (2018). Coastal and transitional waters North East Atlantic geographic intercalibration group. Seagrasses ecological assessment methods. EUR 29591 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-98477-8, doi:10.2760/86847, JRC115082.

Román, M., Rendal, S., Fernández, E., Méndez, G. 2018. Seasonal Variability of the Carbon and Nitrogen Isotopic Signature in a *Zostera noltei* Meadow at the NW Iberian Peninsula. Wetlands, 38, 739-753.

Román, M., Fernández, E., Zamborain-Mason, J., Martínez, L., Méndez, G. 2019. Anthropogenic drivers of decadal changes in the spatial coverage of Zostera noltei in two seagrass meadows (Ría de Vigo, NW Spain). Journal of Coastal Management. *Submitted*.

Ruiz, J. M., Guillén, J. E., Ramos Segura, A., & Otero, M.M. (2015). Atlas de las praderas marinas de España. Murcia-Alicante-Málaga: IEO/IEL/UICN, Murcia-Alicante-Málaga, 681 pp.

Silio-Calzada, A., Barquín, J., Huszar, V.L.M., Mazzeo, N., Méndez, F., Álvarez-Martínez, J.M. 2017. Long-term dynamics of a floodplain shallow lake in the Pantanal wetland: Is it all about climate? Science of The Total Environment, 605–606, 527-540.

Valle, M., Chust, G., del Campo, A., Wisz, M.S., Olsen, S.M., Garmendia, J.M., Borja, A. 2014. Projecting future distribution of the seagrass *Zostera noltii* under global warming and sea level rise. Biological Conservation, 170. 74-85.



Un proyecto de:

IH cantabria
INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Con el apoyo de:

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Fundación Biodiversidad