



## PRADERA

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



Con el apoyo de:



### INFORME TÉCNICO

**"ANÁLISIS HISTÓRICO DEL ÁREA DE DISTRIBUCIÓN DE ZOSTERA NOLTEI EN EL PARQUE NACIONAL MARÍTIMO TERRESTRE DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA"**



**Informe técnico: Análisis histórico del área de distribución de *Zostera noltei* en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia**

*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.....	4
3.1. Cartografiado de las comunidades de <i>Zostera noltei</i> .....	4
3.1.1. Obtención de las imágenes de satélite .....	4
3.1.2. Procesado y clasificación de las imágenes .....	6
3.2. Análisis histórico de la distribución de <i>Zostera noltei</i> .....	8
4. RESULTADOS .....	9
4.1. Cartografiado de las comunidades de <i>Zostera noltei</i> .....	9
4.2. Análisis histórico de la distribución de <i>Zostera noltei</i> .....	11
REFERENCIAS.....	13







**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 A2, que es analizar la distribución y los cambios espacio-temporales de *Zostera noltei* en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia, cuya metodología y principales resultados se describen en el presente informe.

## 2. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se circunscribe a la superficie del Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia (1.195 ha terrestres y 7.285 ha marinas). El Parque Nacional lo integran las islas de Ons, Cíes, Sálvora y Cortegada (Figura 1). El ecosistema marino del Parque alberga una gran diversidad de especies entre las que se incluyen las fanerógamas marinas *Zostera marina* y *Zostera noltei*, presentes en el entorno de los archipiélagos de Sálvora y Cíes-Cortegada, respectivamente.

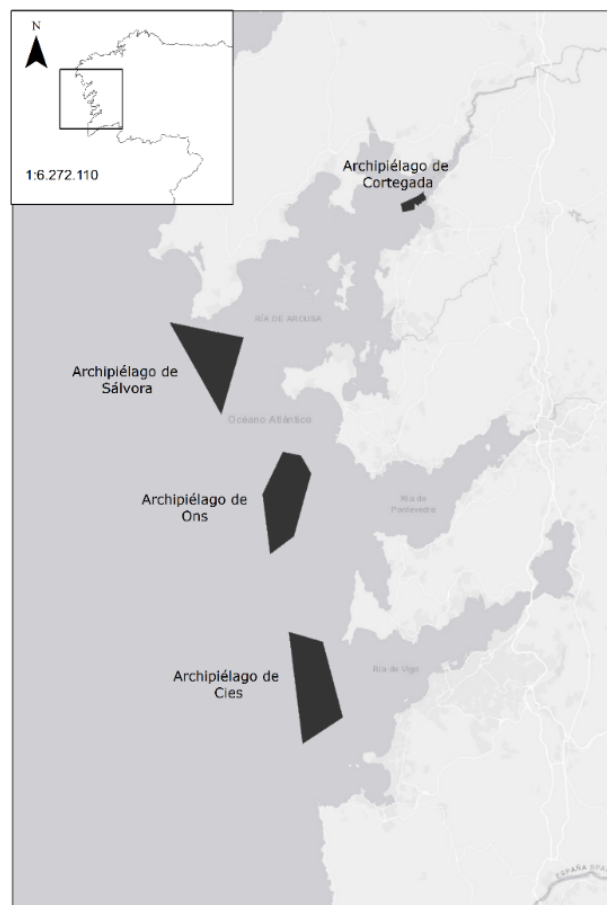


Figura 1. Límites del Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia.

Tal y como se indica en la página WEB del Parque Nacional, el archipiélago de Cíes presenta un contraste en el relieve de la cara oeste, orientada al océano, con abruptos acantilados, y la cara este, hacia la ría de Vigo, con playas. Destaca, por su importancia geomorfológica y biológica, el complejo formado por la barrera de la playa de Rodas, que actúa de puente natural entre las islas Monteagudo y Faro dando lugar a la formación de "O Lago de Cíes" que sirve de refugio y lugar de cría a peces y otros animales acuáticos.

La isla de Sálvora junto con los islotes que la rodean conforma un laberinto rocoso que protege la entrada norte de la Ría de Arousa. La isla, presenta un paisaje más suave donde dominan las playas y dunas y los pequeños bloques graníticos



Cortegada está formada por un conjunto de islas e islotes, de relieve muy plano, que se ubican en el interior de la ría de Arousa, por lo que su carácter estuárico la mantiene totalmente diferenciado de las islas oceánicas del Parque.

### 3. METODOLOGÍA

A continuación se describen las metodologías para llevar a cabo la cartografía con sensores remotos y el análisis histórico de la distribución de *Zostera noltei* en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia.

#### 3.1. Cartografiado de las comunidades de *Zostera noltei*

En el marco de esta acción se ha evaluado la capacidad de las imágenes obtenidas con el satélite Landsat para detectar y caracterizar retrospectiva de las comunidades de *Zostera noltei* en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia.

##### 3.1.1. Obtención de las imágenes de satélite

Se adquirieron imágenes procedentes de los cuatro satélites que forman parte del programa Landsat (Landsat 4, 5, 7 y 8) en el período 1984-2015 (Tabla 1). Cada satélite utiliza diferentes sensores multispectrales (TM, ETM y OLI) que proporcionan información en 6 rangos o bandas del espectro entre 450-2350 nm. Dichos sensores muestran características similares. Las imágenes Landsat se caracterizan por una resolución espacial de 30x30 metros y por una frecuencia temporal aproximada de revisitado de los pases de 16 días.

Satélite	Sensor	Bandas	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)	
Landsat 4 y 5	Thematic Mapper (TM)	Banda 1	Azul (B)	0.45-0.52	30
		Banda 2	Verde (G)	0.52-0.60	30
		Banda 3	Rojo (R)	0.63-0.69	30
		Banda 4	Infrarrojo cercano (NIR)	0.76-0.90	30
		Banda 5	SWIR 1	1.55-1.75	30
		Banda 6	Infrarrojo térmico	10.40-12.50	120 <sup>1</sup> (30)
		Banda 7	SWIR 2	2.08-2.35	30
Landsat 7	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Banda 1	Azul (B)	0.45-0.52	30
		Banda 2	Verde (G)	0.52-0.60	30
		Banda 3	Rojo (R)	0.63-0.69	30
		Banda 4	Infrarrojo cercano (NIR)	0.77-0.90	30
		Banda 5	SWIR 1	1.55-1.75	30
		Banda 6	Infrarrojo térmico	10.40-12.50	60 <sup>(2)</sup> (30)
		Banda 7	SWIR 2	2.09-2.35	30
		Banda 8	Panromático	0.52-0.90	15
Landsat 8	Operational Land Imager (OLI) and	Banda 1	Aerosol de costa	0.43 - 0.45	30
		Banda 2	Azul (B)	0.45 - 0.51	30
		Banda 3	Verde (G)	0.53 - 0.59	30
		Banda 4	Rojo (R)	0.64 - 0.67	30

Satélite	Sensor	Bandas	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)	
	Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 5	Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
		Banda 6	SWIR 1	1.57 - 1.65	30
		Banda 7	SWIR 2	2.11 - 2.29	30
		Banda 8	Pancromático	0.50 - 0.68	15
		Banda 9	Cirros	1.36 - 1.38	30
		Banda 10	Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 <sup>(2)</sup> (30)
		Banda 11	Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 <sup>(2)</sup> (30)

<sup>(1)</sup> Banda 6 de TM fue adquirida con una resolución de 120 m, pero los productos procesados antes del 25 de Febrero de 2010 están remuestreados a píxeles de 60 m. Los productos procesados después del 25 de Febrero de 2010 está remuestreados a píxeles de 30 m.

<sup>(2)</sup> Las bandas de TIRS son adquiridas con una resolución de 100 m, pero luego se remuestrean a 30 m en los productos liberados.

Tabla 1. Características de la información espectral proporcionada por los sensores de los satélites Landsat 4, 5, 7 and 8.

Para el estudio de la distribución espacio-temporal de *Zostera noltei* se seleccionaron imágenes obtenidas en el período entre junio y septiembre, con alta luminosidad, ausencia de nubes sobre la zona de estudio y un nivel de marea lo más bajo posible para maximizar la superficie de área intermareal emergida. Para abarcar toda la zona de estudio se trabajó con imágenes procedentes de cinco pases: 201/30, 202/30, 203/30, 204/30 y 205/30. Todas las imágenes utilizadas son imágenes gratuitas proporcionadas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS: U.S. Geological Survey) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Las imágenes de satélite utilizadas son productos específicos de reflectancia superficial generados y distribuidos por la USGS ([http://landsat.usgs.gov/CDR\\_LSR.php](http://landsat.usgs.gov/CDR_LSR.php)). A la información bruta proporcionada por los sensores remotos se les aplican correcciones geométricas y radiométricas y, en el caso concreto de este producto, la USGS aplica el sistema de proceso adaptativo de alteraciones de los ecosistemas de Landsat (LEDAPS: Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System). LEDAPS es un software especializado que utiliza datos procedentes del producto MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) para realizar las correcciones atmosféricas. Concretamente, MODIS proporciona información sobre diferentes parámetros atmosféricos. El efecto del vapor de agua, ozono, espesor óptico de aerosoles, etc., sobre la señal se estima mediante el modelo de transferencia radiativa 6S (Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum). Como producto resultante, la USGS suministra información no sólo de la reflectancia superficial sino también de las máscaras de nubes y sombras de nubes entre otros datos adicionales.

### **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 2). La unidad de clasificación utilizada fue cada uno de los píxeles 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  $\rho_{NIR}$  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).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$$

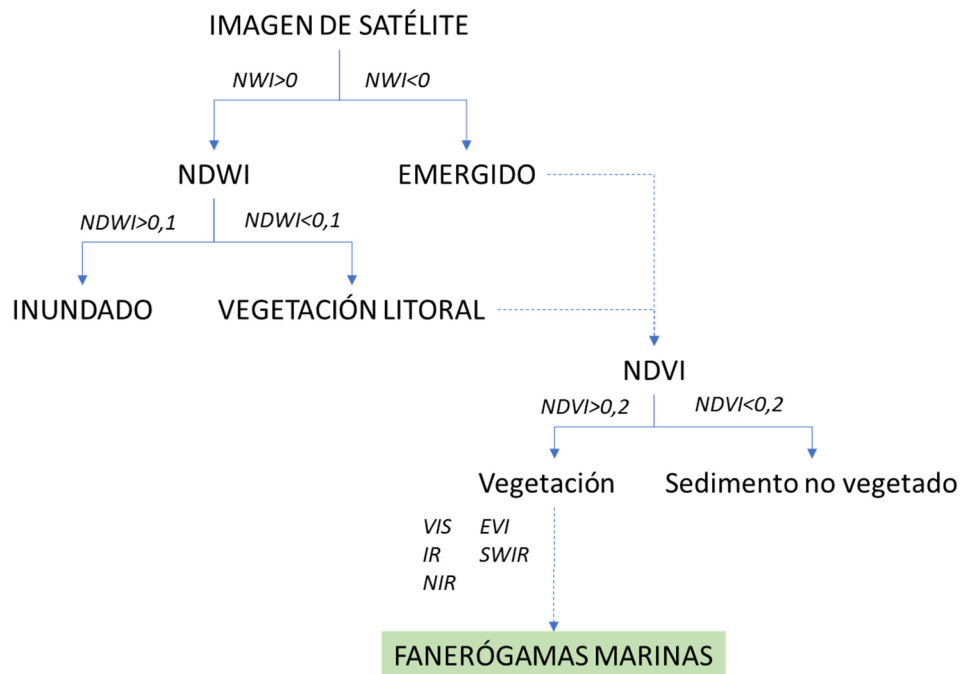


donde  $\varphi_{NIR}$  es la reflectancia superficial del infrarrojo cercano y  $\varphi_R$  es la reflectancia superficial de la banda roja (banda 4 en las imágenes Sentinel-2).

- 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 fisonomía 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  $\varphi_{NIR}$  es la reflectancia superficial del infrarrojo cercano,  $\varphi_R$  es la reflectancia superficial de la banda roja y  $\varphi_B$  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 2. Esquema 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 2). 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*.

### **3.2. Análisis histórico de la distribución de *Zostera noltei***

Paralelamente, se llevó a cabo una revisión de los datos cartográficos de campo disponibles sobre la distribución de *Zostera noltei* en el Parque Nacional. Para ello, se contó con la cartografía proporcionada por la Dirección del Parque Nacional, y que fue un encargo del Organismo Autónomo Parques Nacionales a la empresa pública Tragsatec para elaborar la cartografía bionómica y batimétrica de los fondos marinos del Parque Nacional (período 2011 y 2016).

.

## 4. RESULTADOS

Los resultados presentan la cartografía de las praderas de *Zostera noltei* obtenidas por sensores remotos y la revisión histórica realizada.

### 4.1. Cartografiado de las comunidades de *Zostera noltei*

La presencia de *Zostera noltei* en Cies se ciñe a la laguna costera, donde está permanente sumergida. En estas condiciones los satélites Landsat no tienen resolución espectral o espacial para identificar lo que está bajo el agua y, por tanto, no fue posible efectuar las clasificaciones de esta comunidad.

En la Figura 3, y en el visor cartográfico accesible desde las páginas web de NANO<sup>1</sup> y PRADERA<sup>2</sup>, se muestra la distribución espacial de *Zostera noltei* en Cortegada a lo largo del período 1984-2015.

La tendencia de la superficie intermareal ocupada por *Zostera noltei* (%) en ese período es negativa. No obstante, cabe señalar que esta línea se ha construido sin datos de la década de los 90, período para el que no se han conseguido imágenes de esa zona (Figura 4).

---

<sup>1</sup> <http://nano.ihcantabria.com/>

<sup>2</sup> <http://pradera.ihcantabria.es/>

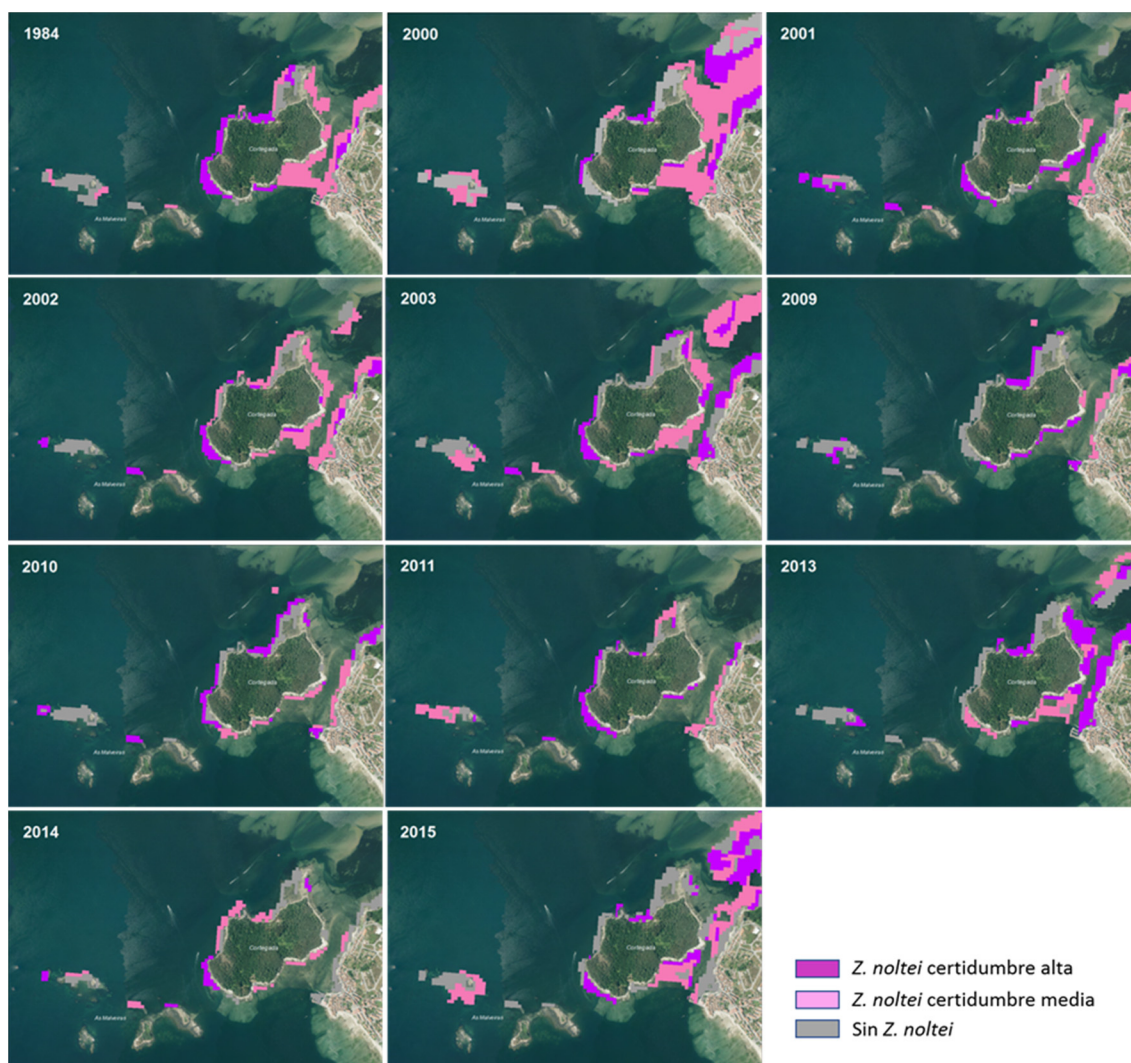


Figura 3. Distribución de *Zostera noltei* en el archipiélago de Cortegada en los años 1984, 2000, 2001, 2002, 2003, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, con indicación del grado de certidumbre de la clasificación efectuada.

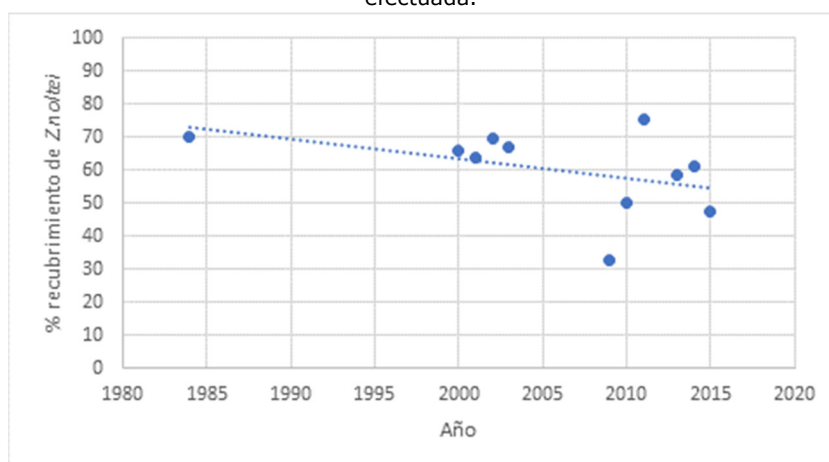


Figura 4. Evolución espacio-temporal del porcentaje de recubrimiento de *Zostera noltei* (certidumbre alta y media) en Cortegada, con indicación de la línea de tendencia.

## 4.2. Análisis histórico de la distribución de *Zostera noltei*

Las revisiones efectuadas ponen de manifiesto la presencia de praderas de *Zostera noltei* en la laguna de Cíes y en la isla de Cortegada (Ruiz et al., 2015). No obstante, la cartografía de Tragsatec (año 2016) no identifica *Zostera noltei* en la laguna costera. La laguna de Cíes tiene una superficie total de 63.551 m<sup>2</sup>, desconociéndose la extensión colonizada por *Zostera noltei*. Dicha laguna está inundada la mayor parte del tiempo (laguna con conexión intermitente con el mar) y en condiciones de eutrofización (proliferación de algas verdes) (Figura 5).



Figura 5. Laguna de las islas Cíes. Ortofoto de la zona de estudio (PNOAA). Cartografía 2016.

Las praderas de *Zostera noltei* identificadas en la zona norte y noroeste de la isla de Cortegada en la cartografía del año 2016 tienen una extensión de 2.989,5 m<sup>2</sup>. García-Redondo et al. (2017) identifican *Zostera marina* en la misma zona de la isla (Figura 6).



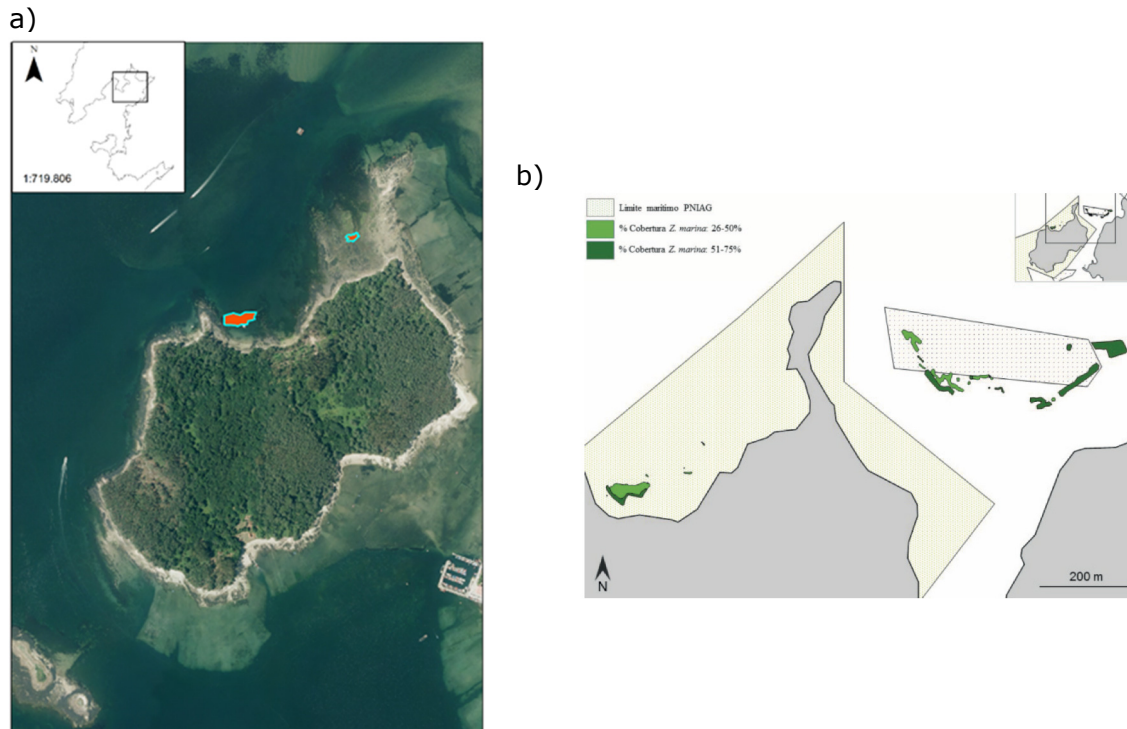


Figura 6. Praderas de a) *Zostera noltei* en la isla de Cortegada. Ortofoto de la zona de estudio (PNOAA). Cartografía 2016; b) Distribución, extensión y cobertura (%) de *Zostera marina* en la isla de Cortegada. Cartografía 2016.

La cartografía de 2016 evidencia la presencia de la fanerógama marina *Zostera marina* en la isla de Sálvora (-1 y -4 m), donde ocupa una superficie máxima de 1716,9 m<sup>2</sup> (Figura 7).



Figura 7. Praderas de *Z. marina* en el archipiélago de Sálvora. Ortofoto de la zona de estudio (PNOAA). Cartografía 2016.

## REFERENCIAS

- Davies, D. L., & Bouldin, D. W. (1979). A cluster separation measure. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 1, 224–227.
- García-Redondo V, Bárbara I, Díaz-Tapia P (2017) Las praderas de *Zostera marina* L. del Parque Nacional Marítimo Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia y territorios adyacentes: distribución, abundancia y flora asociada. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)* 24:1–12
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2001). *The elements of Statistical Learning*. New York: Springer.
- Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43, 59–69.
- Kohonen, T. (2001). *Self-organizing maps* (3rd ed.). Berlin: Springer.
- Mathworks, T. (2001). Inc. MATLAB Version 7.7 (R2008b). Massachusetts.
- Park, Y.-S., Chon, T.-S., Kwak, I.-S., & Lek, S. (2004). Hierarchical community classification and assessment of aquatic ecosystems using artificial neural networks. *Science of the Total Environment*, 327, 105–122.
- 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.
- Silió-Calzada, A., Barquín, J., Huszar, V. L. M., Mazzeo, N., Méndez, F., & Álvarez-Martínez, J. M. (2016). Climatic and anthropogenic effects on the long-term dynamics of a floodplain shallow lake in the Pantanal wetland, *Submitted*.
- Vesanto, J., Himberg, J., Alhoniemi, E., & Parhankangas, J. (1999). Self-organizing map in Matlab: the SOM Toolbox. In *Proceedings of the Matlab Digital Signal Processing Conference* (pp. 35–40). Espoo, Finland.
- Vesanto, J., Himberg, J., Alhoniemi, E., & Parhankangas, J. (2000). *SOM Toolbox for Matlab 5*. Technical Report A57. Neural Networks Research Centre, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland.









Un proyecto de:



Con el apoyo de:

