

20(1) **Cartografía de *Zostera noltii*
en la costa vasca: cambios
recientes en su distribución
(2008-2012)**



Joxe Mikel Garmendia
Mireia Valle
Ángel Borja
Guillem Chust
Javier Franco

Garmendia, J.M., Valle, M., Borja, Á., Chust, G. y Franco, J., 2013. Cartografía de *Zostera noltii* en la costa vasca: cambios recientes en su distribución (2008-2012). *Revista de Investigación Marina*, AZTI-Tecnalia, 20(1): 1-22

La serie '*Revista de Investigación Marina*', editada por la Unidad de Investigación Marina de Tecnalia, cuenta con el siguiente Comité Editorial:

Editor: Dr. Ángel Borja

Adjunta al Editor: Dña. Mercedes Fernández Monge e Irantzu Zubiaur
(coordinación de las publicaciones)

Comité Editorial: Dr. Lorenzo Motos
Dr. Adolfo Uriarte
Dr. Michael Collins
Dr. Javier Franco
D. Julien Mader
Dña. Marina Santurtun
D. Victoriano Valencia
Dr. Xabier Irigoien
Dra. Arantza Murillas
Dr. Josu Santiago

La '*Revista de Investigación Marina*' de Tecnalia edita y publica investigaciones y datos originales resultado de la Unidad de Investigación Marina de Tecnalia. Las propuestas de publicación deben ser enviadas al siguiente correo electrónico aborja@azti.es. Un comité de selección revisará las propuestas y sugerirá los cambios pertinentes antes de su aceptación definitiva.



Edición: 1.ª Febrero 2013

© AZTI-Tecnalia

ISSN: 1988-818X

Unidad de Investigación Marina

Internet: www.azti.es

Edita: Unidad de Investigación Marina de Tecnalia

Herrera Kaia, Portualdea

20010 Pasaia

Foto portada: © Álex Iturrate

© AZTI-Tecnalia 2013. **Distribución gratuita en formato PDF a través de la web: www.azti.es/RIM**

Cartografía de *Zostera noltii* en la costa vasca: cambios recientes en su distribución (2008-2012)

Joxe Mikel Garmendia^{1*}, Mireia Valle², Ángel Borja¹, Guillem Chust², Javier Franco¹

Resumen

Las praderas marinas son importantes para el ecosistema marino por las funciones ecológicas que desempeñan (hábitat y alimento de algunas especies, producción primaria, resistencia a la erosión del sedimento, ciclo de nutrientes...). En el País Vasco, solo 3 de los 12 estuarios cuentan con estos valiosos ecosistemas, que corresponden a praderas marinas intermareales de la especie *Zostera noltii*, incluida en el Catálogo de Especies Amenazadas del País Vasco como especie en peligro de extinción. Su escasez y vulnerabilidad elevan aún más el interés por su estudio y conservación. Por ello, en 2008 y 2012 se realizaron sendos estudios de detalle sobre la presencia y distribución de esta planta en los estuarios vascos: como resultado, en 2012 se estima una superficie total de 19,79 ha ocupada por *Zostera noltii*, de la cual un 86,9% se encuentra en el Oka, un 9,9% en el Bidasoa y un 3,2% en el Lea. Entre los años 2008 y 2012 se ha constatado una disminución de 2,88 ha en su extensión total en el País Vasco: en el Bidasoa la superficie de pradera ha aumentado en 0,13 ha; en el Lea también ha aumentado su superficie, en 0,48 ha; en el Oka la superficie ha aumentado en 0,12 ha en la zona de Kanala, habiendo disminuido 2,3 ha en la zona de San Kristobal y 1,33 ha en la zona de Arketas. A pesar de la disminución neta observada (10%), las poblaciones de los estuarios vascos presentan una elevada tasa de cambio (53,1%) frente a la fracción estable de la pradera (46,9%). Dados los impactos a los que se ven expuestas las praderas, se recomienda realizar campañas de sensibilización y concienciación ambiental para velar por la conservación de la especie.

Abstract

Seagrass meadows represent an important marine ecosystem due to the ecological functions that they provide (habitat and food for some species, primary production, resistance to sediment erosion, nutrient cycling...). In the Basque Country, seagrass meadows are present only in 3 out of the 12 estuaries, being *Zostera noltii* the unique seagrass species in this region. The species was recently included in the *Catalogue of Threatened Species in the Basque Country* as an endangered species. Therefore, there is an increasing awareness for its conservation. In this context, a detailed cartography of the species distribution has been carried out during 2012 and compared to that produced in 2008. In 2012 *Zostera noltii* was present in 19.79 ha, with 86.9% of this in the Oka estuary, the 9.9% in the Bidasoa estuary and 3.2% in the Lea estuary. The total area of seagrasses in the Basque Country has diminished 2.88 ha between 2008 and 2012. In the Bidasoa and Lea estuaries increases of 0.13 ha and 0.48 ha, respectively, have been registered; in the Oka estuary an increase of 0.12 ha in Kanala has been measured, whereas decreases of 2.3 ha and 1.33 ha have been observed in San Kristobal and Arketas, respectively. Despite of the observed total decrease (10%), the populations from the Basque estuaries showed a high change rate (53.1%) while the remaining 46.9% of the seagrass occupied exactly the same space in both compared periods. Considering the impacts on seagrasses, environmental consciousness driving programs are recommended for the conservation of the species.

Palabras clave: Praderas marinas, intermareal, *Zostera noltii*, distribución espacial, estuarios, País Vasco, Oka, Lea, Bidasoa.

Keywords: Seagrasses, intertidal, *Zostera noltii*, spatial distribution, estuaries, Basque Country, Oka, Lea, Bidasoa.

¹AZTI-Tecnalia; Unidad de Investigación Marina; Herrera Kaia, Portualdea z/g; 20110 Pasaia; Gipuzkoa, España

* Corresponding author: jgarmendia@azti.es

²AZTI-Tecnalia; Unidad de Investigación Marina; Txatxarramendi irla z/g; 48395 Sukarrieta; Bizkaia, España

Introducción

Las praderas marinas constituyen hábitats de gran importancia por los servicios ecosistémicos que ofrecen y las funciones ecológicas que desempeñan (Costanza *et al.*, 1997; Erfteimeijer y Robin Lewis III, 2006; Schmidt *et al.*, 2011). Sin embargo, en las últimas décadas han sufrido el efecto de distintas presiones que han provocado una reducción drástica de sus áreas de ocupación a nivel mundial (Short y Burdick, 1996; Duarte, 2002; Green y Short, 2003; Short *et al.*, 2006, 2011; Hughes *et al.*, 2009; Waycott *et al.*, 2009), si bien en algunas zonas, como la Bahía de Bourgneuf (Francia), se ha constatado un incremento estable y lineal (Barillé *et al.*, 2010) de las praderas de *Zostera noltii*.

Por otro lado, las especies que forman las praderas precisan protección por su vulnerabilidad y escasez (Aguilar *et al.*, 2006; Neckles *et al.*, 2012). En el caso del País Vasco, las praderas marinas están formadas exclusivamente por poblaciones intermareales de la especie *Z. noltii*, que en la actualidad se encuentra catalogada en el Catálogo Vasco de Especies Amenazadas de la Fauna y Flora Silvestre y Marina (BOPV nº 37, del 23 de febrero de 2011) dentro del primer grupo: Especies, subespecies y poblaciones en peligro de extinción.

Por tanto, el hecho de que esta especie se encuentre protegida, unido a las relevantes funciones ecológicas que desempeña, justifican el interés por el conocimiento de su situación actual y la necesidad de su protección y conservación. En este sentido, cabe destacar que las praderas marinas presentes en la actualidad en el País Vasco (Oka, Bidasoa y Lea) se encuentran incluidas en zonas protegidas (Red Natura 2000, ZEPA, Reserva de la Biosfera).

La realización de una cartografía exhaustiva permite conocer la realidad de la situación de una especie en una zona delimitada y en un momento dado (Phinn *et al.*, 2008). Estos estudios requieren de personal especializado y elevado trabajo de campo, lo que dificulta su realización con elevada frecuencia. En el caso de *Z. noltii* en el País Vasco, se dispone de información previa sobre la distribución de la especie para los estuarios del Oka y del Bidasoa (Silván y Campos, 2002), donde se estimó una superficie ocupada de 4,07 ha para Oka. También se dispone de información más reciente para los estuarios de Bizkaia (Lea y Oka) (Otxoa *et al.*, 2007) y para el estuario del Bidasoa, en Gipuzkoa (Lissardy *et al.*, 2007). Ambas cartografías fueron realizadas en el año 2007: en la primera se estima una superficie de 19 ha en el Oka y 0,9 ha en el Lea, mientras que en la segunda se estimó una superficie de 1,27 ha para la zona de Hendaia. Además, en el año 2008, como actuación de partida del proyecto “Trabajos de restauración de *Zostera noltii* en la costa vasca” que AZTI-Tecnalia realizó para la Agencia Vasca del Agua (URA), se procedió a la toma de datos sobre los lugares con presencia de *Z. noltii* en los estuarios vascos (Garmendia *et al.*, 2010). Debido a que el objetivo principal inicial no fue realizar un cartografiado, sino conocer los hábitats más idóneos para el establecimiento de esta planta (Valle *et al.*, 2011), no se ejecutó

una búsqueda intensiva de su presencia total y la recogida de datos se limitó a la obtención de un volumen suficiente de información que permitiera abordar el objetivo planteado (Garmendia *et al.*, 2008, 2010). No obstante, en algunos casos (en Bidasoa, en Lea y en algunas zonas de Oka), debido a las características de la zona y a las condiciones en las que se llevó a cabo dicho estudio (mejor accesibilidad, entorno de mejor visibilidad de la planta, menor presencia de manchas de pequeño tamaño, menor extensión ocupada por la planta, etc.), el resultado final sí se puede considerar un fiel reflejo de su presencia total y, por tanto, una cartografía precisa de su distribución.

En el año 2012, ante la inexistencia de una cartografía reciente, se consideró interesante obtener información de la distribución actual de *Z. noltii* en los estuarios vascos, por lo que se visitaron y cartografiaron las poblaciones de esta planta durante el verano. Ésta se considera la época más adecuada para esta tarea debido a que es la de mayor crecimiento y densidad de hojas de *Z. noltii* (Vermaat *et al.*, 1987; Philippart, 1995).

En el presente trabajo se exponen los resultados de la distribución de *Z. noltii* en cada uno de los estuarios vascos en el año 2012, y se compara con la distribución en 2007 en los estuarios de Bizkaia (Otxoa *et al.*, 2007) y con los datos propios tomados en 2008 en todos los estuarios vascos (Garmendia *et al.*, 2008).

Además de la generación de mapas de alta resolución sobre la distribución de la especie, también se efectúa un análisis comparativo de las zonas o áreas donde *Z. noltii* ha desaparecido, ha aparecido y se ha mantenido durante el periodo considerado, estimándose las superficies para cada situación.

En definitiva, los principales objetivos del presente trabajo son:

- Realizar una cartografía actualizada (2012) de las poblaciones de *Z. noltii* en los estuarios vascos.
- Analizar la evolución de las poblaciones de la especie en los últimos años mediante la comparación con cartografías de los años 2007 y 2008.

Material y métodos

El muestreo consistió en la toma de datos en campo con la ayuda de un receptor Trimble R6 (Figura 1), receptor GPS diferencial que da la exactitud y la fiabilidad necesarias para hacer levantamientos de precisión con un rastreo superior y rendimiento de RTK (Levantamiento Cinemático a Tiempo Real), siendo el error máximo de posición horizontal de 1,5 cm y de posición vertical de 2 cm. El muestreo se realizó durante julio y agosto de 2012 (Tabla 1). Tras acceder a las zonas con presencia de *Z. noltii*, se tomaron las coordenadas geográficas a lo largo del perímetro de las manchas de las praderas, en el sistema de coordenadas WGS84.



Figura 1. GPS Trimble R6 utilizado para la obtención de la coordenadas geográficas de las manchas de *Zostera noltii* en 2012.

Tabla 1. Fechas de muestreo del cartografiado de las poblaciones de *Zostera noltii* en los estuarios vascos durante 2012.

| Estuario/Zona | Fecha (2012) |
|---------------------|-------------------------------|
| Oka – Arketas | 05 julio |
| Oka – Kanala | 23 julio y 03 agosto |
| Oka – San Kristobal | 24 julio, 25 julio y 26 julio |
| Bidasoa | 02 agosto |
| Lea | 03 agosto |

Una vez realizada la toma de coordenadas en el campo, se trasladaron los datos al ordenador y mediante la utilización del programa informático ArcGIS (ESRI®), se empleó dicha información geográfica para delimitar los polígonos correspondientes a las manchas identificadas y realizar el cálculo del área ocupada por cada una de ellas. De igual forma, los datos relativos a las cartografías de los años 2007 y 2008 fueron incorporados al mismo programa y las superficies ocupadas por cada una de las manchas fueron calculadas. Así se obtuvo una estimación de la superficie ocupada por la especie tanto para los años 2007 y 2008 como para el año 2012. Las representaciones del presente trabajo se han realizado con el programa de acceso libre Quantum GIS. El análisis comparativo entre años se realizó teniendo en cuenta tanto las superficies ocupadas como la ubicación de las manchas. Con este análisis se pretende, por un lado, conocer si ha aumentado, disminuido o mantenido la superficie de ocupación y, por otro lado, ver si esta planta permanece en el mismo espacio o si muestra cambios.

Todo ello permitió realizar un análisis de los cambios en la distribución de las praderas en el conjunto de los estuarios vascos y para cada uno de ellos. Con el propósito de cuantificar los cambios se construyó una matriz de transición para cada uno de los estuarios, identificándose tres clases de cambio: (i) colonización (áreas que no presentaban praderas de *Z. noltii* en 2008 pero sí en el 2012); (ii) desaparición (áreas que presentaban praderas en 2007-2008 pero no han sido detectadas en 2012); y (iii) mantenimiento (áreas donde se ha detectado la especie tanto en 2007-2008 como en 2012). A partir de los datos obtenidos para cada clase se calculó el cambio neto, superficie ocupada en 2012, menos superficie ocupada en 2007-2008: este cambio en algunos casos es positivo y en otros es negativo, indicando respectivamente una ganancia o una pérdida de la superficie de las praderas. También se calculó la tasa de cambio, que representa la superficie en la que se da algún tipo de cambio, es decir, aparición o desaparición de la pradera.

Resultados

Distribución en 2012

En 2012 se encontraron praderas marinas naturales en 3 de los 12 estuarios vascos: Bidasoa, Lea y Oka (Figura 2). Cabe destacar que, actualmente, en el estuario del Butroe existe también *Z. noltii*, aunque proceden de experiencias recientes de restauración, ocupando un área muy pequeña de aproximadamente 4,5 m² (Garmendia *et al.*, 2012).

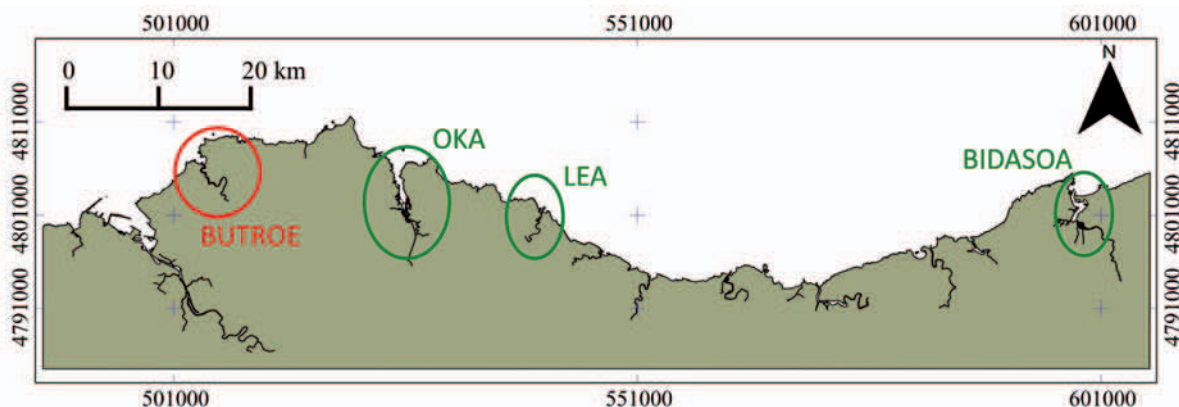


Figura 2. Estuarios con presencia de praderas marinas de *Zostera noltii* localizados en la costa vasca.

En el conjunto de los tres estuarios donde *Z. noltii* aparece de manera natural, esta planta ocupa una superficie de 197.917 m², es decir, 19,79 ha (Tabla 2), siendo el estuario del Oka donde se asienta la población más extensa, que supone casi el 87% de la superficie total ocupada por la especie en el País Vasco.

En las Figuras 3 a 10 se representa la distribución de la especie en cada uno de los estuarios en el año 2012.

Tabla 2. Alturas mínimas (Mín.) y máximas (Máx.) con respecto al cero del puerto de Bilbao, superficie ocupada (ha) y porcentaje frente a la superficie total de *Zostera noltii* en los estuarios vascos en 2012.

| 2012 | Altura (m) | | Área ocupada | |
|------------------------|------------|------|--------------|------|
| | Mín. | Máx. | ha | % |
| Oka-Arketas | 0,22 | 1,96 | 0,55 | 2,8 |
| Oka-San Kristobal | 1,02 | 3,08 | 15,60 | 78,8 |
| Oka-Kanala | 1,13 | 3,03 | 1,05 | 5,3 |
| Bidasoa | 0,52 | 2,48 | 1,97 | 9,9 |
| Lea | 1,68 | 3,08 | 0,62 | 3,2 |
| Total estuarios vascos | 0,22 | 3,08 | 19,79 | 100 |

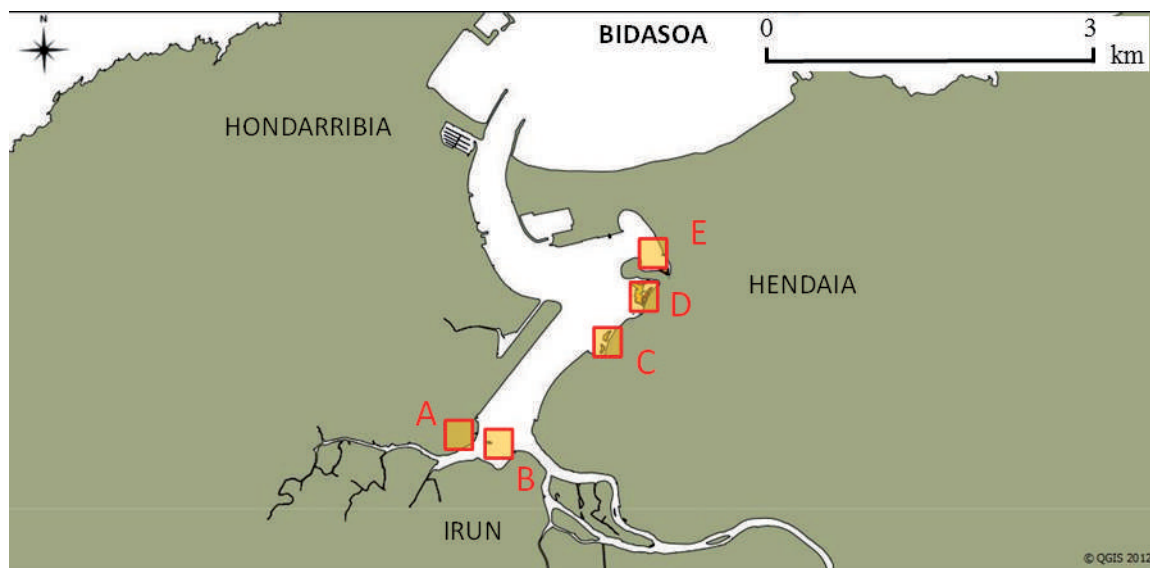


Figura 3. Zonas en las que crece *Zostera noltii* en el estuario del Bidasoa. Las zonas A, B, C, D y E corresponden a zonas de presencia de praderas en los años 2008 y 2012.



Figura 4. Estuario del Bidasoa. Zona A (al este del aeropuerto) y Zona B (en el parque ecológico de Plaiaundi). Las praderas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2012 se representan en rojo.

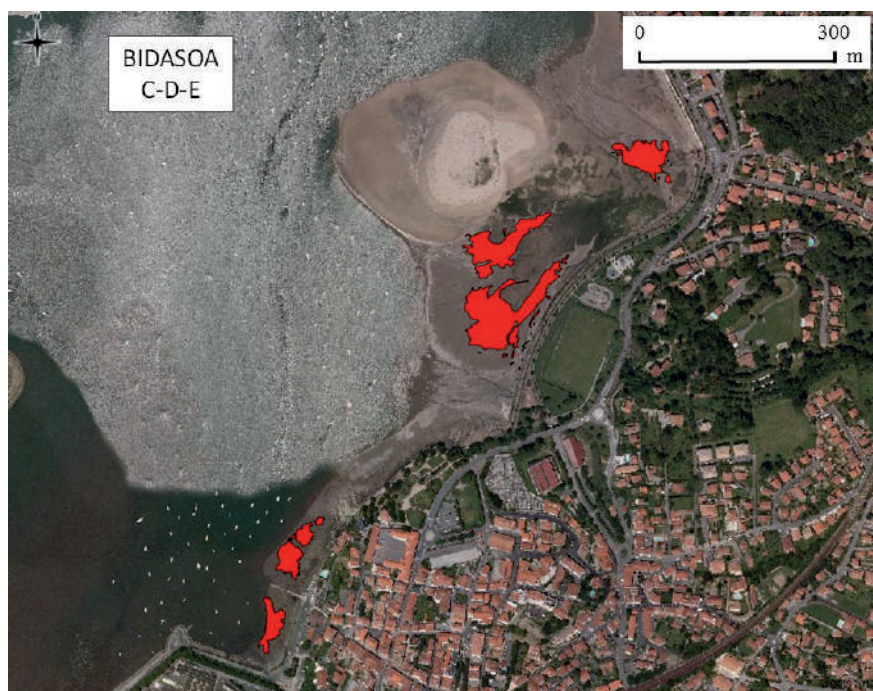


Figura 5. Estuario del Bidasoa. Zonas C, D y E en Hendaia (ver Figura 3). Las praderas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2012 se representan en rojo.

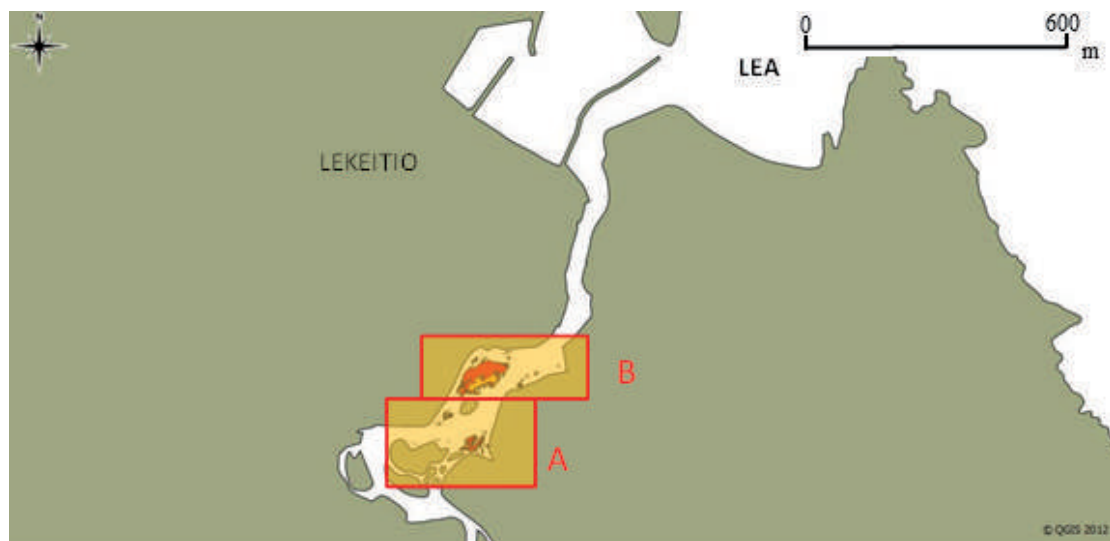


Figura 6. Zonas en las que crece *Zostera noltii* en el estuario del Lea. Las zonas A y B corresponden a zonas de presencia de praderas en los años 2007-2008 y 2012.

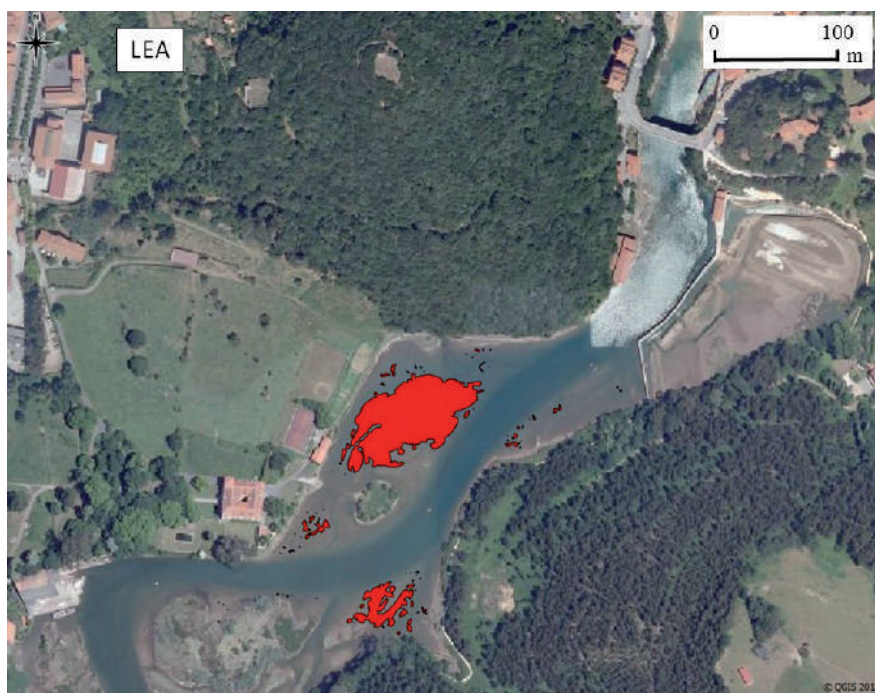


Figura 7. Estuario del Lea. Zonas A y B (ver Figura 6). Las praderas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2012 se representan en rojo.

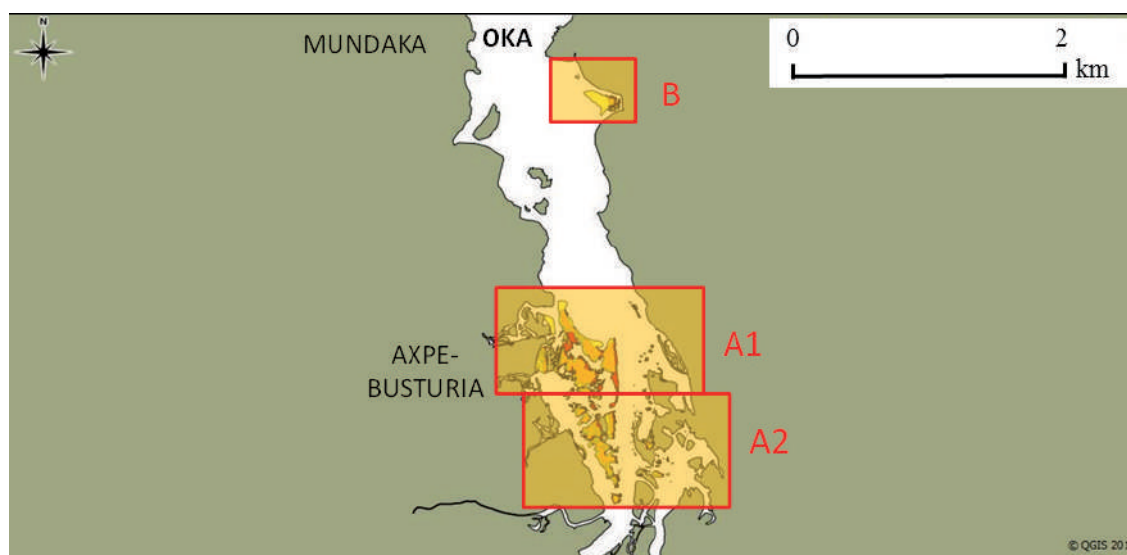


Figura 8. Zonas en las que crece *Zostera noltii* en el estuario del Oka. Las zonas A1, A2 y B corresponden a zonas de presencia de praderas en los años 2007-2008 y 2012.

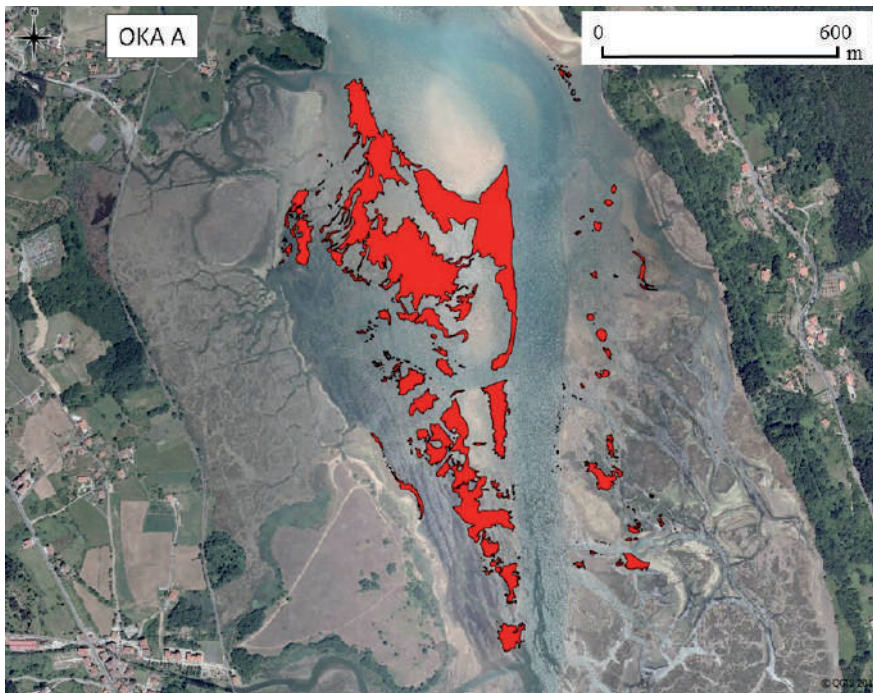


Figura 9. Estuario del Oka. Zona A (ver Figura 8). Las praderas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2012 se representan en rojo.

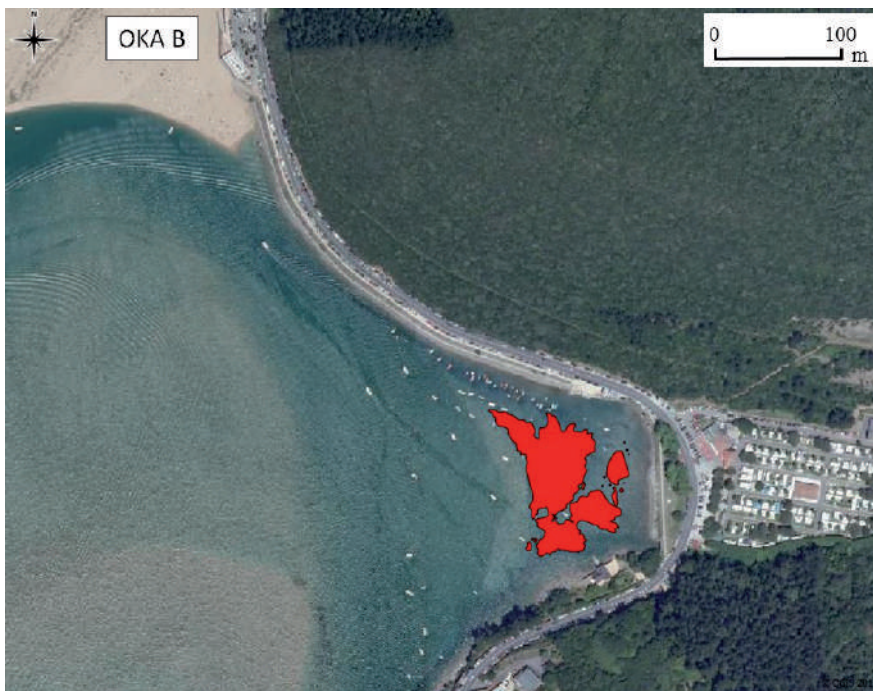


Figura 10. Estuario del Oka. Zona B (ver Figura 8). Las praderas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2012 se representan en rojo.

Comparación de la distribución en 2007-2008 y 2012

Para el conjunto del País Vasco los resultados muestran que en 2007-2008 la especie ocupaba 22,66 ha y en 2012 ha pasado a ocupar 19,79 ha (Tabla 3). El área que se ha mantenido ocupada en los dos muestreos considerados es de 13,56 ha. Las zonas que en el 2007-2008 presentaban praderas de *Z. noltii* y no lo hacen en 2012 (pérdida) suponen 9,1 ha. Las zonas que la especie ha colonizado (ganancia) suponen una superficie total de 6,23 ha. Teniendo en cuenta todo esto, el cambio neto de la superficie ocupada por la especie es de -2,88 ha, lo cual supone una pérdida de 9,9% respecto al total de las áreas ocupadas en 2007-2008 y/o 2012. Este área ocupada es el resultado de la suma de todas las zonas ocupadas en algún momento (2007-2008 y/o 2012) por la especie, aunque incluya zonas que en la actualidad ya se hayan perdido: su cálculo se ha realizado sumando la superficie que se ha mantenido, la superficie perdida y la superficie ganada. Por último, en el análisis llevado a cabo, también se hace referencia a la tasa de cambio de las praderas, esto es, a la superficie que ha cambiado de estar ocupada por la especie a no estarlo y viceversa.

Para observar los cambios en cada estuario las superficies ocupadas por *Z. noltii* en el año 2008 y en el año 2012 han sido representadas conjuntamente.

En el estuario del Bidasoa, en la zona A, junto al aeropuerto, las praderas prácticamente han desaparecido, ya que de las 4 manchas que se encontraron en 2008 únicamente permanece una en 2012 (Figura 11). Hay que mencionar que es una zona muy llana, muy fangosa, donde hay elevada presencia de las algas *Ulva* y *Gracilaria*, debido a ello el muestreo y visualización de *Z. noltii* es difícil.

Tabla 3. Tabla resumen sobre los cambios analizados en la distribución de las praderas de *Zostera noltii* para todos los estuarios vascos donde se ha encontrado la especie en los años 2007-2008 y 2012 (Bidasoa, Lea y Oka).

| Todos los estuarios | ha | % |
|--|-------|------|
| área ocupada en 2007-2008 | 22,67 | |
| Área ocupada en 2012 | 19,79 | |
| Área ocupada en 2007-2008 y/o 2012 | 28,90 | 100 |
| Área ocupada tanto en 2007-2008 como en 2012 (estable) | 13,56 | 46,9 |
| Área que se pierde entre 2007-2008 y 2012 (desaparecido) | 9,11 | 31,6 |
| Área que se gana entre 2007-2008 y 2012 (colonizado) | 6,23 | 21,6 |
| Tasa de cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2007-2008) | -2,88 | -9,9 |
| Tasa de cambio (suma de lo que se pierde y lo que se gana) | 15,34 | 53,1 |

La zona B se encuentra en las marismas de Itzaberri, dentro del Parque Ecológico de Plaiaundi. Es una zona arenosa, donde aumentó la presencia de *Z. noltii* en 2012 debido a la fusión de las manchas presentes en 2008 (Figura 12).

La zona C, frente a Puerto Caneta, en Hendaia, es arenosa en su parte superior y fangosa en su parte inferior, y presenta dos manchas bien definidas y densas, separadas por una rampa de acceso al agua (Figura 13). La superficie apenas ha sufrido modificación y la especie ocupa prácticamente el mismo lugar en 2008 y en 2012 (Figura 14).

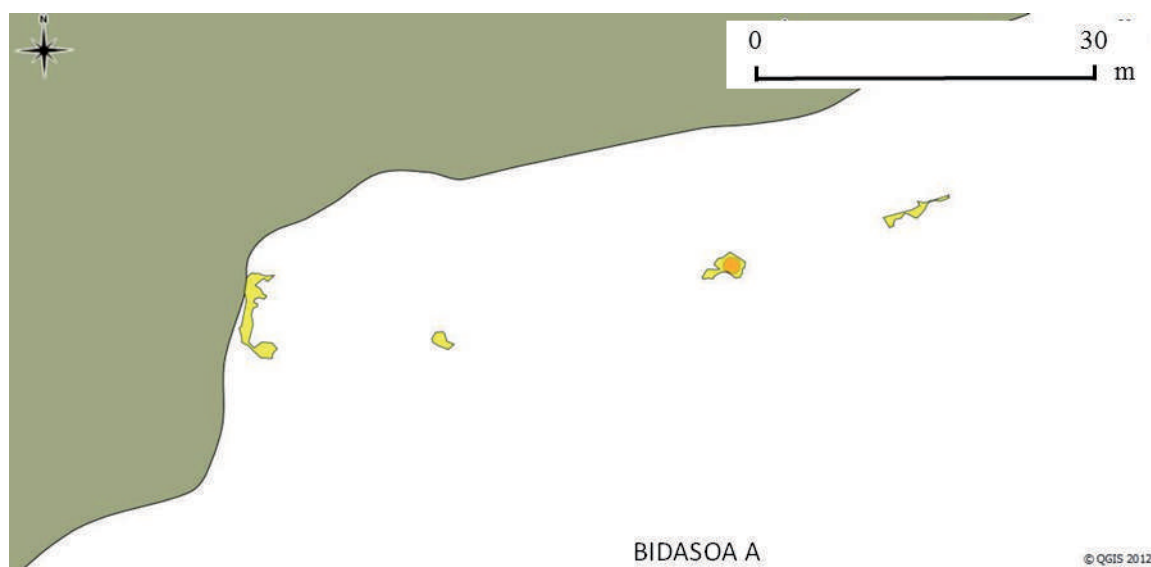


Figura 11. Estuario del Bidasoa. Zona A, al oeste del aeropuerto. Las manchas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las zonas de solapamiento entre ambos años de muestreo se representan en naranja. La zona sombreada corresponde a la parte terrestre que queda por encima de la pleamar máxima.

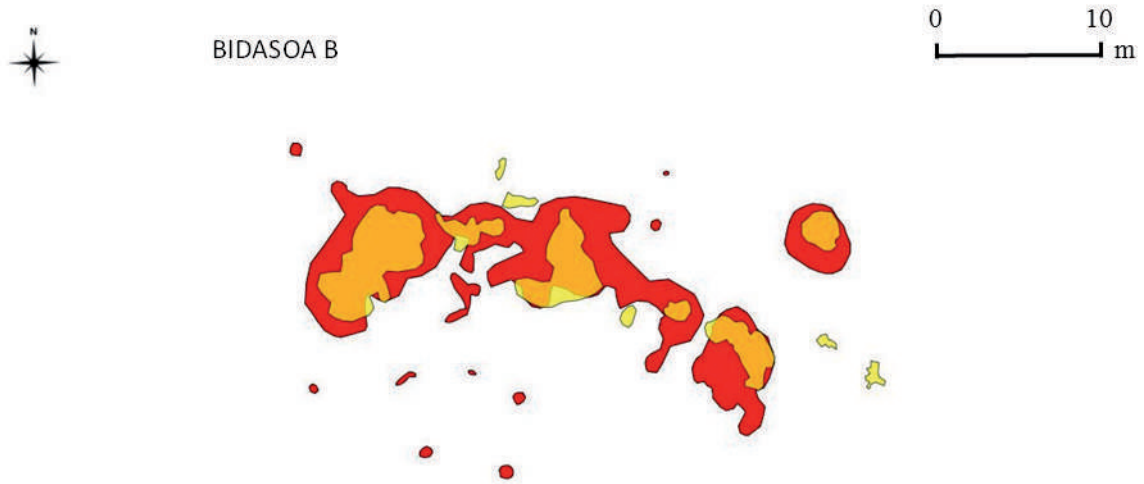


Figura 12. Estuario del Bidasoa. Zona B, en Plaiaundi, en las marismas de Itzaberri. Las manchas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja.



Figura 13. Rampa de acceso al agua en Puerto Caneta que divide las dos zonas con pradera de *Zostera noltii* en la zona C del estuario del Bidasoa.

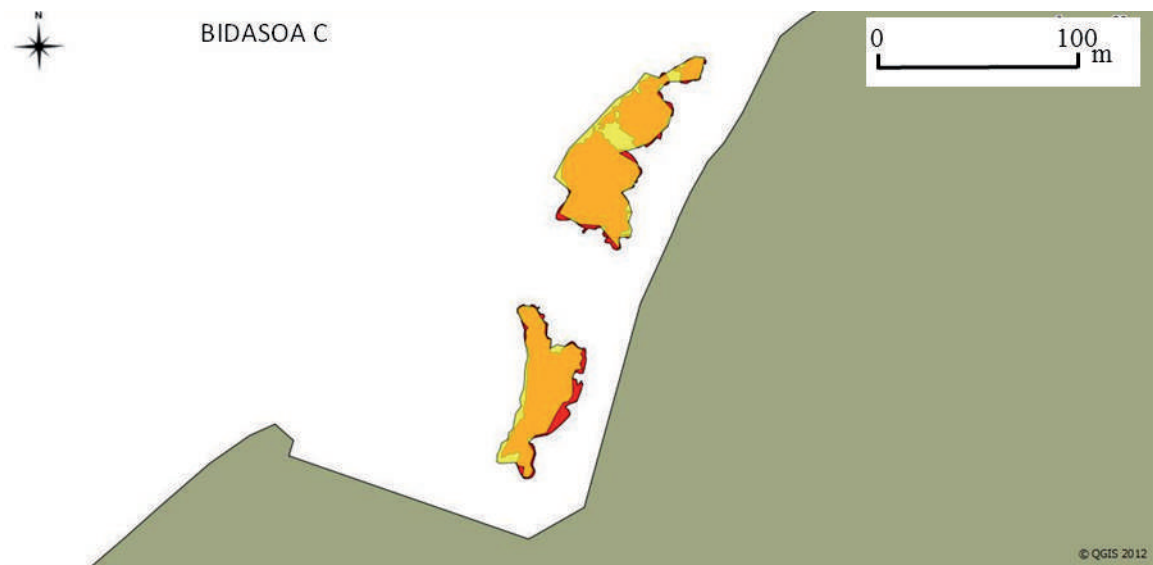


Figura 14. Estuario del Bidasoa. Zona C, en Puerto Caneta (Hendaia). Las manchas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja. La zona sombreada corresponde a la parte terrestre que queda por encima de la pleamar máxima.

La zona D, al sur de la isla de los Pájaros, en Hendaia, es fundamentalmente arenosa y presenta abundancia de *Spartina* que, en algunas áreas, comparte espacio con *Z. noltii* (Figura 15). Si bien se observa que las praderas de *Z. noltii* han desaparecido en algunos puntos, también se ha detectado su aparición en otras zonas. Debido a ello, en el cómputo global de la superficie ocupada en este estuario, no parece que haya habido mucha variación (Figura 16). En algunos puntos

(principalmente en zonas de canales de desagüe natural) se observa la presencia de un elevado número de pequeñas manchas circulares distribuidas en fila (siguiendo la orientación de los mencionados canales). En estos casos, cuando las manchas eran de un tamaño considerable se han mantenido individualizadas; pero cuando eran demasiado pequeñas, estas manchas se han unido en un único polígono, con lo que se ha podido sobrestimar ligeramente la superficie ocupada.



Figura 15. Estuario del Bidasoa. Zona D, al sur de la isla de los Pájaros (Hendaia). Las manchas de *Zostera noltii* se intercalan con las de *Spartina* (A y B) e incluso comparten el mismo espacio (C y D).

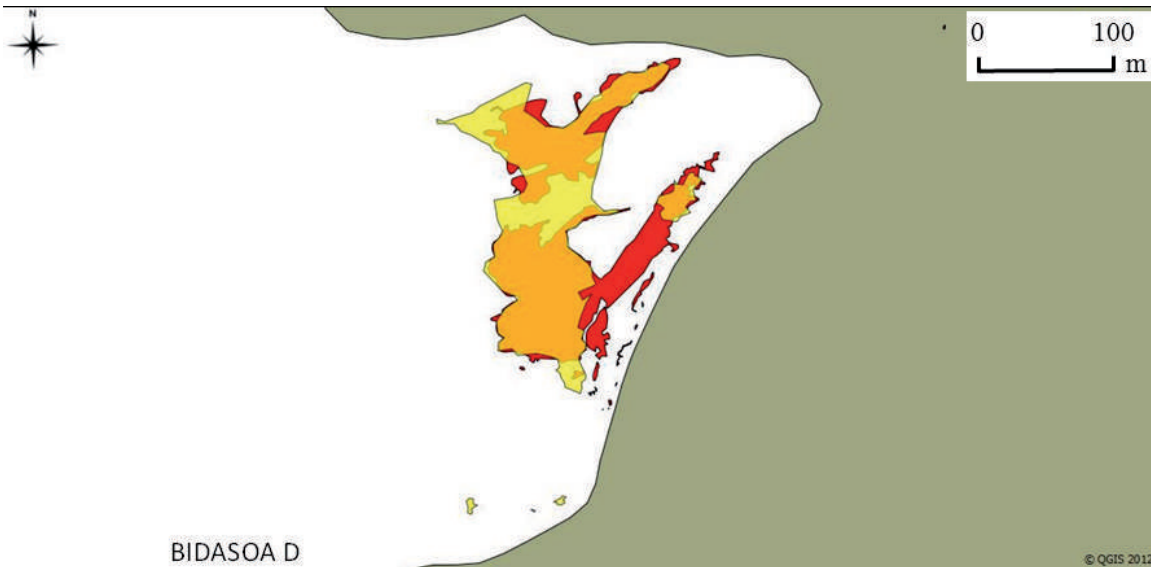


Figura 16. Estuario del Bidasoa. Zona D, al sur de la isla de los Pájaros (Hendaia). Las manchas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja. La zona sombreada corresponde a la parte terrestre que queda por encima de la pleamar máxima.

La zona E, al norte de la isla de los Pájaros, en Hendaia, es arenosa. De 2008 a 2012 se ha observado un claro aumento de su superficie de ocupación. Además, han aparecido algunas manchas separadas, en dirección al puerto deportivo, que podrían representar una primera fase en la colonización de nuevas zonas (Figura 17).

Los resultados de estos análisis pueden observarse en la Tabla 4. En resumen, *Z. noltii* ocupaba en el Bidasoa una superficie de 1,84 ha en 2008 y 1,97 ha en 2012. En un área de 1,43 ha se localizó *Z. noltii* tanto en 2008 como en 2012, por lo que se podría considerar como la zona estable para esta planta. En definitiva, en este periodo se ha ganado una superficie de 0,13 ha.

En el estuario del Lea, en la zona A se ha observado un gran aumento de la superficie ocupada por *Z. noltii* con respecto a 2008 (Figura 18). En 2008 se veían unas pocas manchas muy densas en el sedimento fangoso de la zona A2, mientras que en 2012 la superficie ocupada ha sido mucho mayor, encontrándose manchas en otras zonas. Debe mencionarse que esta zona A2 ha sufrido cierta modificación en su composición granulométrica: en 2008 era fundamentalmente fangosa, mientras que en 2012 el fango permanece en la zona más interna y alejada del canal del río; así, la parte central se compone de arena, grava y muchas piedras de pequeño tamaño, formando un piso endurecido donde *Z. noltii* presenta una extensa superficie con baja densidad (Figura 19).

Tabla 4. Tabla resumen sobre los cambios analizados en la distribución de las praderas de *Zostera noltii* para el estuario del Bidasoa en los años 2008 y 2012.

| BIDASOA | ha | % |
|---|------|------|
| Área ocupada en 2008 | 1,84 | |
| Área ocupada en 2012 | 1,97 | |
| Área ocupada en 2008 y/o 2012 | 2,37 | 100 |
| Área ocupada tanto en 2008 como en 2012 (estable) | 1,43 | 60,2 |
| Área que se pierde entre 2008 y 2012 (desaparecido) | 0,41 | 17,2 |
| Área que se gana entre 2008 y 2012 (colonizado) | 0,54 | 22,7 |
| Tasa de cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2008) | 0,13 | 5,5 |
| Tasa de cambio (suma de lo que se pierde y lo que se gana) | 0,95 | 39,8 |

En la zona B también se ha observado un gran crecimiento de la mancha principal respecto a 2008, además de la aparición de manchas pequeñas dispersas por la zona (Figura 20).

En las Figuras 21 y 22 se combina la información de 2007, 2008 y 2012. Como puede observarse, las superficies registradas en 2007 se parecen bastante a las de 2012, y coinciden en mayor medida que las registradas en 2008. Resulta muy extraña la gran desaparición de *Z. noltii* registrada entre 2007 y 2008, para luego volver a recuperarse en 2012, ocupando el mismo espacio que en 2007.

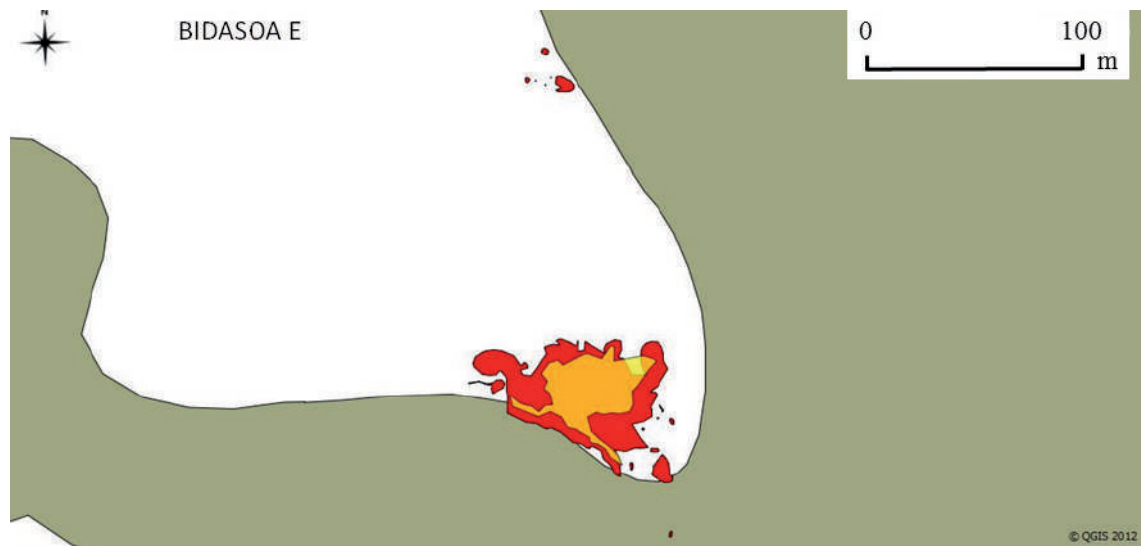


Figura 17. Estuario del Bidasoa. Zona E, al norte de la isla de los Pájaros (Hendaia). Las manchas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja. La zona sombreada corresponde a la parte terrestre que queda por encima de la pleamar máxima.

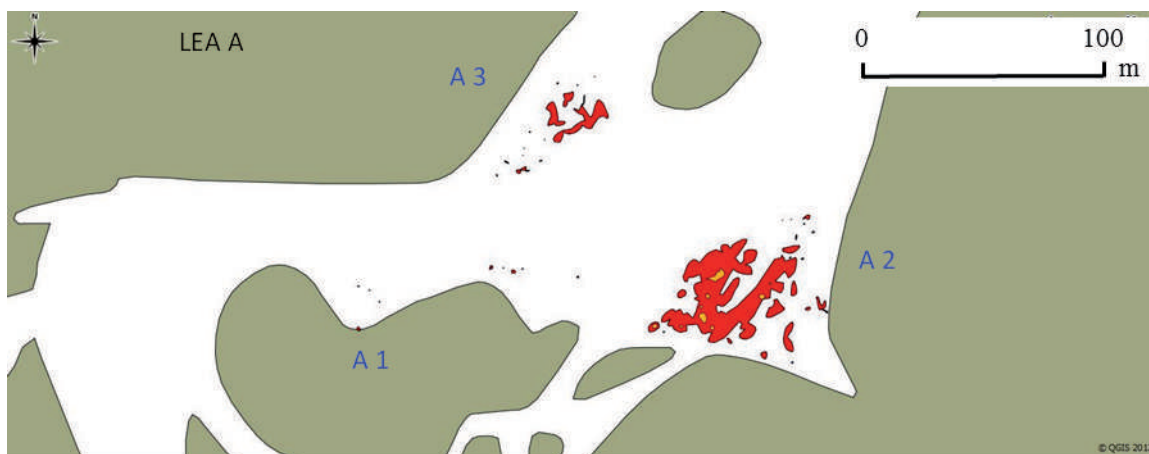


Figura 18. Estuario del Lea. Zona A. Las manchas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja. La zona sombreada corresponde a la parte terrestre que queda por encima de la pleamar máxima.



Figura 19. Estuario del Lea. Zona A. En 2008 (A y B) se observan manchas bien definidas sobre piso fangoso. En 2012 (C y D) la mancha es mayor, aunque menos densa y sobre sustrato pedregoso.



Figura 20. Estuario del Lea. Zona B. Las manchas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja. La zona sombreada corresponde a la parte terrestre que queda por encima de la pleamar máxima.

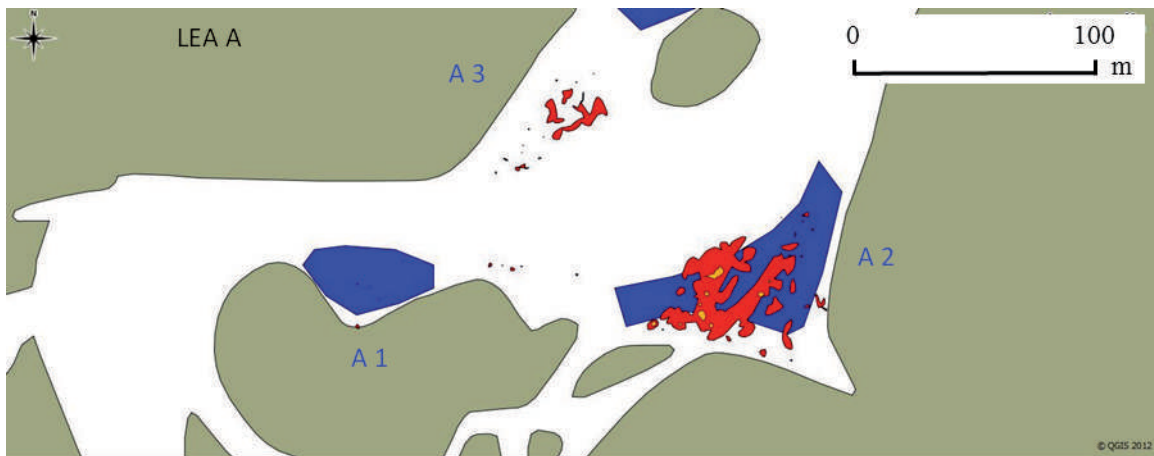


Figura 21. Estuario del Lea. Zona A. Las manchas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja. La superficie de ocupación observada en 2007 (tomada de Otxoa *et al.*, 2007) se representa en azul. La zona sombreada corresponde a la parte terrestre que queda por encima de la pleamar máxima.

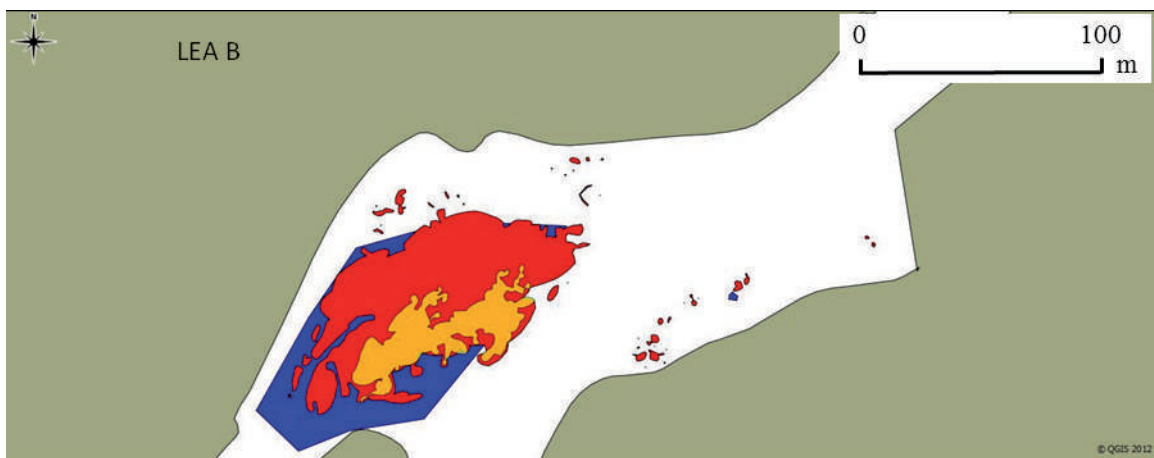


Figura 22. Estuario del Lea. Zona B. Las manchas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja. La superficie de ocupación observada en 2007 (tomada de Otxoa *et al.*, 2007) se representa en azul. La zona sombreada corresponde a la parte terrestre que queda por encima de la pleamar máxima.

Por otro lado, igual que en el resto de estuarios, se han estimado las superficies (ha) ocupadas por *Z. noltii* en los años 2008 y 2012 en el conjunto del estuario del Lea y se han analizado teniendo en cuenta su ubicación específica en el espacio.

Los resultados de estos análisis pueden observarse en la Tabla 5. En resumen, en el año 2008 se cartografió una superficie de 0,14 ha y en el año 2012 la superficie aumentó hasta 0,62 ha, correspondiendo 0,14 ha al mismo espacio ocupado en el estuario en ambos años, es decir, a la zona estable de la pradera. En definitiva, en este periodo en este estuario se ha ganado una superficie de 0,49 ha.

Tabla 5. Tabla resumen sobre los cambios analizados en la distribución de las praderas de *Zostera noltii* para el estuario del Lea en los años 2008 y 2012.

| LEA | ha | % |
|---|------|------|
| Área ocupada en 2008 | 0,14 | |
| Área ocupada en 2012 | 0,62 | |
| Área ocupada en 2008 y/o 2012 | 0,63 | 100 |
| Área ocupada tanto en 2008 como en 2012 (estable) | 0,14 | 22,0 |
| Área que se pierde entre 2008 y 2012 (desaparecido) | 0,00 | 0,2 |
| Área que se gana entre 2008 y 2012 (colonizado) | 0,49 | 77,9 |
| Tasa de cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2008) | 0,49 | 77,7 |
| Tasa de cambio (suma de lo que se pierde y lo que se gana) | 0,49 | 78,0 |

En el estuario del Oka, si bien las representaciones de la zona B (Arketas) corresponden a datos propios, en el resto de las zonas (en A1 y A2, Kanala al este del canal central del estuario, y San Kristobal al oeste de dicho canal), además de los datos propios de 2008, también se han tenido en cuenta los datos de 2007, debido a que durante el muestreo del 2008 no se pudieron tomar datos precisos debido a una recepción débil de las señales de los satélites. Por tanto, se debe tener en cuenta que la situación de 2008 en las zonas de Kanala y San Kristobal en realidad corresponde a la combinación y adaptación de los mapas obtenidos en 2007 y 2008.

En la zona A (Figuras 23 y 24), en la zona media del estuario, a simple vista no parece haber habido un gran cambio en la superficie de ocupación, excepto en la parte sur de la zona A1, donde parece que las praderas han colonizado una franja longitudinal cercana al borde del canal principal; también se observa la completa desaparición de una mancha cartografiada en 2008, la única mancha completamente amarilla que se observa en la Figura 23. No obstante, se aprecia la diferencia de detalle entre los polígonos de 2007-2008 (amarillo) y 2012 (rojo), lo cual puede afectar a la comparación de superficies entre ambos años.

En la zona B (Figura 25), en Arketas, se ve un claro retroceso de la superficie ocupada por las praderas.

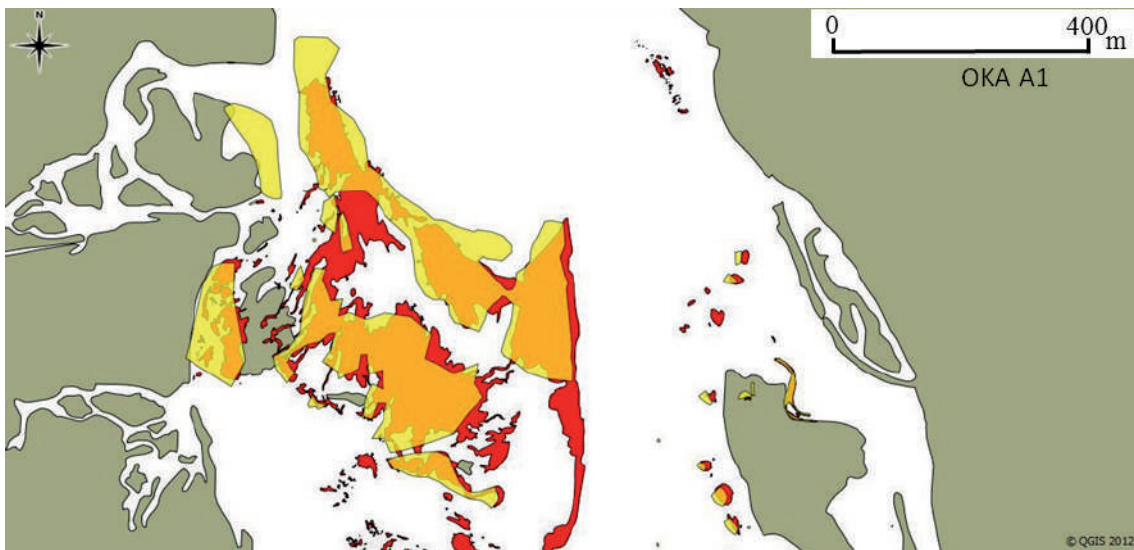


Figura 23. Estuario del Oka. Zona A1. Las manchas cartografiadas de *Zostera noltii* en 2007 y 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja. La zona sombreada corresponde a la parte terrestre que queda por encima de la pleamar máxima. Kanala al este al canal central del estuario y San Kristobal al oeste del mencionado canal.

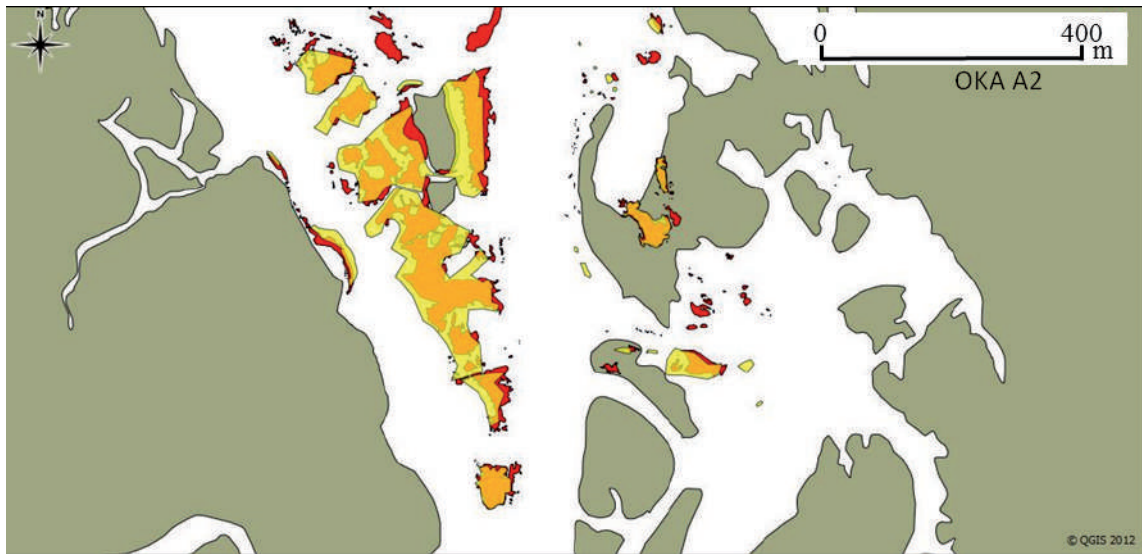


Figura 24. Estuario del Oka. Zona A2. Las manchas cartografiadas de *Zostera noltii* en 2007 y 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja. La zona sombreada corresponde a la parte terrestre que queda por encima de la pleamar máxima. Kanala al este al canal central del estuario y San Kristobal al oeste del mencionado canal.

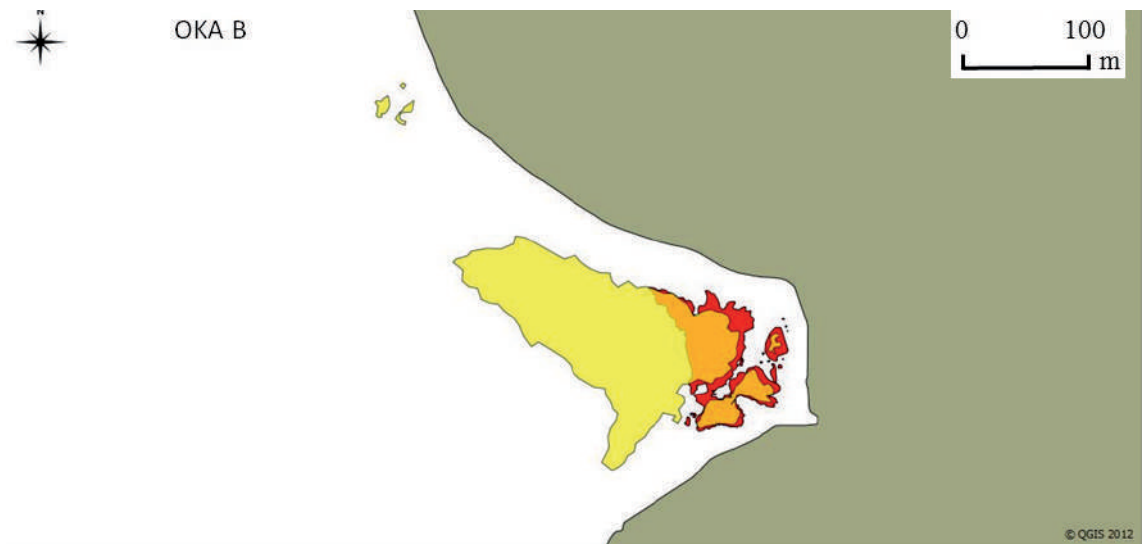


Figura 25. Estuario del Oka. Zona B. Las manchas cartografiadas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja. La zona sombreada corresponde a la parte terrestre que queda por encima de la pleamar máxima.

Los resultados de las comparaciones entre años para la zona de Kanala pueden observarse en la Tabla 6. En resumen, *Z. noltii* ocupaba en Kanala una superficie de 0,92 ha en 2008 y ha pasado a ocupar 1,04 ha en 2012; aproximadamente 0,53 ha corresponde a las zonas estables, ocupadas por *Z. noltii* tanto en 2008 como en 2012. En definitiva, en este periodo se ha ganado una superficie de 0,12 ha.

Tabla 6. Tabla resumen sobre los cambios analizados en la distribución de las praderas de *Zostera noltii* para el estuario del Oka (Kanala) en los años 2008 y 2012.

| OKA-KANALA | ha | % |
|---|------|------|
| Área ocupada en 2008 | 0,92 | |
| Área ocupada en 2012 | 1,04 | |
| Área ocupada en 2008 y/o 2012 | 1,43 | 100 |
| Área ocupada tanto en 2008 como en 2012 (estable) | 0,53 | 37,2 |
| Área que se pierde entre 2008 y 2012 (desaparecido) | 0,39 | 27,2 |
| Área que se gana entre 2008 y 2012 (colonizado) | 0,51 | 35,7 |
| Tasa de cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2008) | 0,12 | 8,5 |
| Tasa de cambio (suma de lo que se pierde y lo que se gana) | 0,9 | 62,9 |

En cuanto a la zona de San Kristobal, *Z. noltii* ocupaba una superficie de 17,9 ha en 2007-2008 y actualmente ocupa una superficie de 15,6 ha, correspondiendo 11,1 ha al área ocupada por *Z. noltii* tanto en 2007-2008 como en 2012 (Tabla 7). En definitiva, y a pesar de que en la comparación de mapas a simple vista no se aprecie, en este periodo se ha perdido una superficie de 2,29 ha.

Tabla 7. Tabla resumen sobre los cambios analizados en la distribución de las praderas de *Zostera noltii* para el estuario del Oka (San Kristobal) en los años 2007-2008 y 2012.

| OKA-SAN KRISTOBAL | ha | % |
|--|-------|-------|
| Área ocupada en 2007-2008 | 17,9 | |
| Área ocupada en 2012 | 15,6 | |
| Área ocupada en 2007-2008 y/o 2012 | 22,4 | 100 |
| Área ocupada tanto en 2007-2008 como en 2012 (estable) | 11,1 | 49,6 |
| Área que se pierde entre 2007-2008 y 2012 (desaparecido) | 6,79 | 30,3 |
| Área que se gana entre 2007-2008 y 2012 (colonizado) | 4,5 | 20,19 |
| Tasa de cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2007-2008) | -2,29 | -10,2 |
| Tasa de cambio (suma de lo que se pierde y lo que se gana) | 11,3 | 50,4 |

Por último, en Arketas *Z. noltii* ocupaba una superficie de 1,88 ha en 2008 y 0,55 ha en 2012, correspondiendo 0,36 ha al área ocupada por *Z. noltii* tanto en 2008 como en 2012 por lo que se podría considerar como la zona estable para esta planta (Tabla 8). En definitiva, en este periodo se ha perdido una superficie de 1,32 ha, lo que supone una pérdida del 63,7% del área ocupada por la especie en esta zona del estuario en algún momento de 2007-2008 y/o 2012, o un 70,2% de la superficie cartografiada en el año 2008.

Tabla 8. Tabla resumen sobre los cambios analizados en la distribución de las praderas de *Zostera noltii* para el estuario del Oka (Arketas) en los años 2008 y 2012.

| OKA-ARKETAS | ha | % |
|---|-------|-------|
| Área ocupada en 2008 | 1,88 | |
| Área ocupada en 2012 | 0,55 | |
| Área ocupada en 2008 y/o 2012 | 2,07 | 100 |
| Área ocupada tanto en 2008 como en 2012 (estable) | 0,36 | 17,2 |
| Área que se pierde entre 2008 y 2012 (desaparecido) | 1,52 | 73,3 |
| Área que se gana entre 2008 y 2012 (colonizado) | 0,2 | 9,6 |
| Tasa de cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2008) | -1,32 | -63,7 |
| Tasa de cambio (suma de lo que se pierde y lo que se gana) | 1,72 | 82,9 |

Discusión

En el estuario del Bidasoa, la comparación entre los dos períodos de estudio no denota diferencias importantes. Sin embargo, en el estuario del Lea sí que las hay. Al interpretar estos resultados hay que tener en cuenta, que la cartografía de 2008 no se realizó con la misma resolución que en el año 2012 ya que el objetivo era una caracterización general de las zonas con presencia de *Z. noltii*. No obstante, esto no justifica la gran diferencia observada en el Lea ya que es una zona accesible, cómoda de muestrear, de poca extensión y fácilmente abordable. En este contexto, la desaparición de la planta no se considera muy probable. A continuación se plantean algunas hipótesis para explicar las diferencias observadas en algunos estuarios.

Z. noltii es una especie muy dinámica, con gran capacidad de crecimiento y que presenta una elevada variabilidad interanual en su presencia y crecimiento (Peralta, 2000). Además, esta planta puede perder sus hojas en épocas desfavorables y permanecer enterrada gracias a sus rizomas subterráneos, siendo distinta la producción de hojas (parte aérea en la que se basa el cartografiado) de cada año, lo cual puede resultar en un mapa diferente cada año (Hamburg y Homann, 1986; Cabaço *et al.*, 2009, 2012). Por otro lado, se sabe que la erosión y el enterramiento pueden provocar grandes cambios en las poblaciones de *Z. noltii* (Cabaço y Santos, 2007; Iglesias, 2009; Han *et al.*, 2012). Teniendo en cuenta todas estas cuestiones, se ha intentado minimizar sus efectos, ya que los muestreos se han adaptado a la época de verano donde se espera máxima producción de las hojas.

En el estuario del Lea, observando las formas y tamaños de los polígonos de presencia en 2007, 2008 y 2012 se intuye que el cartografiado de 2007 se hizo de una forma menos precisa, sin el mismo detalle que en las dos cartografías posteriores. Es decir, la metodología, que incluye el criterio de búsqueda en campo y trazado de los polígonos de ocupación, probablemente ha sido diferente y ha debido de influir en los resultados. Ha podido ocurrir que en 2007 hubiera manchas dispersas y que fueran agrupadas en un mismo polígono, y que en 2008 no se vieran esas manchas por estar dispersas y separadas de la mancha principal. De hecho, las diferencias en el método de cartografiado pueden llevar a cambios importantes en la superficie final ocupada (Phinn *et al.*, 2008; Barillé *et al.*, 2010; Plus *et al.*, 2010).

Finalmente, en el muestreo de 2008, en el Lea, la especie se buscó exhaustivamente en la zona A1 (Figura 21) y no se pudo encontrar. Esto puede deberse a que previamente había habido una riada o un evento de fuerte transporte de material por el río ya que ese entrante o zona resguardada se encontraba llena y cubierta de troncos, ramas y hojarasca (Figura 26). Si esto se hubiera producido, probablemente también se habría dado un gran transporte de arenas, que habrían enterrado parte de la pradera en las zonas A2 y B, resultando en una disminución relevante de la superficie ocupada, aunque fuera temporal (como se ha visto con su recuperación en 2012).

En el caso del estuario del Oka, la importante disminución de la superficie en la zona oeste de Arketas (Figura 25) se debe a la modificación del canal principal del río. Éste se ha ido desplazando hacia el este, afectando directamente a las praderas marinas aquí establecidas, transportando grandes cantidades de arena que han ido enterrando parcialmente la pradera. Se ha ido ganando nueva superficie de pradera en la parte interior de la ensenada, donde hay sedimento predominantemente fangoso. Como se ha dicho previamente, la erosión y el enterramiento son dos de los factores que pueden provocar mayores cambios en las poblaciones de *Z. noltii* (Cabaço y Santos, 2007; Iglesias, 2009; Han *et al.*, 2012).

Además de la presión natural que ejerce el fuerte hidrodinamismo del canal principal del río (erosionando directamente la zona de la pradera o aportando sedimento que se deposita y entierra la planta), la zona de Arketas (Figuras 27 y 28) también está afectada por una importante presión humana: por un lado, se usa como fondeadero de pequeñas embarcaciones (a motor, a remo o a vela), con los impactos directos que ello conlleva sobre la pradera (pisoteo, remos, motores fuera borda, quillas de embarcaciones, fondeos, cadenas y cabos de sujeción) y como zona de extracción de marisco y cebo para la pesca deportiva (pisoteo, levantamiento y volteo de sedimento).



Figura 26. Estuario del Lea. Zona A. Acumulación de troncos, ramas y restos vegetales en 2008.



Figura 27. Estuario del Oka. Zona B. Uso como acceso de embarcaciones deportivas, uso como fondeadero(A y B) y efecto del marisqueo (C y D) sobre las praderas marinas intermareales.

En el caso de la zona de San Kristobal, también en el estuario del Oka, la pérdida debe considerarse con ciertas reservas, ya que, como se ha comentado anteriormente, quizás el resultado se haya visto influido por el hecho de haber usado distinta metodología o, al menos, distinto nivel de detalle a la hora de delimitar los polígonos de ocupación en cada año, tal y como puede apreciarse en las Figuras 23 y 24. En cualquier caso, se tiene constancia de que una mancha bastante grande detectada en 2007 (la ubicada más al noroeste) ya no existía en 2009, probablemente por ocupación de la zona por otras plantas más aptas para esas condiciones. Por otro lado, la gran extensión de esta zona de San Kristobal, así como la baja densidad de la pradera, observada principalmente en la mitad norte, dificultan la adecuada identificación y visualización en algunas zonas, contribuyendo a una subestima de la superficie ocupada.

En definitiva, excepto la pérdida de superficie observada en el estuario del Oka en Arketas, que parece deberse a la modificación de la trayectoria del canal principal del río en esta zona y al fuerte hidrodinamismo, en el resto de los estuarios parece darse un ligero incremento en la superficie ocupada. Esto contrasta con el declive en que parecen encontrarse las poblaciones de fanerógamas a nivel mundial (Short *et al.*, 2006), incluso en lugares cercanos, como la bahía de Arcachón,

en Francia (Plus *et al.*, 2010). Sin embargo, también existen lugares en los que *Z. noltii* parece aumentar la extensión ocupada en años recientes, como ocurre en otras zonas de Francia (Barillé *et al.*, 2010).

Los ejemplos en los que *Z. noltii* parece aumentar su distribución se encuentran ligados o bien a una reducción de la eutrofización (Vaudrey *et al.*, 2010; Orth y McGlathery, 2012) o bien a una restauración de las praderas de esta planta (Orth *et al.*, 2012; Reynolds *et al.*, 2012). En el caso del País Vasco, parte del incremento en la distribución tanto en Lea como en Bidasoa podría deberse al saneamiento progresivo de estas cuencas y a su recuperación (Borja *et al.*, 2012). Sin embargo, en el caso del Oka el plan de saneamiento está aún pendiente de ejecución.



Figura 28. Estuario del Oka. Zona B. En estas fotos se aprecia la densidad de embarcaciones (A y B), el impacto directo de las embarcaciones sobre la pradera al bajar la marea (C y D), marcas de las quillas de las embarcaciones al apoyarse sobre la pradera, “calvas” en la pradera por el efecto de erosión por parte de las boyas y sus cadenas de sujeción (E y F).

Conclusiones

En los estuarios vascos *Z. noltii* se desarrolla sobre zonas intermareales de sedimento arenoso y fangoso. La superficie total ocupada por *Z. noltii* en los estuarios vascos en 2012 fue de 19,79 ha: 17,20 ha en el Oka, 1,97 ha en el Bidasoa y 0,62 ha en el Lea. Considerando los resultados obtenidos, las praderas marinas del País Vasco no se encuentran en una situación de pérdida acelerada: se ha producido una pérdida neta de aproximadamente 10% de la superficie total ocupada por la especie en ambos períodos de muestreo, i.e., en 2007/2008 y 2012. La tasa de cambio o renovación también es elevada (53,1%). Más de la mitad del área total resulta ser zona de cambio, tanto para la pérdida como para el establecimiento de la especie. Así, la pérdida neta calculada podría asociarse a la estocasticidad (cambios debidos al azar) propia de la dinámica de las poblaciones de esta pradera marina. El gran dinamismo que muestra la especie implica que para su conservación se deben conservar sus hábitats potenciales.

En los últimos cuatro años (2008-2012) la pradera marina de *Z. noltii* en el Bidasoa ha aumentado su superficie en 0,13 ha; en el estuario del Oka, en la zona de Kanala también ha aumentado su superficie en 0,12 ha, mientras que en la zona de Arketas ha disminuido en 1,33 ha.

Los cambios de superficie estimados para el estuario del Lea y para la zona de San Kristobal en el estuario del Oka reflejan una ganancia de 0,48 ha y pérdida de 2,3 ha, respectivamente. No obstante, estos datos deben considerarse con precaución, debido a que puede ser un artefacto causado por las diferencias metodológicas entre las diferentes campañas.

Si bien todas las zonas donde están establecidas estas praderas marinas están incluidas en zonas protegidas (Red Natura 2000, ZEPA, Reserva de la Biosfera), algunas de ellas sufren presiones humanas que deberían regularizarse y controlarse (como son el marisqueo y el uso como zona de fondeo), con el objeto de disminuir sus impactos. Sería muy positivo el establecimiento de unas pautas de comportamiento y actuación sobre el uso y disfrute de las zonas con praderas marinas, para lo cual sería necesaria una campaña de información, concienciación y educación de la ciudadanía en general y de los usuarios de estas zonas en particular. De esta manera, se espera que aquellas presiones e impactos directos que se producen por desconocimiento de los usuarios disminuyan considerablemente.

Agradecimientos

El presente artículo corresponde al proyecto “Trabajos de restauración de *Zostera noltii*”, realizado en el marco del convenio de colaboración entre la Agencia Vasca del Agua-URA y la Fundación AZTI. Queremos agradecer al Parque Ecológico de Plaiaundi, a la Comandancia de Marina de Baiona (Francia) y al Patronato de la Reserva de la Biosfera Urdaibai por autorizar y facilitar los muestreos en las marismas de Txingudi, en Hendaia (Bidasoa) y dentro de la Reserva de

la Biosfera de Urdaibai, respectivamente. También queremos agradecer a Amador Prieto por habernos proporcionado información cartográfica correspondiente al año 2007, y a los revisores Iñigo Muxika y J. Germán Rodríguez que, con sus sugerencias, han mejorado sustancialmente este trabajo. Esta es la contribución n° 609 de la Unidad de Investigación Marina de AZTI-Tecnalia.

Bibliografía

- Aguilar, R., X. Pastor, M.J. De Pablo, 2006. *Hábitats en peligro. Propuesta de protección de Oceana*. Oceana y Fundación Biodiversidad. 81 pp.
- Barillé, L., M. Robin, N. Harin, A. Bargain, P. Launeau, 2010. Increase in seagrass distribution at Bourgneuf Bay (France) detected by spatial remote sensing. *Aquatic Botany*, 92: 185-194.
- Borja, A., J. Bald, M.J. Belzunce, J. Franco, J.M. Garmendia, J. Larreta, I. Menchaca, I. Muxika, M. Revilla, J.G. Rodríguez, O. Solaun, A. Uriarte, V. Valencia, I. Zorita, I. Adarraga, F. Aguirrezabalaga, I. Cruz, A. Laza, M.A. Marquiegui, J. Martínez, E. Orive, J.M^a Ruiz, S. Seoane, J.C. Sola, A. Manzanos, 2012. *Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Informe de AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua. 19 Tomos, 665 pp.
- Cabaço, S., R. Santos, 2007. Effects of burial and erosion on the seagrass *Zostera noltii*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 340: 204-212.
- Cabaço, S., R. Machás, R. Santos, 2009. Individual and population plasticity of the seagrass *Zostera noltii* along a vertical intertidal gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82: 301-308.
- Cabaço, S., R. Santos, M. Sprung, 2012. Population dynamics and production of the seagrass *Zostera noltii* in colonizing versus established meadows. *Marine Ecology*, 33: 280-289.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, M. van den Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Duarte, C.M., 2002. The future of seagrass meadows. *Environmental Conservation*, 29: 192-206.
- Erfteimeijer, P.L.A., R.R. Robin Lewis III, 2006. Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 1553-1572.
- Garmendia, J.M., Á. Borja, J. Franco, 2008. *Trabajos de restauración de Zostera noltii en la costa vasca*. Informe elaborado por AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua. 94 pp.
- Garmendia, J.M., J.G. Rodríguez, Á. Borja, J. Franco, 2010. Clasificación de los estuarios del País Vasco como zonas potenciales para la restauración de praderas intermareales de *Zostera noltii*. *Revista de Investigación Marina*, 17: 40-61. <http://www.azti.es/rim/component/content/article/27.html>.
- Garmendia, J.M., M. Valle, G. Chust, J. Franco, Á. Borja, 2012. *Trabajos de restauración de Zostera noltii en la costa vasca: actividades de 2012*. Informe elaborado por AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua – Uraren Euskal Agentzia, 150 pp.
- Green, E.P., F.T. Short, 2003. *World Atlas of Seagrasses*. University of California Press, Berkeley, CA, USA. 324 pp.
- Hamburg, S.P., P.S. Homann, 1986. Utilization of growth parameters of eelgrass, *Zostera marina*, for productivity estimation under laboratory and in situ conditions. *Marine Biology*, 93: 299-303.
- Han, Q., T.J. Bouma, F.G. Brun, W. Suykerbuyk, M.M. van Katwijk, 2012. Resilience of *Zostera noltii* to burial or erosion disturbances. *Marine Ecology Progress Series*, 449: 133-143.
- Hughes, A.R., S.L. Williams, C.M. Duarte, K.L. Heck, Jr. Waycott, M. Waycott, 2009. Associations of concern: declining seagrasses and threatened dependent species. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7: 242-246.

- Iglesias, O., 2009. *Relationship between Zostera noltii meadows and sediment dynamics in a mesotidal coastal lagoon (Arcachon Bay, France)*. Master Thesis, Joint European MSc Degree Marine Environment and Resources, University of Bordeaux I: 1-69.
- Lissardy, M., M.M. de Casamayor, F. Sanchez, 2007. *Cartographie de l'herbier de Zostera noltii dans la Baie de Txingudi*. Informe CERECA-ADERA. 12 pp.
- Neckles, H., B. Kopp, B. Peterson, P. Pooler, 2012. Integrating Scales of Seagrass Monitoring to Meet Conservation Needs. *Estuaries and Coasts*, 35: 23-46.
- Orth, R.J., K.J. McGlathery, 2012. Eelgrass recovery in the coastal bays of the Virginia Coast Reserve, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 448: 173-176.
- Orth, R.J., K.A. Moore, S.R. Marion, D.J. Wilcox, D.B. Parrish, 2012. Seed addition facilitates eelgrass recovery in a coastal bay system. *Marine Ecology Progress Series*, 448: 177-195.
- Otxoa, E., T. Oyanarte, S. Patino, J. Valencia, E. Miguel, A. Prieto, J. Elorza, 2007. *Cartografiado a escala 1:5000 de las poblaciones vizcainas de plantas incluidas en el catálogo vasco de especies amenazadas*. Departamento de Botánica, Sociedad de Ciencias Naturales de Sestao. 71 pp.
- Peralta, G., 2000. *Estudios sobre el crecimiento en Zostera noltii Hornem.: Dinámica estacional y aspectos ecofisiológicos*. Tesis de Doctorado, Universidad de Cádiz. 229 pp.
- Philippart, C.J.M., 1995. Seasonal variation in growth and biomass of an intertidal *Zostera noltii* stand in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 33(2): 205-218.
- Phinn, S., C. Roelfsema, A. Dekker, V. Brando, J. Anstee, 2008. Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: An assessment of satellite multi-spectral and airborne hyper-spectral imaging systems in Moreton Bay (Australia). *Remote Sensing of Environment*, 112: 3413-3425.
- Plus, M., S. Dalloyau, G. Trut, I. Auby, X. de Montaudouin, É. Emery, C. Noël, C. Viala, 2010. Long-term evolution (1988-2008) of *Zostera* spp. meadows in Arcachon Bay (Bay of Biscay). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87: 357-366.
- Reynolds, L.K., M. Waycott, K.J. McGlathery, R.J. Orth, J.C. Zieman, 2012. Eelgrass restoration by seed maintains genetic diversity: case study from a coastal bay system. *Marine Ecology Progress Series*, 448: 223-233.
- Schmidt, A.L., M. Coll, T. Romanuk, H.K. Lotze, 2011. Ecosystem structure and services in eelgrass *Zostera marina* and rockweed *Ascophyllum nodosum* habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 437: 51-68.
- Short, F.T., D.M. Burdick, 1996. Quantifying eelgrass habitat loss in relation to housing development and nitrogen loading in Waquoit Bay, Massachusetts. *Estuaries and Coasts*, 19: 730-739.
- Short, F.T., B. Polidoro, S.R. Livingstone, K.E. Carpenter, S. Bandeira, J.S. Bujang, H.P. Calumpang, T.J.B. Carruthers, R.G. Coles, W.C. Dennison, P.L.A. Erfteimeijer, M.D. Fortes, A.S. Freeman, T.G. Jagtap, A.H.M. Kamal, G.A. Kendrick, W. Judson Kenworthy, Y.A. La Nafie, I.M. Nasution, R.J. Orth, A. Prathep, J.C. Sanciangco, B. v. Tussenbroek, S.G. Vergara, M. Waycott, J.C. Zieman, 2011. Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *Biological Conservation*, 144: 1961-1971.
- Short, F.T., E.W. Koch, J.C. Creed, K.M. Magalhaes, E. Fernández, J.L. Gaeckle, 2006. SeagrassNet monitoring across the Americas: case studies of seagrass decline. *Marine Ecology*, 27: 277-289.
- Silván, F., J.A. Campos, 2002. *Estudio de la flora vascular amenazada de los estuarios de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Informe inédito realizado para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación, Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz. 100 pp.
- Valle, M., Á. Borja, G. Chust, I. Galparsoro, J.M. Garmendia, 2011. Modelling suitable estuarine habitats for *Zostera noltii*, using Ecological Niche Factor Analysis and Bathymetric LiDAR. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 94: 144-154.
- Vaudrey, J.M.P., J.N. Kremer, B.F. Branco, F.T. Short, 2010. Eelgrass recovery after nutrient enrichment reversal. *Aquatic Botany*, 93: 237-243.
- Vermaat, J.E., M.J.M. Hootsmans, P.H. Nienhuis, 1987. Seasonal dynamics and leaf growth of *Zostera noltii* Hornem., a perennial intertidal seagrass. *Aquatic Botany*, 28: 287-299.
- Waycott, M., C.M. Duarte, T.J.B. Carruthers, R.J. Orth, W.C. Dennison, S. Olyarnik, A. Calladine, J.W. Fourqurean, K.L. Heck, A.R. Hughes, G.A. Kendrick, W.J. Kenworthy, F.T. Short, S.L. Williams, 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 12377-12381.



www.azti.es

azti
tecnalia

Txatxaramendi ugartea z/g
48395 Sukarrieta (Bizkaia)
Tel.: +34 94 657 40 00
Fax: +34 94 657 25 55

Herrera Kaia, Portualdea z/g
20110 Pasaia (Gipuzkoa)

Parque Tecnológico de Bizkaia
Astondo bidea. Edificio 609.
48160 Derio (Bizkaia)