

Egoitza Nagusia / Sede Central

Txatxarramendi Ugartea z/g

E-48395 Sukarrieta - Bizkaia (Spain)

Tel.: +34 94 657 40 00 - Fax: +34 94 657 25 55

Parque Tecnológico de Bizkaia

Astondo bidea - Edificio 609

E-48160 Derio - Bizkaia (Spain)

Tel.: +34 94 657 40 00 - Fax: +34 94 657 25 55

Herrera Kaia - Portu aldea z/g

E-20110 Pasaia - Gipuzkoa (Spain)

Tel.: +34 94 657 40 00 - Fax: +34 94 657 25 55

[www.azti.es](http://www.azti.es)

info@azti.es



## Trabajos de restauración de *Zostera noltii* en la costa vasca: actividades de 2012

Informe para:



Agencia Vasca del Agua - Uraren Euskal Agentzia -

Pasaia, 14 de diciembre de 2012

<b>Tipo documento</b>	Informe de actividades de 2012
<b>Título documento</b>	Trabajos de restauración de <i>Zostera noltii</i> en la costa vasca: actividades de 2012
<b>Fecha</b>	14/12/2012
<b>Proyecto</b>	Trabajos de restauración de <i>Zostera</i>
<b>Código</b>	IM12Zoster
<b>Cliente</b>	Agencia Vasca del Agua – Uraren Euskal Agentzia

**Equipo de proyecto:**  
Dr. Joxe Mikel Garmendia  
Mireia Valle  
Dr. Guillem Chust  
Dr. Javier Franco  
Dr. Ángel Borja

**Responsable proyecto** Dr. Joxe Mikel Garmendia

**Revisado por** Dr. Javier Franco  
**Fecha** 14-12-2012

Si procede, este documento deberá ser citado del siguiente modo:

Garmendia, J.M., M. Valle, G. Chust, J. Franco y 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.

## ÍNDICE

<b>1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>5</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>8</b>
<b>3 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>4 TAREAS REALIZADAS.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 TRASPLANTE 1: BUTROE .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1.1 Seguimiento del trasplante.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1.2 Discusión .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 TRASPLANTE 3: BUTROE .....</b>	<b>21</b>
<b>4.2.1 Seguimiento del trasplante.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2.2 Discusión .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 TRASPLANTE 4: BUTROE .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.1 Labores de trasplante.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.1.1 Extracción en la zona donante. Arketas (Oka) .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.1.2 Trasplante a la zona receptora. Plentzia (estuario del Butroe).....</b>	<b>34</b>
<b>4.3.2 Caracterización de las zonas donante y receptoras.....</b>	<b>38</b>
<b>4.3.3 Seguimiento de los trasplantes.....</b>	<b>42</b>
<b>4.3.3.1 Zona receptora B4: Plentzia (estuario del Butroe).....</b>	<b>42</b>
<b>4.3.3.2 Zona receptora B5: Plentzia (estuario del Butroe).....</b>	<b>44</b>
<b>4.4 RECUPERACIÓN DE LA ZONA DONANTE .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4.1 Oka (San Kristobal): trasplante de 2010 .....</b>	<b>48</b>
<b>4.4.2 Oka (Arketas): trasplante de 2012 .....</b>	<b>52</b>
<b>4.4.2.1 Seguimiento de la zona alterada.....</b>	<b>53</b>
<b>4.4.2.2 Seguimiento de los controles.....</b>	<b>58</b>
<b>4.4.2.3 Densidad de Zostera.....</b>	<b>63</b>
<b>4.4.2.4 Densidad de embarcaciones .....</b>	<b>64</b>
<b>4.5 PRUEBAS CON SEMILLAS.....</b>	<b>66</b>
<b>4.5.1 Presencia de flores en poblaciones naturales vascas .....</b>	<b>66</b>
<b>4.5.2 Desarrollo de las semillas en medio natural .....</b>	<b>72</b>
<b>4.5.3 Recogida de semillas .....</b>	<b>78</b>

4.6 CARTOGRAFÍA 2012.....	80
4.6.1 <i>Material y métodos</i> .....	81
4.6.2 <i>Resultados</i> .....	83
4.6.2.1 Distribución en 2012.....	83
4.6.2.2 Comparación de la distribución en 2007-2008 y 2012.....	88
4.6.3 <i>Discusión</i> .....	103
4.7 ANÁLISIS GENÉTICOS.....	109
4.7.1 <i>Material y métodos</i> .....	110
4.7.2 <i>Resultados</i> .....	111
4.7.3 <i>Discusión</i> .....	116
4.8 DISPONIBILIDAD DE HÁBITAT (HABITAT SUITABILITY) .....	118
4.8.1 <i>Introducción</i> .....	118
4.8.2 <i>Material y métodos</i> .....	119
4.8.2.1 Actualización de las variables ambientales .....	119
4.8.2.2 Actualización de distribución de la especie.....	121
4.8.2.3 Aplicación modelos de distribución de especies .....	122
4.8.3 <i>Resultados</i> .....	124
4.8.4 <i>Discusión</i> .....	128
4.9 EVOLUCIÓN RECENTE DE POBLACIONES NATURALES .....	129
4.9.1 <i>Preparación del vuelo</i> .....	129
4.9.2 <i>Vuelo hiperespectral CASI y preprocessado de las imágenes</i> .....	130
4.9.3 <i>Medidas de campo</i> .....	132
4.9.4 <i>Procesado de las imágenes e integración en un GIS</i> .....	134
5 CONCLUSIONES.....	135
6 RECOMENDACIONES.....	138
7 BIBLIOGRAFÍA .....	140
8 AGRADECIMIENTOS .....	145
9 PRODUCCIÓN CIENTÍFICA.....	146

## 1 ANTECEDENTES

En la oferta de la Red de Seguimiento del Estado Ecológico de las Aguas de Transición y Costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco, realizada por AZTI-Tecnalia en el año 2007, se propuso la inclusión de un apartado referido al estudio de las praderas de fanerógamas marinas en la costa vasca, concretamente de *Zostera noltii*.

En el primer año de estudio, llevado a cabo en 2008, se realizó un análisis del estado del arte en cuanto a la situación de las praderas marinas, el relevante declive que sufren a nivel mundial (especialmente a nivel europeo) y las alternativas que se vienen empleando en los últimos años para ayudar a su recuperación. Por otro lado, se contactó con un grupo de trabajo internacional (proyecto Biomares, [http://www.ccmar.ualg.pt/biomares/index\\_en.html](http://www.ccmar.ualg.pt/biomares/index_en.html)), que está poniendo en práctica diferentes técnicas para la recuperación de las praderas marinas. En la reunión celebrada, y en las salidas al campo realizadas en el marco del citado proyecto, se pudieron constatar algunos de los problemas con los que hay que enfrentarse a la hora de llevar a cabo una labor de estas características. Por último, se realizó un estudio de campo para caracterizar el medio en donde *Zostera noltii* (la única fanerógama marina que forma praderas en la CAPV) se encuentra asentada en la actualidad dentro de la geografía vasca.

En las conclusiones del informe correspondiente al primer año de estudio (Garmendia *et al.*, 2008) se subrayó el interés de seguir adelante con esta línea de trabajo. En este sentido, se propuso para el año 2009 la ejecución de unos experimentos de trasplantes a pequeña escala, para sopesar la viabilidad de dicha actuación a una mayor escala. En consecuencia, en 2009 el trabajo principal consistió en la ejecución de unos trasplantes de *Zostera noltii* desde un estuario de la costa vasca a otro donde no existía en ese momento. Para ello, se seleccionó un estuario donante (Oka) y un estuario receptor (Butroe) (Garmendia *et al.*, 2010a); se realizó el trasplante y se llevó a cabo el seguimiento, tanto de la zona afectada en el estuario donante, como del desarrollo de los parches o cepellones introducidos en el estuario receptor.

Dada la relevancia de los bienes y servicios que proporcionan las praderas marinas de fanerógamas, y su importancia en el funcionamiento y regulación del ecosistema marino y estuaríco, así como el creciente interés por su estudio y recuperación a nivel mundial, en el año 2010 se continuó trabajando con esta planta. En dicho año el trabajo se centró en la utilización de modelos de idoneidad de hábitat o *Habitat Suitability*, herramienta que,

mediante la caracterización de las zonas de presencia de la especie, permite identificar y evaluar el potencial de distintas zonas para albergar praderas marinas. Para ello, se iniciaron estudios dirigidos a obtener información para la calibración y validación de estos modelos. Además, se continuó con el seguimiento de los trasplantes llevados a cabo en el Butroe en el año 2009 y se realizaron nuevos trasplantes en el Oka (Garmendia *et al.*, 2010b).

En el año 2011 se continuó con el estudio de *Zostera noltii*. La información acumulada y la experiencia adquirida a partir de 2008, así como las conclusiones a las que se llegó en el, hasta entonces, último informe referido a esta planta, fueron la base para el establecimiento de los objetivos del año 2011. Durante este año continuó el seguimiento de los trasplantes efectuados previamente en 2009; se ejecutaron dos nuevos trasplantes (en el Urola y en el Butroe) y se inició su seguimiento; se observó la recuperación de las poblaciones donantes de los trasplantes de 2010 y 2011; se realizaron muestreos de otras praderas de *Zostera noltii* para llevar a cabo un análisis genético comparativo; y se efectuó un análisis sobre la idoneidad de hábitat mediante el modelo ENFA (Ecological Niche factor Analysis).

Dada la importancia que ha alcanzado este apartado dentro del proyecto de la Red de Seguimiento de la Calidad de las Aguas, este año 2012 el capítulo sobre praderas marinas ha adquirido entidad propia y ha sido aprobado como un proyecto independiente con una duración inicial de dos años, con el nombre de *Trabajos de restauración de Zostera*.

La importancia de *Zostera noltii* viene respaldada por:

- 1) El hecho de que su hábitat está incluido en la Directiva Hábitats (92/43/EEC) dentro del listado de hábitats naturales de interés comunitario.
- 2) Las praderas de *Zostera* están incluidas en un reciente listado de especies y hábitats amenazados o en declive emitido por la Convención Oslo-Paris (OSPAR), para la protección del medio marino del Atlántico NE (Tullrot, 2009).
- 3) De acuerdo con la Directiva Marco del Agua (2000/60/EC), las angiospermas marinas adquieren una gran relevancia como uno de los cinco elementos de calidad biológica a considerarse en el establecimiento de la calidad ecológica de las aguas estuáricas (Borja, 2005).
- 4) Por último, tras la modificación en febrero de 2011 del Catálogo Vasco de Especies Amenazadas de la Fauna y Flora Silvestre y Marina (BOPV nº 37, del 23 de febrero de 2011), la especie *Zostera noltii* ha pasado a ser catalogada dentro del primer grupo: *Especies, subespecies y poblaciones en peligro de extinción*.

Por tanto, el contenido del presente informe es el resultado de las labores realizadas en el año 2012 como continuación del trabajo iniciado en el año 2008 y desarrollado ininterrumpidamente hasta la actualidad.

El proyecto titulado “Trabajos de restauración de *Zostera noltii* en la costa vasca”, (Ref. interna de AZTI IM12ZOSTER) sobre el cual se redacta este informe anual, se integra en la tercera prórroga del Convenio de Colaboración entre la Agencia Vasca del Agua y la Fundación AZTI Fundazioa suscrito con fecha 7 de octubre de 2008.

## 2 OBJETIVOS

El objetivo general del presente proyecto de dos años de duración es contribuir a la mejora de la calidad ambiental de los estuarios vascos mediante la conservación de las poblaciones naturales de *Zostera noltii* y el aumento de la superficie ocupada por esta planta por medio de actuaciones de restauración.

Como objetivos operativos se plantean los siguientes:

1. Estudio de la evolución reciente de las poblaciones naturales de *Zostera noltii* mediante sensores aerotransportados.
2. Evaluación de la aptitud de los distintos estuarios y zonas específicas dentro de ellos para albergar futuras poblaciones de *Zostera noltii* a partir de trasplantes, aplicando modelos para clasificar la idoneidad de hábitats (Habitat Suitability).
3. Establecimiento del periodo requerido para que una zona donante de trasplantes se recupere completamente.
4. Conocimiento del grado de similitud de las poblaciones vascas con respecto a las de territorios vecinos (Francia, Cantabria, Asturias) en base a análisis genéticos

En el año 2012, el objetivo general ha sido continuar profundizando en el conocimiento sobre los trasplantes de *Zostera noltii* en los estuarios del País Vasco. Para ello, se han establecido los siguientes objetivos operativos:

- ❖ Continuación del seguimiento de los trasplantes realizados en el estuario del Butroe en el año 2009. Su objetivo final será comprobar la viabilidad de los trasplantes en el sedimento fangoso.
- ❖ Ejecución de un nuevo trasplante, del Oka al Butroe, a una zona arenofangosa protegida frente a la influencia directa del canal principal del río: por un lado 8 UT (unidades de trasplante) y por otro 20 UT. De esta manera, teniendo en cuenta los trasplantes de años previos, se dispondrá en el mismo medio de trasplantes de 4, 8, 12 y 20 UT. Con ello, se pretende conocer la superficie mínima (o número mínimo de unidades de trasplante) necesaria para obtener una pradera con garantías de supervivencia y desarrollo adecuado.

- ❖ Evaluación del impacto provocado sobre las poblaciones donantes de *Zostera noltii* debido a la extracción de UTs en los proyectos de trasplante, tanto de 2010 como de 2012. Su objetivo final será saber el tiempo que transcurre hasta que una zona donante recupera la situación previa a la donación.
- ❖ Evaluación de la conectividad genética de las poblaciones de *Zostera noltii*, mediante el análisis de muestras procedentes de distintas praderas marinas establecidas en otras regiones cercanas al País Vasco.
- ❖ Contactos con otros grupos europeos que trabajan con praderas marinas. Su objetivo final es el intercambio de experiencias y conocimientos.
- ❖ Explotación y comunicación de resultados. Su objetivo final es la divulgación de los resultados y conclusiones obtenidos en estos estudios en diversos foros (de ámbito científico y social).

### 3 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte de una línea de investigación que se inició en 2008 sobre las praderas marinas en el País Vasco. Desde entonces, se ha seguido una trayectoria cuyo eje de actuación se ha visto reflejado en los distintos informes anuales que se han redactado cuyo título común es *Trabajos de restauración de Zostera noltii en la costa vasca* (Garmendia *et al.*, 2008, 2010a, 2010b, 2011). Dentro de este contexto, se considera imprescindible continuar con estos estudios, con el fin de adquirir un mayor conocimiento sobre el funcionamiento de las praderas marinas, así como explorar alternativas que puedan conducir a la recuperación real de estas comunidades en la costa vasca, ya sea a través de una recolonización natural o mediante actuaciones de restauración de hábitats.

En el anterior informe anual correspondiente a las actividades de 2011 (Garmendia *et al.*, 2011), en el capítulo 6 de Recomendaciones, se propusieron distintas tareas o labores que se podrían abordar en fases futuras. De las distintas recomendaciones propuestas en el informe del año 2011, ha sido posible llevar a cabo algunas de ellas. El resto de tareas planteadas en su día que no se han ejecutado durante este año 2012, no se descartan sino que quedan aplazadas hasta que se presente el momento y las condiciones adecuadas.

En principio, una de las recomendaciones planteadas en el último informe como posible objetivo para el 2012 era la de buscar una zona receptora en otro estuario distinto a los tratados en el pasado, y realizar en él una nueva actuación de trasplante. No obstante, la selección de un lugar adecuado requiere un análisis exhaustivo del medio y la consideración de muchos factores. Además, a pesar de ello, nunca se tiene garantizado el éxito, tal y como se ha podido comprobar en algunos de los trasplantes ya realizados (en los estuarios del Butroe y del Urola). En este sentido, aprovechando que hay zonas en los estuarios del Deba y Barbadun que se han restaurado recientemente, y en las que se observa una recuperación, se han efectuado unos primeros análisis. Además, dichas zonas son consideradas de interés al encontrarse catalogadas como Áreas de Especial Protección (Deba) o Áreas Degradadas a Recuperar (Barbadún) en el Plan Territorial Sectorial de Zonas Húmedas. Sin embargo, se requiere todavía de cierto tiempo para que las zonas intermareales recuperadas (que son las interesantes para nuestra actuación) alcancen un grosor de sedimento y una estabilidad adecuadas para albergar con garantías de desarrollo una población vegetal.

Por ello, como paso previo antes de realizar un trasplante en estas zonas nuevas, con el fin de minimizar riesgos, se continuará profundizando en el conocimiento de las praderas

marinas en el País Vasco. Para ello, aprovechando las buenas condiciones del Butroe, tal y como demuestra la supervivencia de algunos trasplantes realizados en 2009 y 2011, se efectuó el trasplante de 2012 de nuevo en el Butroe, en la llanura cercana a Junkera. En esta ocasión, con el objeto de estimar el tamaño mínimo de la mancha (o número mínimo de unidades de trasplante) requerida para garantizar la supervivencia del trasplante, se trasplantaron 28 UTs (Unidad de Trasplante), colocándose en 2 grupos: por un lado 8 UT y por otro 20 UT. Así, teniendo en cuenta los trasplantes previos de 2009 y 2011, se tienen trasplantes de 4, 8, 12 y 20 UT.

A continuación se resumen las tareas realizadas en el año 2012:

- ❖ Se ha continuado con el seguimiento de los trasplantes realizados en sedimentos fango-arenosos del estuario del Butroe en el año 2009 (4 UTs). Se ha recalculado el crecimiento horizontal observado desde el inicio del seguimiento.
- ❖ Se ha continuado con el seguimiento de los trasplantes realizados en sedimentos fango-arenosos del estuario del Butroe en el año 2011 (12 UTs).
- ❖ Se ha ejecutado un nuevo trasplante en dos zonas con sedimento fango-arenoso del estuario del Butroe (8 y 20 UTs).
- ❖ Se ha continuado el seguimiento de la zona donante de *Zostera noltii* del trasplante de 2010, y se ha iniciado otro seguimiento en la zona donante del trasplante de 2012.
- ❖ Se ha mejorado el modelo ENFA aplicado en el estuario del Oka, mediante el uso de información más reciente.
- ❖ Se ha llevado a cabo un estudio comparativo de la composición genética de poblaciones de *Zostera noltii* procedentes de distintos estuarios del Cantábrico.
- ❖ Se ha llevado a cabo una nueva cartografía de las praderas marinas en los estuarios vascos.
- ❖ Se ha efectuado un vuelo sobre el estuario del Oka para obtener imágenes que se utilizarán para estudiar la evolución reciente de las praderas marinas en dicho estuario.
- ❖ Se ha iniciado un seguimiento sobre la presencia de flores en las praderas vascas de *Zostera noltii* para la obtención de semillas.
- ❖ Se han mantenido contactos con expertos de otros grupos de investigación, tanto en congresos científicos como en talleres de trabajo y estancias en el extranjero.

- ❖ Se han efectuado diversas acciones de difusión de los resultados (publicaciones y presentaciones en congresos).

Por tanto, en el presente informe se exponen las tareas mencionadas anteriormente y ejecutadas a lo largo del año 2012. Cada una de las tareas será abordada de manera independiente en distintos apartados.

## 4 TAREAS REALIZADAS

### 4.1 TRASPLANTE 1: BUTROE

Tanto la descripción de la ejecución del trasplante, como la localización de las zonas donante y receptoras, se encuentran debidamente detalladas en el informe correspondiente al año 2009 (Garmendia *et al.*, 2010a). En dicho informe se exponen además los resultados obtenidos tras el seguimiento realizado durante los primeros meses post-trasplante.

En los informes de 2010 y 2011 se ofrecen los resultados del seguimiento llevado a cabo a lo largo de esos años (Garmendia *et al.*, 2010b, 2011).

Durante el año 2012 se ha continuado realizando el seguimiento con la misma metodología empleada desde el inicio. En el presente capítulo, se muestran los resultados correspondientes al desarrollo experimentado por los parches, o UTs, transplantados hasta el momento, es decir, desde su trasplante en marzo de 2009 hasta noviembre de 2012.

El seguimiento realizado ha seguido las mismas pautas que las explicadas en los informes de los años 2009, 2010 y 2011:

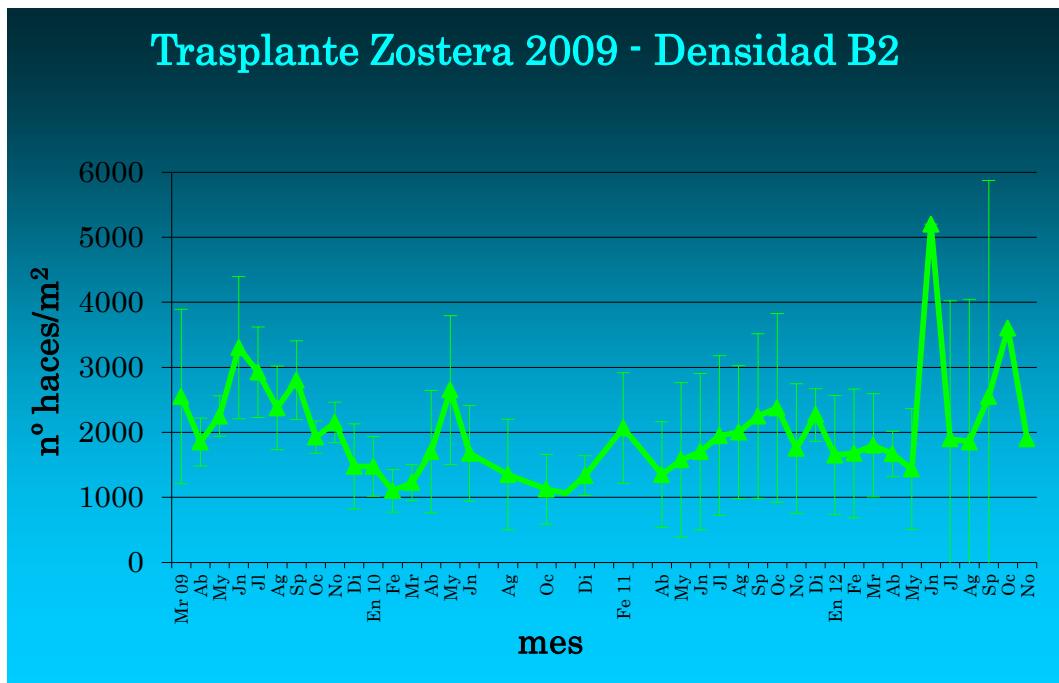
- 1) Visitas mensuales-bimensuales para la obtención de fotografías de cada una de las unidades de trasplante (UT) y cada zona, la observación visual de posibles alteraciones o presiones en el medio y la medición de la temperatura y el potencial redox en el sedimento de cada zona.
- 2) Cálculo de la densidad en el punto con mayor presencia de haces en cada una de las UT transplantadas.
- 3) Estima de la superficie ocupada por cada UT a partir de las fotografías y mediante el empleo del programa de tratamiento de imágenes de dominio público y libre acceso por Internet ImageJ 1.42q (Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA.).
- 4) Comparación de las superficies observadas cada mes, respecto a la superficie de la UT transplantada ( $43 \times 28 = 1204 \text{ cm}^2$ ), y cálculo de factores de crecimiento o número de veces que cada UT ha multiplicado su superficie.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la zona fangosa (el trasplante de la zona arenosa desapareció en la riada de junio de 2010), haciendo especial hincapié en la evolución del crecimiento horizontal, factor de crecimiento y densidad de haces experimentada por cada UT.

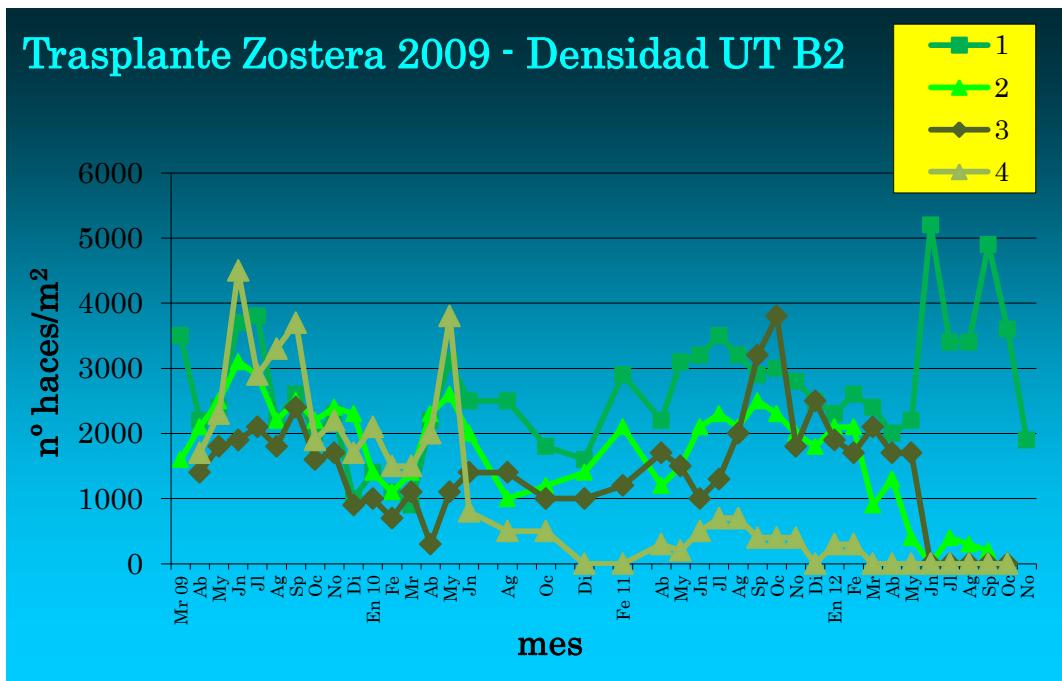
#### 4.1.1 Seguimiento del trasplante

En la Figura 1 se representa la evolución de la densidad promedio estimada en las UTs en la zona fangosa del estuario del Butroe (B2). En ella pueden observarse diferentes fases: en el año 2009 hay un descenso inicial de la densidad (en cierta medida esperable y achacable al estrés provocado por la propia actuación de trasplante y al cambio de su localización) de 3.000 a 1.000 haces m<sup>-2</sup>; en el año 2010 se intuye un periodo de transición donde la densidad se estabiliza en valores algo superiores a 1.000 haces m<sup>-2</sup> (con la excepción de un fuerte brote en abril-mayo); y en 2011 comienza una progresiva y lenta recuperación, aumentando la densidad hasta valores cercanos a 2.000 haces m<sup>-2</sup>; en el periodo invernal dicha recuperación se interrumpe y se observa una disminución de la densidad que hasta finales de la primavera del año siguiente. Esto último puede estar relacionado con los episodios de sedimentación que se observa en invierno y la importante aparición de algas de primavera. A partir de junio de 2012 los valores corresponden a dos UTs y a partir de octubre solamente a una UT, dado que el resto parece haber desaparecido.

En la Figura 2 se muestran las densidades estimadas para cada una de las UTs de la zona fangosa B2. En esta figura pueden intuirse tres etapas: en la primera, que abarca desde el inicio hasta marzo de 2010, todas las UTs parecen comportarse de una manera similar, mostrando sus valores dentro de un rango relativamente estrecho. A partir de la fecha indicada, los valores se distancian y hay una mayor dispersión de datos. En esta segunda etapa, tres UTs (B2-1, B2-2 y B2-3) muestran unas densidades bastante estables, con una ligera tendencia hacia el aumento de sus valores; mientras que la cuarta UT, B2-4, sufre una drástica disminución de sus valores, coincidiendo precisamente con la riada ocurrida en junio de 2010. Desde entonces, esta UT no se ha recuperado y mantiene, con unas pocas hojas, una presencia testimonial del parche original. Finalmente, en el transcurso de 2012 otras dos UTs parecen que han desaparecido, probablemente por el efecto de los enterramientos sufridos en invierno y, principalmente, por la aparición del alga *Ulva* sp. que en primavera afectó directamente a estas UTs. En la actualidad, aunque únicamente sobrevive una UT (B2-1), lo hace con una buena densidad de hojas.

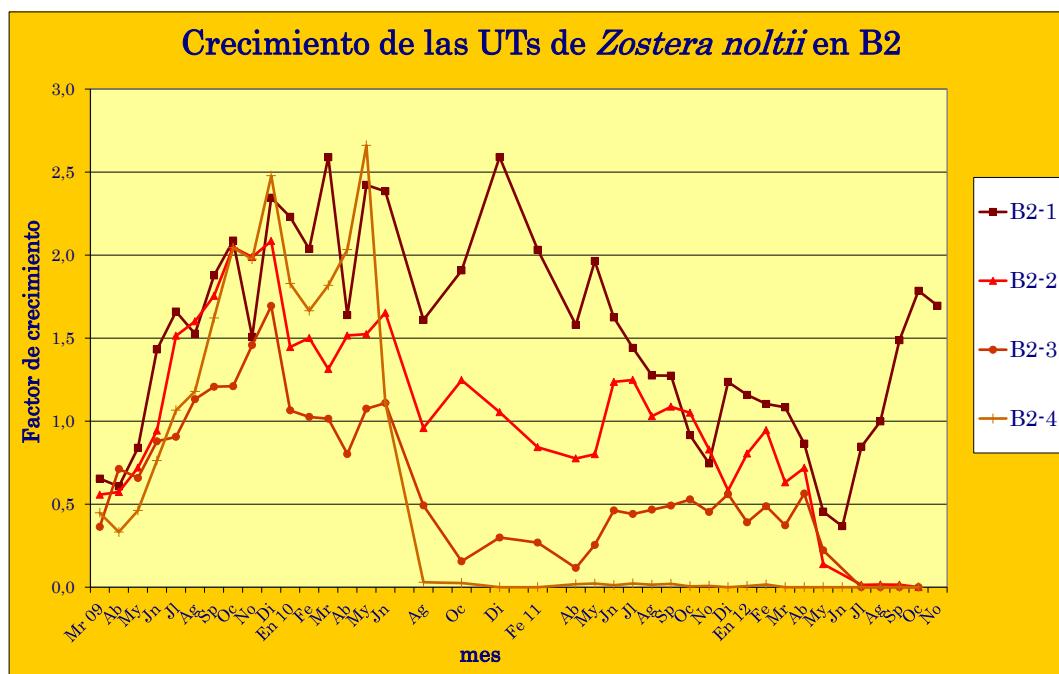


**Figura 1.** Evolución de la densidad de *Zostera noltii* trasplantada en el estuario del Butroe (B2). Promedio de las cuatro UTs, excepto: a partir de marzo 2012 (promedio de 3 UTs); a partir de junio 2012 (promedio de 2 UTs); y a partir de octubre 2012 (dato de una UT). Las barras representan la desviación típica.



**Figura 2.** Evolución de la densidad de *Zostera noltii* en cada una de las UTs en la zona fangosa B2, en el estuario del Butroe.

La Figura 3 muestra el crecimiento de las UTs en superficie, basándose en el factor de crecimiento (Tabla 1) calculado a partir de la comparación de la superficie ocupada en las visitas mensuales a la zona y la superficie trasplantada inicialmente ( $UT = 43 \times 28 \text{ cm} = 1204 \text{ cm}^2$ ). Los cálculos de superficie ocupada se realizan mediante el programa de tratamiento de imágenes ImageJ 1.42q anteriormente mencionado.



frecuencia de desplazamiento de sedimento y situaciones de enterramiento parcial, y con la aparición de una extensa capa del alga *Ulva* sp., que cubre gran parte de la zona. En la segunda mitad de 2012, parece que las UTs B2-2 y B2-3 no se recuperan y desaparecen, mientras que B2-1 vuelve a crecer hasta casi duplicar su superficie inicial.

**Tabla 1.** Factor de crecimiento (media y desviación típica, d.t.) de la superficie de las UTs trasplantadas de *Zostera noltii* en zona fangosa B2 del estuario del Butroe. Mes= meses transcurridos; n= nº de UTs. Nota: se han recalculado las superficies de los años 2009, 2010 y 2011 que, en previos informes, fueron calculados con otra metodología. Las celdas sombreadas indican la desaparición de alguna UT.

Mes	Fecha	B2			Mes	Fecha	B2		
		media	d.t.	n			media	d.t.	n
0,5	Abril 2009	0,51	0,13	4	25	Abril	0,62	0,72	4
1	Abril	0,56	0,16	4	26	Mayo	0,76	0,87	4
2	Mayo	0,67	0,16	4	27	Junio	0,83	0,73	4
3	Junio	1,00	0,29	4	28	Julio	0,79	0,67	4
4	Julio	1,29	0,36	4	29	Agosto	0,70	0,57	4
5	Agosto	1,36	0,24	4	30	Septiembre	0,72	0,57	4
6	Septiembre	1,61	0,29	4	31	Octubre	0,62	0,47	4
7	Octubre	1,85	0,43	4	32	Noviembre	0,51	0,37	4
8	Noviembre	1,73	0,29	4	33	Diciembre	0,79	0,38	3
9	Diciembre	2,15	0,35	4	34	Enero 2012	0,59	0,50	4
10	Enero 2010	1,64	0,50	4	35	Febrero	0,64	0,49	4
11	Febrero	1,56	0,42	4	36	Marzo	0,70	0,36	3
12	Marzo	1,68	0,69	4	37	Abril	0,72	0,15	3
13	Abril	1,50	0,51	4	38	Mayo	0,27	0,16	3
14	Mayo	1,92	0,75	4	39	Junio	0,37		1
15	Junio	1,56	0,60	4	40	Julio	0,43	0,59	2
17	Agosto	0,77	0,67	4	41	Agosto	0,51	0,69	2
19	Octubre	0,83	0,90	4	42	Septiembre	0,75	1,04	2
21	Diciembre	1,31	1,17	3	43	Octubre	1,78		1
23	Febrero 2011	1,05	0,90	3	44	Noviembre	1,69		1

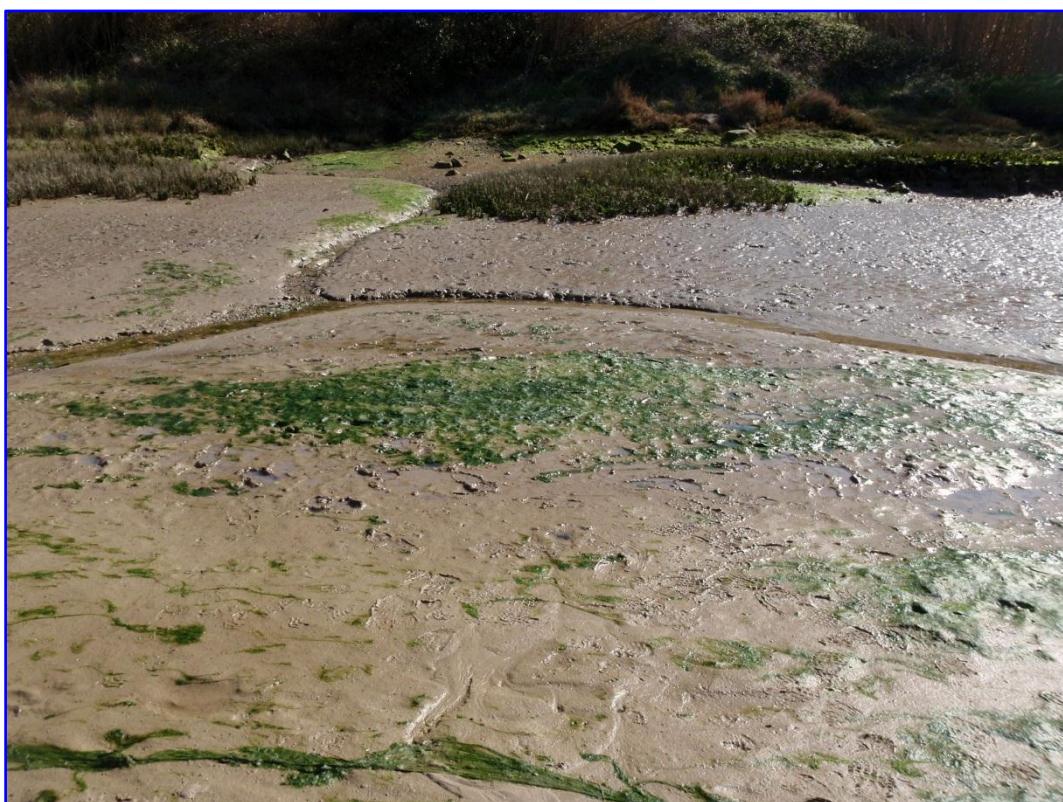
En definitiva, de las cuatro UTs trasplantadas inicialmente, se puede considerar que solamente sobrevive una, y actualmente presenta un buen aspecto (B2-1).

#### 4.1.2 Discusión

A lo largo de este año 2012 se han repetido los fenómenos de sedimentación detectados y mencionados en informes previos (Garmendia *et al.*, 2010b, 2011), es decir, durante los distintos meses, la capa superficial del sedimento presenta distinta textura: normalmente en invierno es más arenoso y a finales de verano y otoño, suele aparecer una capa de fango. Estas situaciones de enterramiento suelen repercutir directamente en la supervivencia de

*Zostera* que debe sobreponerse a este obstáculo y abrirse paso hacia la superficie para encontrar las condiciones adecuadas para el desarrollo de sus hojas.

En el año 2012 la aparición de *Ulva* sp. ha afectado directamente a la zona de los trasplantes, especialmente a las UTs B2-2 y B2-3 (Figura 4). Este fuerte crecimiento del alga se repite anualmente en primavera. En 2012, la aparición de esta alga se ha producido en el mes de marzo, formando una gruesa capa sobre una amplia superficie de la zona intermareal; esta capa ha ido degradándose pero ha permanecido hasta el mes de junio; en el mes de julio ya no se detecta *Ulva*, pero la capa subsuperficial de la zona afectada es de color negro intenso, probablemente debido a las condiciones generadas por la presencia y descomposición del alga (Figura 5).

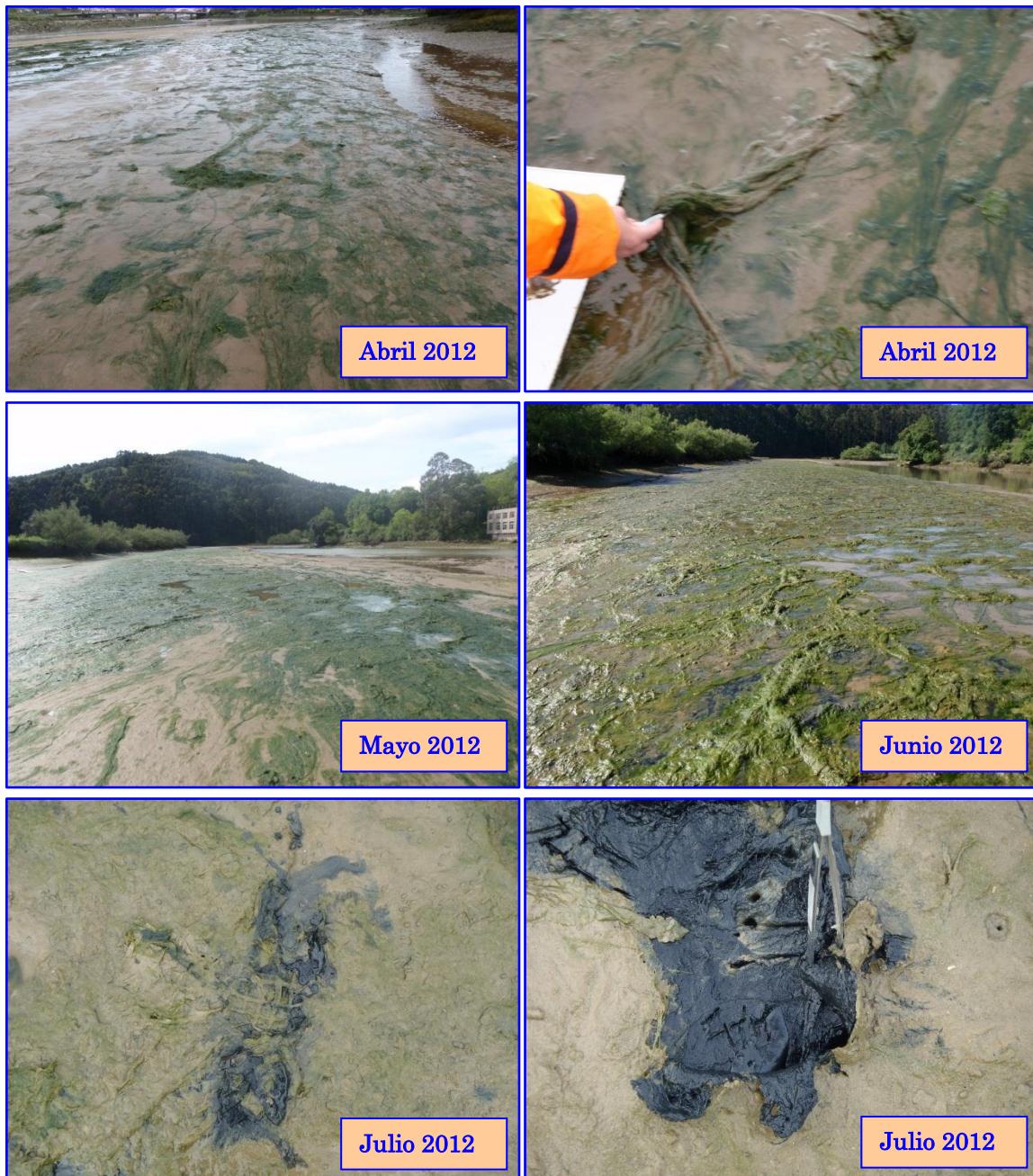


**Figura 4.** La zona B2 donde se encuentran las UTs trasplantadas en 2009 se encuentra cubierta por el alga *Ulva* sp. en marzo de 2012.

En referencia a la supervivencia de las UTs en el sedimento fangoso, en 2012 han desaparecido 3 de las 4 transplantadas. Una UT (B2-4) llevaba más de un año apenas con pocas hojas y a partir de marzo ya no se ha vuelto a ver. La desaparición de las otras dos (B2-2 y B2-3) puede achacarse al efecto del alga, ya que la completa desaparición de una UT y la

drástica disminución de la densidad de la otra UT han coincidido plenamente con la presencia de *Ulva* sobre ellas.

Por otro lado, tras 44 meses, en noviembre de 2012, una UT (B2-1) presenta un aceptable aspecto de sus hojas y una buena densidad, con una superficie 1,7 veces mayor que la inicial.



**Figura 5.** Presencia de *Ulva* sp. en 2012 en la zona intermareal del Butroe donde se están realizando los trasplantes de *Zostera noltii*.

A la vista de la variabilidad de los resultados obtenidos (especialmente en densidad) se demuestra que es necesario un seguimiento plurianual largo (al menos 5 años) antes de emitir unas conclusiones definitivas, tal y como sugieren algunos autores (Leschen *et al.*, 2010; Tanner *et al.*, 2010; Cunha *et al.*, 2012).

## 4.2 TRASPLANTE 3: BUTROE

Tanto la descripción de la ejecución del trasplante, como la localización de las zonas donante y receptoras, se encuentran debidamente detalladas en el informe correspondiente al año 2011 (Garmendia *et al.*, 2011). En dicho informe se exponen además los resultados obtenidos tras el seguimiento realizado durante los primeros meses post-trasplante.

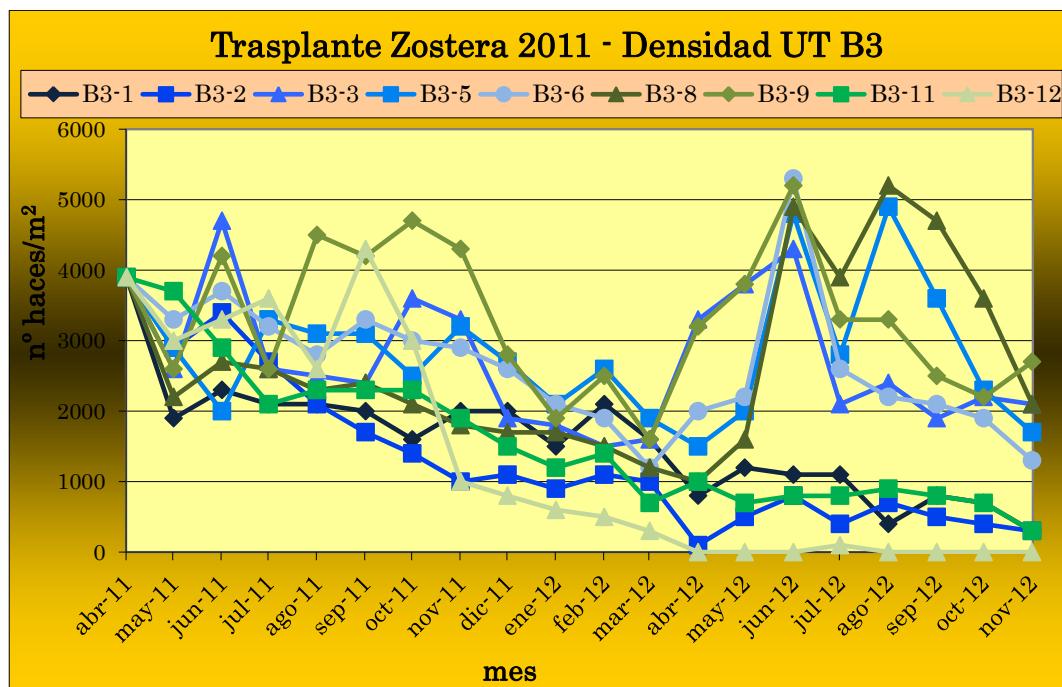
Durante el año 2012 se ha continuado realizando el seguimiento con la misma metodología empleada desde el inicio y, en el presente capítulo, se presentan los resultados correspondientes al desarrollo de las UTs hasta el momento, es decir, desde su trasplante en abril de 2011 hasta noviembre de 2012.

El seguimiento realizado ha seguido las mismas pautas que las explicadas en los informes de los años 2009, 2010 y 2011. A partir de la realización de los trasplantes en abril de 2011, esta zona receptora ha sido visitada con una periodicidad mensual con el fin de realizar el seguimiento de todas las UTs del mismo modo en que se hizo con los trasplantes previos. Así, en cada punto se realizaron fotografías de cada una de las UTs, para poder estimar el crecimiento horizontal y calcular el factor de crecimiento mediante un programa informático de tratamiento de imágenes. Además se calculó la densidad de haces de 9 UTs (todas excepto las tres que quedan en el interior del mosaico trasplantado) mediante el conteo de haces en un cuadrado de 10 x 10 cm. Finalmente, se midió la temperatura y potencial redox, dentro y fuera de cada una de las 9 UTs, para ver el posible efecto de la planta en dichas variables.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la mencionada zona, haciendo especial hincapié a la evolución del crecimiento horizontal, factor de crecimiento y densidad de haces experimentada por cada UT.

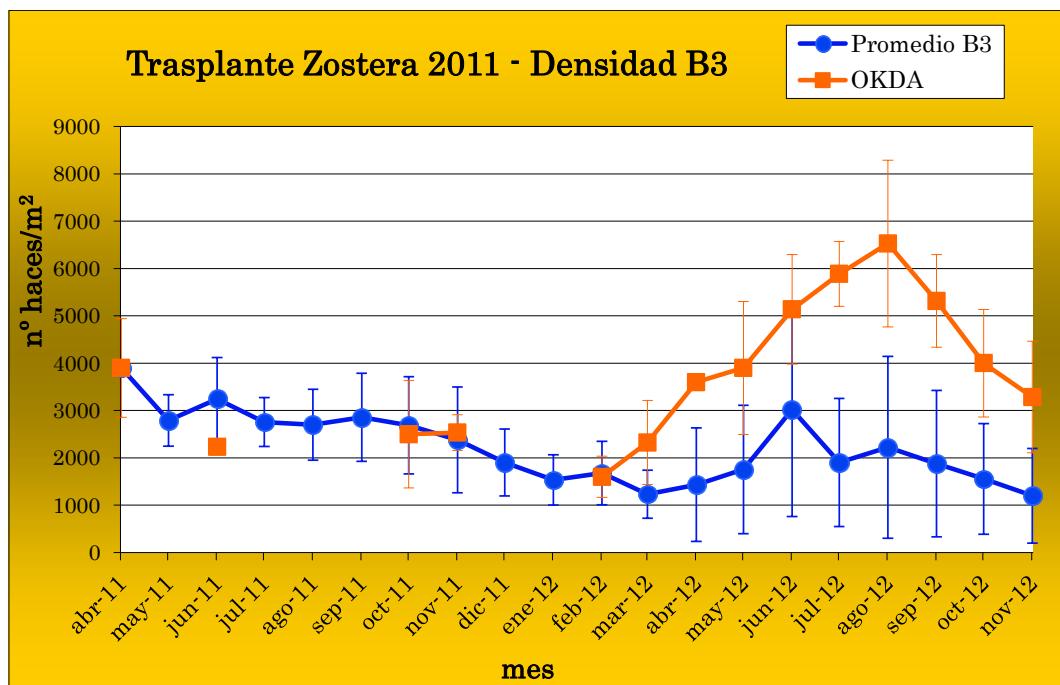
### 4.2.1 Seguimiento del trasplante

En la Figura 6 se ofrecen las evoluciones de las densidades máximas calculadas para las 9 UTs. Se observa un distinto comportamiento en las UTs: parece que hay un efecto de borde que resulta negativo ya que las UTs 1, 2, 11 y 12 (precisamente las que están en los extremos) presentan una tendencia descendente de su densidad. El resto de las UTs presentan densidades más elevadas y fluctuantes.



**Figura 6.** Evolución de la densidad de haces en cada una de las UTs transplantadas en 2011 en la zona B3 del Butroe.

Atendiendo a los valores promedio (Figura 7), la tendencia general señala un progresivo y ligero descenso durante el año 2011. Sin embargo, en el año 2012 parecen estabilizarse los valores y se aprecia la misma tendencia observada en la población donante de Oka (OKDA) aunque con valores bastante más atenuados.



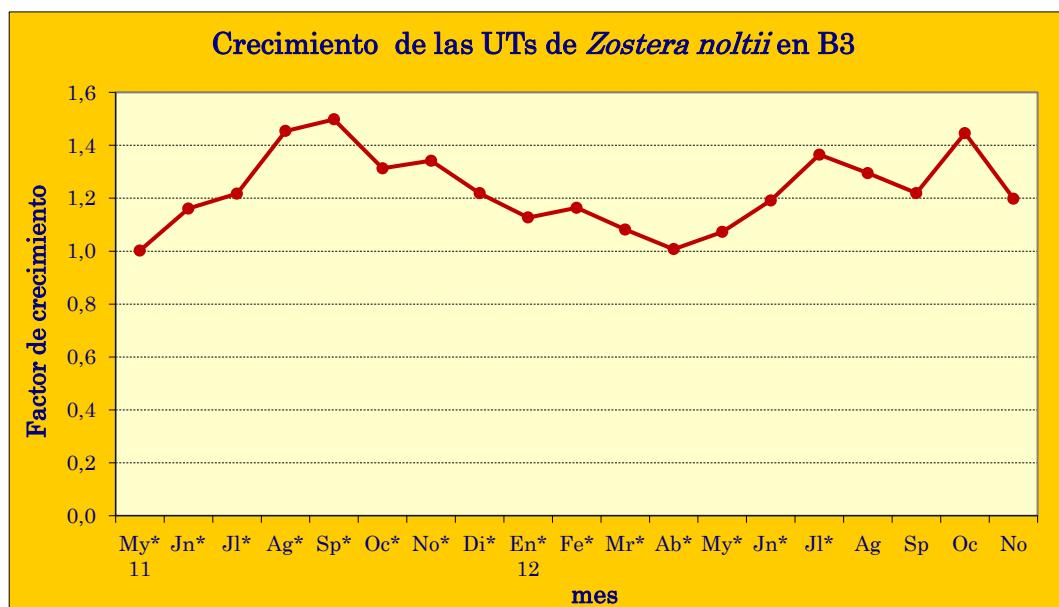
**Figura 7.** Evolución del promedio de la densidad de haces en 9 de las 12 UTs trasplantadas en 2011 a la zona B3 del Butroe y en la población donante del Oka (OKDA). Las barras representan la desviación típica.

Si bien durante el primer año se estimó la superficie ocupada para cada una de las UTs y posteriormente se calculó el promedio de los factores de crecimiento, la fusión actual de algunas UTs dificulta enormemente la aplicación de la misma metodología, por lo que se modifica el modo de cálculo del factor de crecimiento: ahora, a partir de las fotografías obtenidas, se calcula el total de la superficie ocupada por las UTs y se compara con el total trasplantado (Tabla 2).

**Tabla 2.** Factor de crecimiento (FC) de la superficie de las UTs trasplantadas en 2011 a la zona B3 del Butroe. Superficie total (ST) de 9 UTs 9234 cm<sup>2</sup> y de 12 UTs 12312 cm<sup>2</sup>; n número de UTs considerado en el cálculo de la ST. Las celdas sombreadas indican la desaparición de alguna UT.

B3					B3				
Mes	Fecha	ST (cm <sup>2</sup> )	FC	n	Mes	Fecha	ST (cm <sup>2</sup> )	FC	n
1	Mayo 2011	9254	1,00	9	11	Marzo	9989	1,08	9
2	Junio	10719	1,16	9	12	Abril	9303	1,01	9
3	Julio	11240	1,22	9	13	Mayo	9902	1,07	9
4	Agosto	13426	1,45	9	14	Junio	11004	1,19	9
5	Septiembre	13834	1,50	9	15	Julio	12601	1,36	9
6	Octubre	12126	1,31	9	16	Agosto	15944	1,29	12
7	Noviembre	12390	1,34	9	17	Septiembre	15013	1,22	12
8	Diciembre	11254	1,22	9	18	Octubre	17802	1,45	12
9	Enero 2012	10405	1,13	9	19	Noviembre	14753	1,20	12
10	Febrero	10748	1,16	9					

En general, la superficie total se mantiene cercana a los valores iniciales. Durante estos 18 meses se observa un crecimiento de la superficie total en los meses de verano y una disminución de su extensión en invierno (Figura 8).



**Figura 8.** Incremento (factor de crecimiento) de la superficie total de *Zostera noltii* trasplantada en 2011 en B3. \*Cálculo realizado con superficie total de 9 UTs.

A continuación, en la Figura 9 se muestran algunas fotografías generales de la zona B3 a lo largo del año 2012. En éstas puede observarse el aspecto de los trasplantes, la aparición y acumulación de *Ulva* sp. y la presencia de material vegetal.

En resumen, el resultado del seguimiento realizado durante estos primeros 19 meses tras el trasplante nos ofrece la imagen de una supervivencia aún esperanzadora. Por un lado, se ha observado un ligero descenso de la densidad inicial y un mantenimiento en valores bajos. Por otro lado, también se ha dado un desarrollo horizontal general lento (en noviembre la superficie total es 1,2 veces mayor a la transplantada), con un probable “efecto borde” en las UTs más externas (no se ha visto ninguna hoja en la UT 12 desde agosto y el estado de las UTs 2 y 11 es bastante negativo). Por último, algunas UTs ya han comenzado a fusionarse, lo cual compensa las pérdidas comentadas.



**Figura 9.** Evolución en 2012 de la zona B3 (trasplante de 2011) del Butroe.

#### 4.2.2 Discusión

Teniendo en cuenta la experiencia propia con el trasplante de 2009 en la zona B1 y B2, donde se ha constatado la gran variabilidad interanual existente tanto en las condiciones ambientales de la zona como en el desarrollo de las UTs, y de acuerdo con otros autores

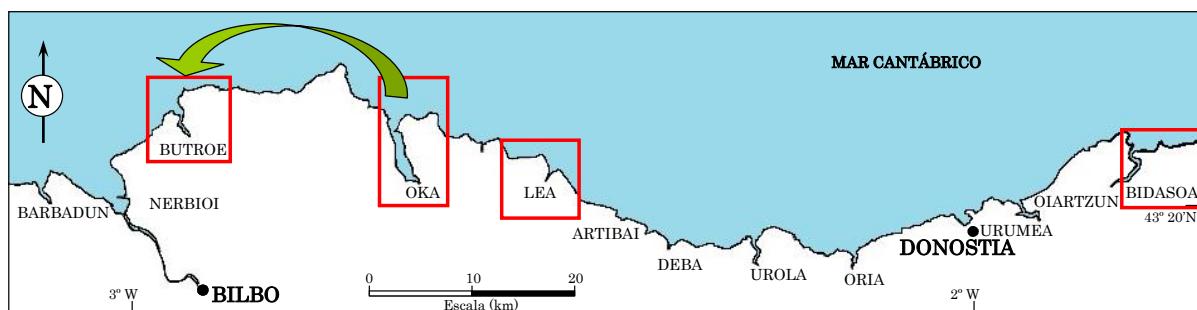
(Leschen *et al.*, 2010; Tanner *et al.*, 2010; Cunha *et al.*, 2012), aún es demasiado pronto para emitir conclusiones fiables sobre el resultado del trasplante ejecutado en B3 en el año 2011. Debe proseguirse con su seguimiento durante los años venideros.



**Figura 9 (continuación).** Evolución en 2012 de la zona B3 (trasplante de 2011) del Butroel.

### 4.3 TRASPLANTE 4: BUTROE

Este año 2012 también se ha realizado una nueva actuación de trasplante, para lo cual se ha vuelto a elegir el estuario del Butroe como zona receptora (Figura 10). Se han trasladado algunos ejemplares de *Zostera noltii* de una población natural situada en Arketas (estuario del Oka) a zonas actualmente desprovistas de estas praderas, que han sido previamente identificadas como hábitat idóneo para su desarrollo (Garmendia *et al.*, 2010c).



**Figura 10.** Estuarios implicados en el trasplante ejecutado en 2012: Oka y Butroe.

El objetivo planteado para este año es identificar el número de parches o UTs mínimo necesario para garantizar la supervivencia y desarrollo de la pradera trasplantada. En la actualidad se dispone de 2 zonas con pradera (4 UTs y 12 UTs trasplantadas en 2009 y 2011, respectivamente) con sedimento arenoso-fangoso y relativamente protegidas frente al efecto del canal principal del río. Siguiendo el mismo criterio del año pasado, el presente año 2012 se ha seleccionado el mismo tipo de sedimento para recibir, 8 UTs por un lado, y 20 UTs por otro. De esta manera se podrá realizar el seguimiento del desarrollo de 4 trasplantes de distinto tamaño (4, 8, 12, y 20 UTs) sobre un mismo tipo de fondo.

#### 4.3.1 Labores de trasplante

##### 4.3.1.1 Extracción en la zona donante. Arketas (Oka)

El 22 de marzo de 2012, aprovechando una bajamar de 0,97 m (10:42 h), se llevó a cabo la extracción de las UTs para su posterior traslado a la zona previamente seleccionada del estuario receptor (Butroe). La tarea consistió en extraer un total de 28 UTs de sedimento de

una superficie de 27x38 cm<sup>2</sup> que contenían ejemplares de *Zostera noltii* y cuya profundidad era de 10-15 cm. La zona donante está ubicada en el estuario del Oka, en Arketas. Esta zona alberga una pradera que se desarrolla sobre sustrato fangoso en la parte más interna de la ensenada y sobre sustrato arenoso en la parte más externa y cercana al canal principal del río. Se eligió como donante la zona arenosa que presenta una cota cercana a 1,5 m sobre el nivel 0 de marea (Figura 11).

La metodología empleada en el trasplante (tanto para la extracción como para la plantación) fue la misma que la utilizada en los trasplantes del Butroe en los años 2009 y 2011, y en el Oka en el año 2010 (véanse Garmendia *et al.*, 2010a, 2010b, 2011). Se intentó provocar el menor daño posible en la zona donante y además, evitar el posible efecto borde que impediría el seguimiento posterior de la recuperación de la zona impactada. Para ello, se inició la extracción ligeramente al interior del borde de la pradera y, aprovechando el agujero realizado para la extracción de la primera UT, se continuó extrayendo sucesivamente los restantes trozos de sedimento en una misma dirección y buscando la obtención de UTs con cubierta vegetal homogénea. La extracción de las 28 UTs originó una zanja en forma de "L" de, aproximadamente, 10-15 cm de profundidad y 0,4 m de ancho (con una superficie total de parche útil extraído de 2,87 m<sup>2</sup>). Estas labores produjeron también cierta alteración del sedimento circundante a causa del pisoteo (Figura 12 y Figura 13).

Al inicio de esta jornada se trajeron tres UTs (llamados controles: OK-C1, OK-C2 y OK-C3) en el borde la pradera natural, que se mantuvieron en sus cajas respectivas hasta finalizar con la obtención de las 28 UTs para trasplantar (Figura 14). Una vez extraídas las 28 UTs, los controles fueron introducidos en el mismo lugar de donde fueron extraídos, señalándose con unas estacas de madera con cintas de color para facilitar su visualización en el seguimiento posterior. Estos controles servirán para evaluar el impacto que sufren los parches por el estrés que supone su extracción, manipulación y trasplante.

Las 28 UTs fueron introducidas individualmente en cajas de madera y fueron transportadas por carretera al estuario receptor (Butroe), donde se dejaron ancladas al sustrato de la zona intermareal para pasar la noche en el área de influencia mareal (Figura 15). Al día siguiente, de nuevo con la bajamar, se procedió a la introducción de las UTs dentro del sedimento.



**Figura 11.** A. Estuario del Oka señalando con el recuadro verde la zona de Arketas. B. Vista más detallada de la zona de Arketas en el estuario del Oka. La línea azul señala la pradera de *Zostera noltii* en octubre de 2008; en verde la pradera en octubre de 2010; en rojo se indica el área más elevada.



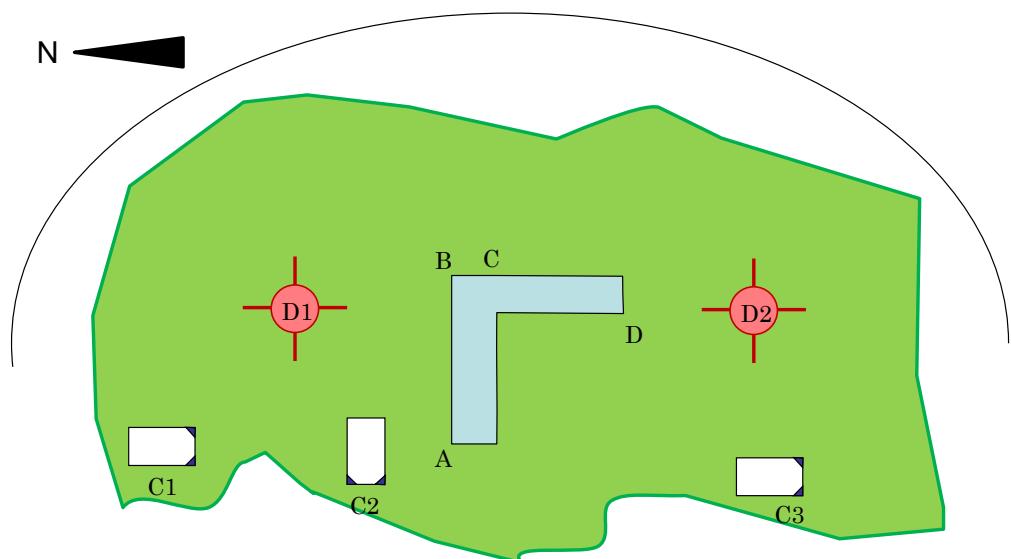
**Figura 12.** Secuencia de fotografías de la extracción de las unidades de trasplante (UT) en 2012.



**Figura 12 (continuación).** Secuencia de fotografías donde se muestra la zanja provocada por la extracción de las unidades de trasplante, el estado final con la zanja rellenada y la visión general de la zona donde se refleja el impacto del pisoteo.



**Figura 12 (continuación).** Secuencia de fotografías donde se muestra la zanja provocada por la extracción de las unidades de trasplante, antes y después de rellenarse con arena.



**Figura 13.** Esquema de la zanja producida por la extracción de las UTs en la zona donante (en azul) y situación relativa de las UTs utilizadas como control de la metodología empleada (C1, C2, C3). D1 y D2 son puntos de referencia utilizados para estimar la densidad de la población durante el seguimiento mensual. Las dimensiones de la zanja y UTs, así como sus distancias no están proporcionadas. La curva de la parte superior representa la orilla de la ensenada de Arketas.



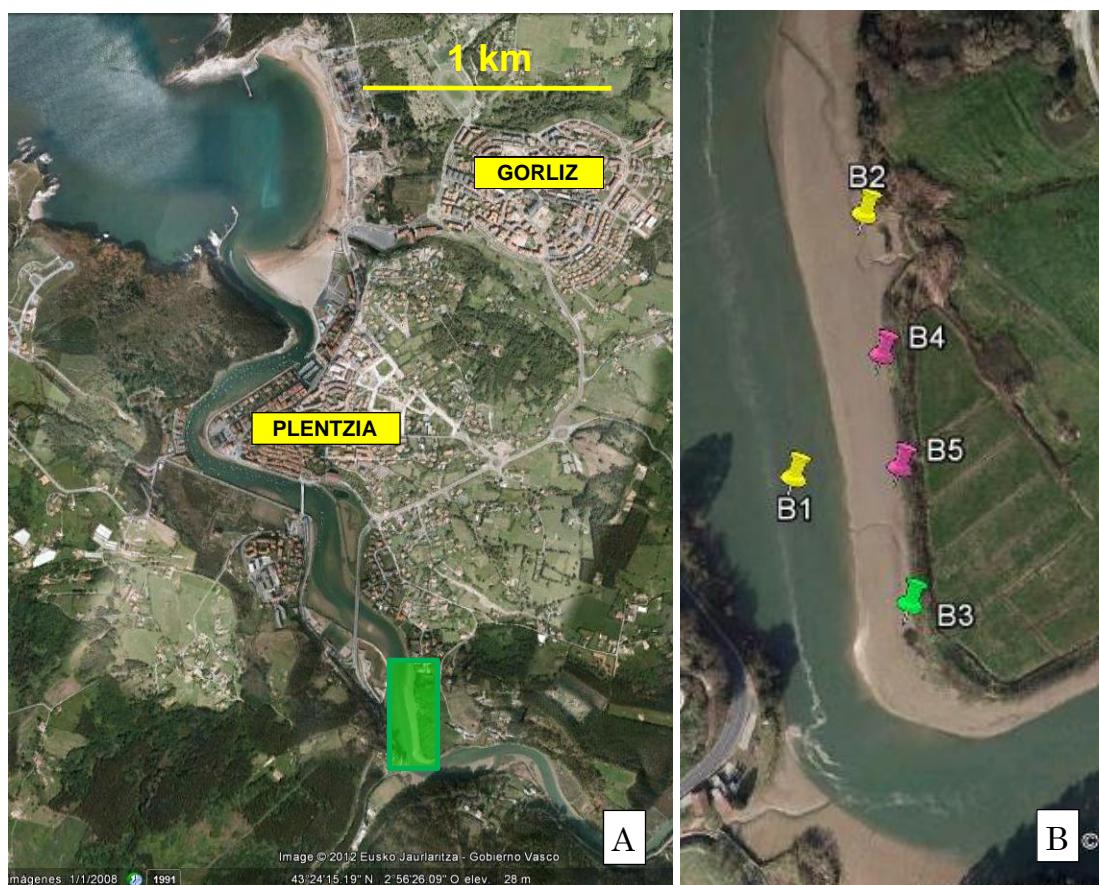
**Figura 14.** Parche control extraído, esperando a ser colocado en sus agujeros de origen, y por último, una vez recolocado en su lugar.



**Figura 15.** UTs en Plentzia, estuario del Butroe, preparadas para pasar la noche y ser trasplantadas al día siguiente.

#### 4.3.1.2 Trasplante a la zona receptora. Plentzia (estuario del Butroe)

Tras pasar la noche en el estuario receptor, las 28 UTs fueron trasladadas a la zona receptora (Figura 16 y Figura 17). El traslado de las UTs (dentro de cajas de madera) desde el punto de trasnoche hasta el punto receptor se hizo a pie con la ayuda de una carretilla. Esta vez, al igual que en 2011, se eligió una zona de sedimento mixto (arena fangosa) y en una ubicación relativamente protegida respecto a la influencia del canal principal del río, con la intención de evitar en la medida de lo posible el impacto de una posible futura riada. Además, estas UTs fueron colocadas todas juntas, con una distancia aproximada entre ellas de una UT (Figura 18). De esta manera, se pretende obtener un único parche grande con la mayor rapidez posible, para contribuir a una supervivencia y desarrollo con mayores garantías, ya que se entiende que cuanto mayor sea la mancha o la pradera, afrontará mejor las dificultades asociadas a un medio tan variable y exigente como es el estuario.

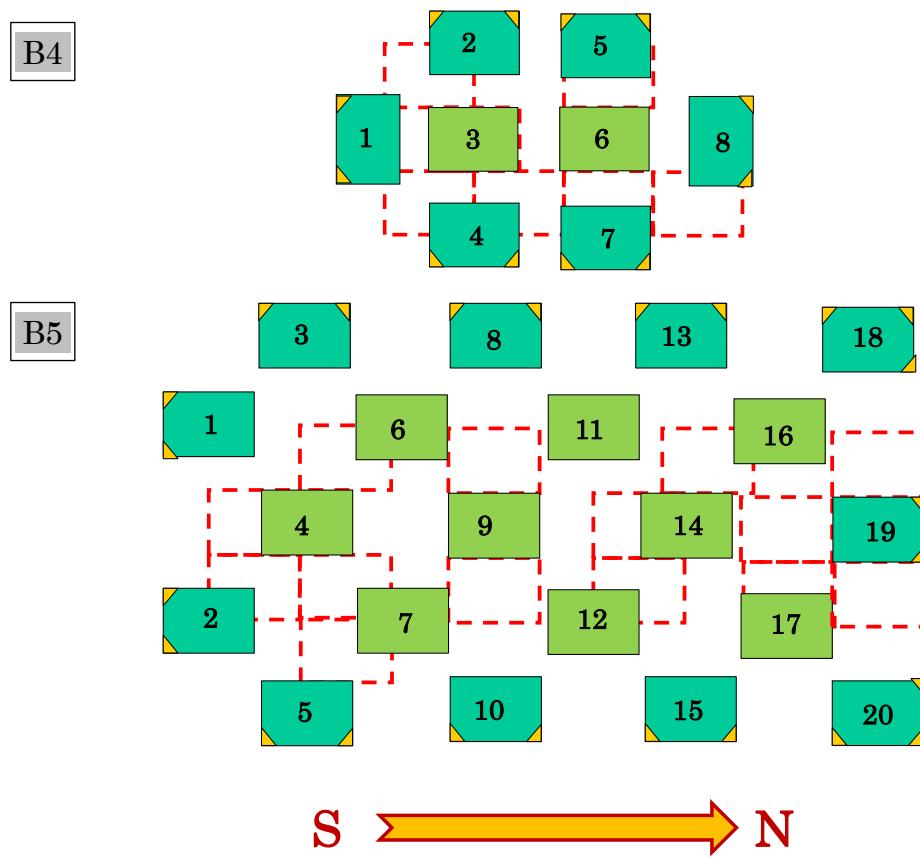


**Figura 16.** A. Estuario del Butroe señalando con el recuadro verde la zona de trasplante. B. Zona de Junkera en el estuario del Butroe: trasplantes de 2009 (B1, B2), 2011 (B3) y 2012 (B4, B5).



**Figura 17.** Zona receptora del estuario del Butroie en 2012: vista panorámica de la zona intermareal y marcas en la arena debido al transporte de las UTs.

El punto receptor fue georreferenciado y cada UT fue señalizada mediante estacas de madera (Figura 18) para facilitar su localización en las posteriores visitas de seguimiento, cuyo fin es evaluar el desarrollo de los ejemplares trasplantados y el nivel de éxito de la actuación ejecutada.



**Figura 18.** Distribución de las unidades de trasplante (UT) en las dos zonas receptoras (B4 y B5) del estuario del Butroie en el trasplante de 2012. En naranja, las estacas de madera introducidas para la localización de las UTs.



**Figura 19.** Secuencia de fotografías donde se muestra la labor del trasplante de las UTs en el estuario del Butroe en 2012.

Como consecuencia de esta actuación no se generaron residuos en el estuario del Butroe y lo único que se introdujo en el medio fueron unas estacas de madera de unos 20 cm de longitud (2 por UT) y unas tablillas de madera fácilmente biodegradables que quedaron enterradas en el fondo de cada UT.

En la Figura 19, Figura 20 y Figura 21 pueden verse las labores de trasplante ejecutadas el 23 de marzo de 2012.



**Figura 20.** Resultado de las 8 UTs transplantadas en la zona B4 (estuario del Butroe, 2012).



**Figura 21.** Resultado de las 20 UTs trasplantadas en la zona B5 (estuario del Butroe, 2012).

#### 4.3.2 Caracterización de las zonas donante y receptoras

De forma paralela, tanto en la zona donante como en las zonas receptoras, se tomaron medidas de temperatura y potencial redox en campo y se tomaron muestras de sedimento para su posterior análisis en el laboratorio de la composición granulométrica y el contenido

de metales, así como para la identificación de la macrofauna dominante en la zona (Figura 22).



**Figura 22.** *Zostera noltii* en la zona donante (el cuadrado pequeño mide 10x10 cm y se usa para calcular la densidad); una muestra de sedimento (dentro del bote); medida del potencial redox y temperatura en el sedimento; tamizado de la muestra para la extracción de la macrofauna.

A continuación se exponen los resultados obtenidos el 22 de marzo de 2012 en el punto donante del Oka (OK-DA) y el 23 de marzo de 2012 en los puntos receptores del Butroe (se tomaron dos réplicas al inicio y final de cada mancha: B4-2, B4-7, B5-2 y B5-18)(Tabla 3 y Figura 23).

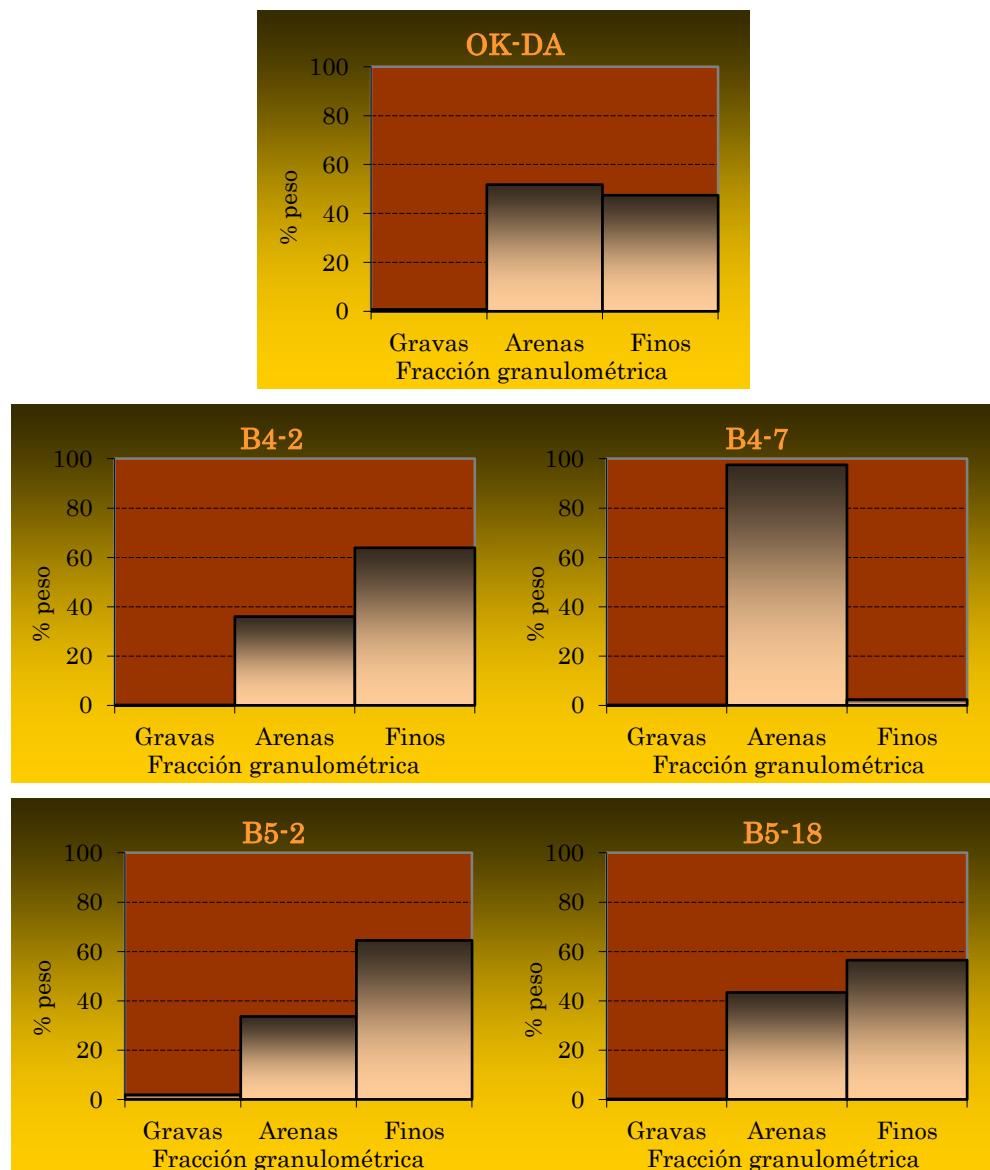
**Tabla 3.** Parámetros sedimentológicos correspondientes a la zona donante en el Oka (OK-DA) y receptoras en el Butroe (B4-, B4-7, B5-2 y B5-18) del trasplante de *Zostera noltii*: Gravas, Arenas y Finos; contenido en materia orgánica (m.o.); temperatura (Temp) y potencial redox (Eh) en sedimento; Compuestos orgánicos (COP: carbono orgánico particulado; NOP: nitrógeno orgánico particulado; C/N: relación carbono/nitrógeno) y metales en la fracción inferior a 0,063 mm del sedimento.

Estación	Gravas %	Arenas %	Finos %	m.o. %	Temp °C	Eh mV	NOP %	COP %	C/N mol
OK-DA	0,75	51,79	47,45	1,7	12,9	92	0,22	3,51	18,4
B4-2	0,12	36,00	63,88	6,12	11,8	203	0,15	2,00	15,7
B4-7	0,14	97,51	2,35	2,1	11,8	146	0,12	2,10	21,0
B5-2	1,89	33,63	64,48	1,66	11,6	120	0,18	2,39	15,7
B5-18	0,17	43,37	56,46	3,7	11,9	169	0,17	2,37	16,2

Estación	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Cr mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	As mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg
OK-DA	0,28	26,26	55,95	40,71	22,88	0,23	23,21	99,8	782,7	31724
B4-2	0,13	21,25	33,81	29,95	18,64	0,12	6,59	115,9	234,9	28503
B4-7	0,10	14,22	29,26	28,14	8,80	0,10	8,96	92,2	315,3	27839
B5-2	0,14	21,98	14,68	28,07	13,84	0,17	6,31	120,8	220,2	26403
B5-18	0,13	17,87	13,29	29,71	4,29	0,13	6,39	106,8	264,7	25671

En cuanto a la granulometría el sedimento de la zona donante es mixto, es decir, arenoso y fangoso en similares proporciones. En el Butroe la zona presenta arena fangosa. Los sedimentos del Butroe presentan un mayor contenido en materia orgánica. En principio, la diferencia granulométrica no se considera un impedimento para que *Zostera noltii* pueda sobrevivir, ya que esta planta presenta poblaciones tanto en sedimentos más arenosos como más fangosos que los de OK-D (Garmendia *et al.*, 2008).

Respecto al contenido en metales, excepto para el zinc, el Oka presenta valores más elevados que el Butroe.



**Figura 23.** Composición granulométrica de la zona donante (OK-DA) y receptoras (B4-2, B4-7, B5-18) del trasplante: porcentajes de cada fracción granulométrica.

La zona donante presenta claramente una mayor riqueza faunística que las zonas receptoras, siendo los gasterópodos *Bittium reticulatum* e *Hydrobia ulvae* (especies muy asociadas con la presencia vegetal de fanerógamas y algas) las especies que muestran mayores densidades (Tabla 5). La elevada dominancia por parte de las especies mencionadas provoca la obtención de valores bajos de diversidad (Tabla 4).

Las dos zonas receptoras son pobres en lo que a composición faunística se refiere, pero presentan sus peculiaridades: en el Butroe, la presencia del gusano *Hediste diversicolor* y el

crustáceo isópodo *Cyathura carinata* reflejan el importante contenido de la fracción fina en el sedimento y las larvas de insectos indican la influencia del agua dulce (Tabla 4 y Tabla 5).

**Tabla 4.** Parámetros estructurales de la fauna en la zona donante del Oka (OK-DA) y receptoras del Butroe (B4-1, B4-8, B5-1 y B5-19) del trasplante: Riqueza Específica (RE) en número de especies, Abundancia (Abund) en número de individuos en la muestra, Densidad (nº ind m<sup>-2</sup>), Diversidad de Shannon (H) y Equitatividad de Pielou (J).

Estación	RE nº esp	Abund nº ind	Dens ind m <sup>-2</sup>	H Bit ind <sup>-1</sup>	J
OK-DA	8	596	5809	1,04	0,35
B4-1	6	189	1842	1,07	0,41
B4-8	6	449	4376	0,41	0,20
B5-1	4	509	4961	0,41	0,20
B5-19	7	357	3480	0,81	0,29

**Tabla 5.** Listado de la fauna encontrada en diferentes muestras correspondientes a las zonas donante (OK-DA) y receptoras (B4-1, B4-8, B5-1 y B5-19) del trasplante de *Zostera noltii*.

OK-DA	ind m <sup>-2</sup>	B4-1	ind m <sup>-2</sup>	B4-8	ind m <sup>-2</sup>
<i>Bittium reticulatum</i>	4581	<i>Hydrobia ulvae</i>	1433	<i>Hydrobia ulvae</i>	4191
<i>Hydrobia ulvae</i>	887	<i>Cyathura carinata</i>	283	<i>Hediste diversicolor</i>	78
<i>Nephthys hombergii</i>	127	<i>Hediste diversicolor</i>	78	<i>Cyathura carinata</i>	58
<i>Nassarius reticulatus</i>	117	Larva insecto	19	<i>Leptocheirus pectinatus</i>	19
<i>Nassarius nitidus</i>	58	<i>Leptocheirus pectinatus</i>	19	<i>Scrobicularia plana</i>	19
<i>Abra alba</i>	19	Nemertino indet.	10	<i>Bathyporeia sarsi</i>	10
<i>Diopatra neapolitana</i>	10				
<i>Parvicardium ovale</i>	10				
B5-1	ind/m <sup>2</sup>	B5-19	ind/m <sup>2</sup>		
<i>Hydrobia ulvae</i>	4659	<i>Hydrobia ulvae</i>	3031		
<i>Cyathura carinata</i>	175	<i>Cyathura carinata</i>	205		
<i>Hediste diversicolor</i>	107	<i>Hediste diversicolor</i>	127		
Larva insecto	19	Larva insecto	49		
		<i>Leptocheirus pectinatus</i>	39		
		<i>Acteon tornatilis</i>	19		
		<i>Scrobicularia plana</i>	10		

#### 4.3.3 Seguimiento de los trasplantes

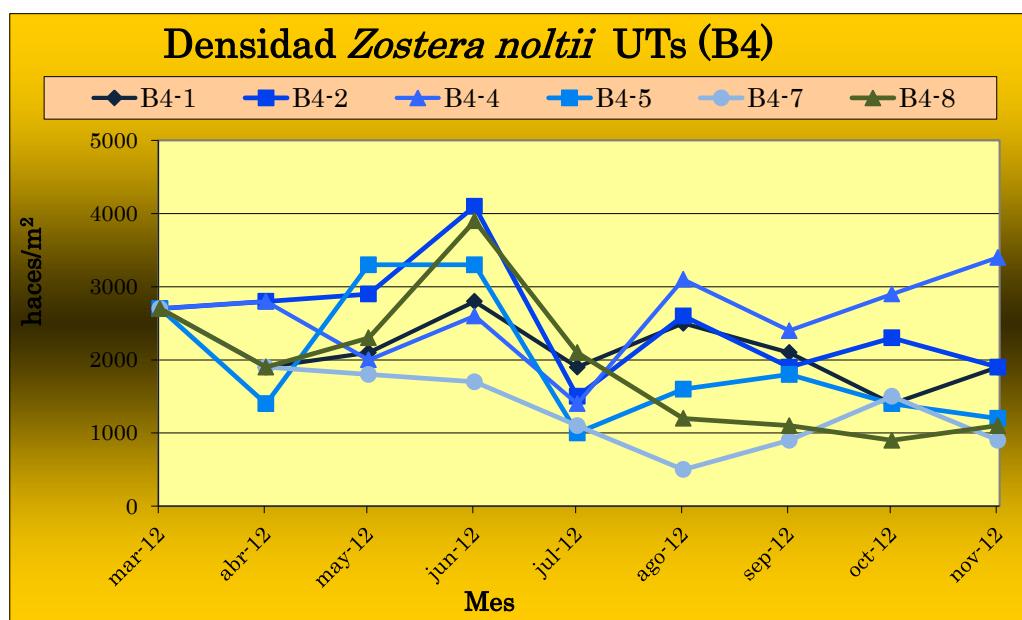
##### 4.3.3.1 Zona receptora B4: Plentzia (estuario del Butroe)

A partir de la realización de los trasplantes en marzo de 2012, esta zona receptora de 8 UTs ha sido visitada con una periodicidad mensual con el fin de realizar el seguimiento de todas las UTs del mismo modo en que se hizo con los trasplantes previos. Esto es, en cada punto se realizaron fotografías de cada una de las UTs para poder estimar el crecimiento

horizontal y calcular el factor de crecimiento mediante un programa informático de tratamiento de imágenes, se calculó la densidad de haces de 6 UTs (todas excepto las 2 que quedan en el interior del mosaico trasplantado) mediante el conteo de haces en un cuadrado de 10 x 10 cm, y se midió la temperatura y potencial redox dentro y fuera de cuatro UTs para ver el posible efecto de la planta en dichas variables.

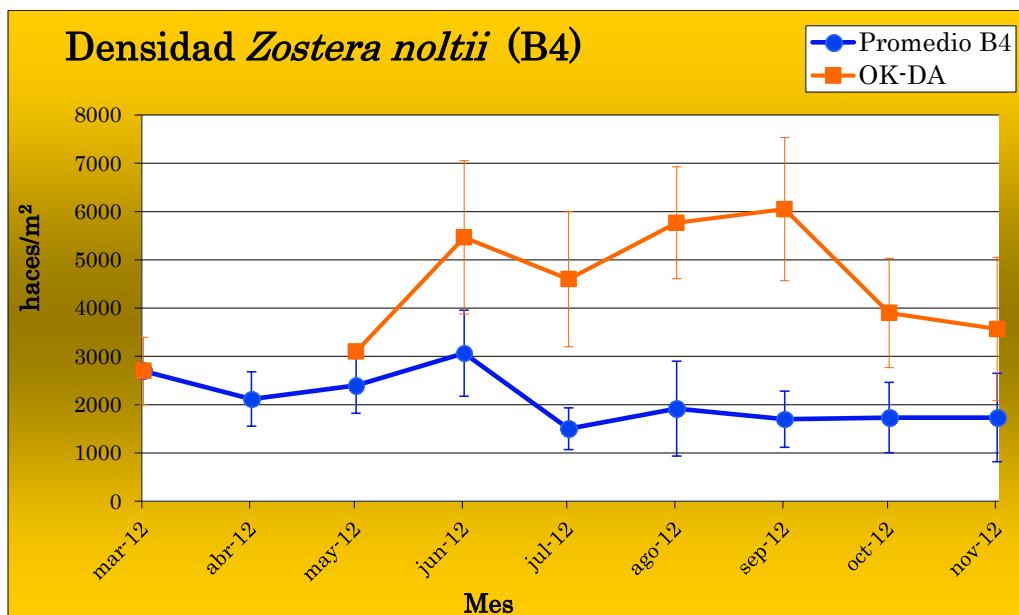
En la Figura 24 se representa la evolución de las densidades máximas calculadas para cada una de las 6 UTs. Se observa bastante variabilidad espacial y temporal en el comportamiento de las UTs.

Atendiendo a los valores promedio (Figura 25) de estas 6 UTs, la tendencia general indica un descenso inicial muy leve y un mantenimiento posterior, siempre con valores inferiores a los observados en la población donante.

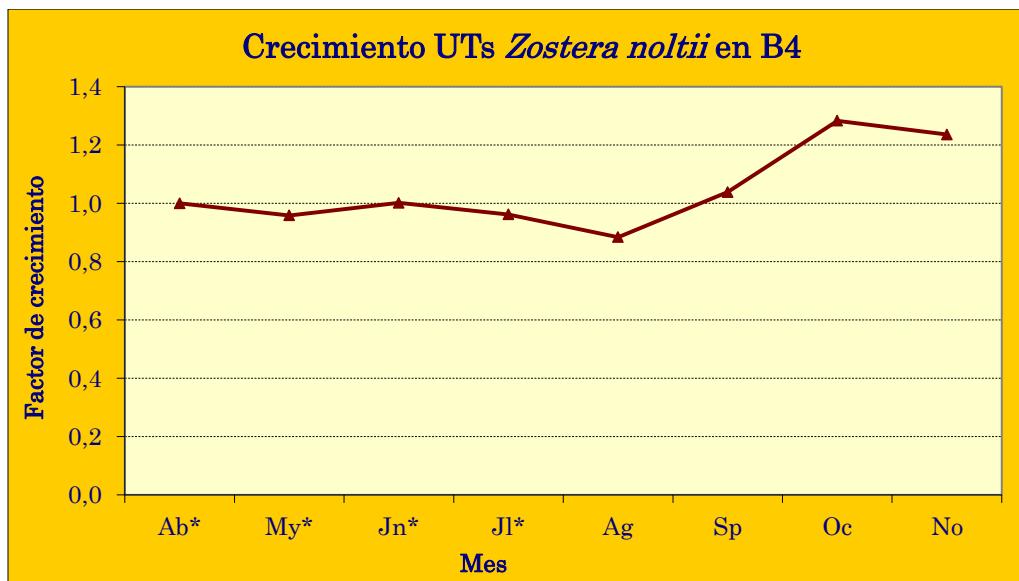


**Figura 24.** Evolución de la densidad de haces en cada una de las UTs de la zona B4 del Butroe en el trasplante de 2012.

En general, el crecimiento horizontal no está siendo muy rápido durante estos primeros meses tal y como se observa en la Figura 26. En ésta se representa el factor por el cual se ha visto multiplicada el área total trasplantada. En los meses iniciales, donde el cálculo se ha realizado en base a la superficie total de 6 UTs (señalado con asterisco), la superficie total se ha mantenido estable; mientras que a partir de agosto, la superficie total comienza a ser superior a la transplantada.



**Figura 25.** Evolución del promedio de la densidad de haces en 6 de las 8 UTs de la zona B4 del Butroe en el trasplante de 2012. Las barras representan la desviación típica.



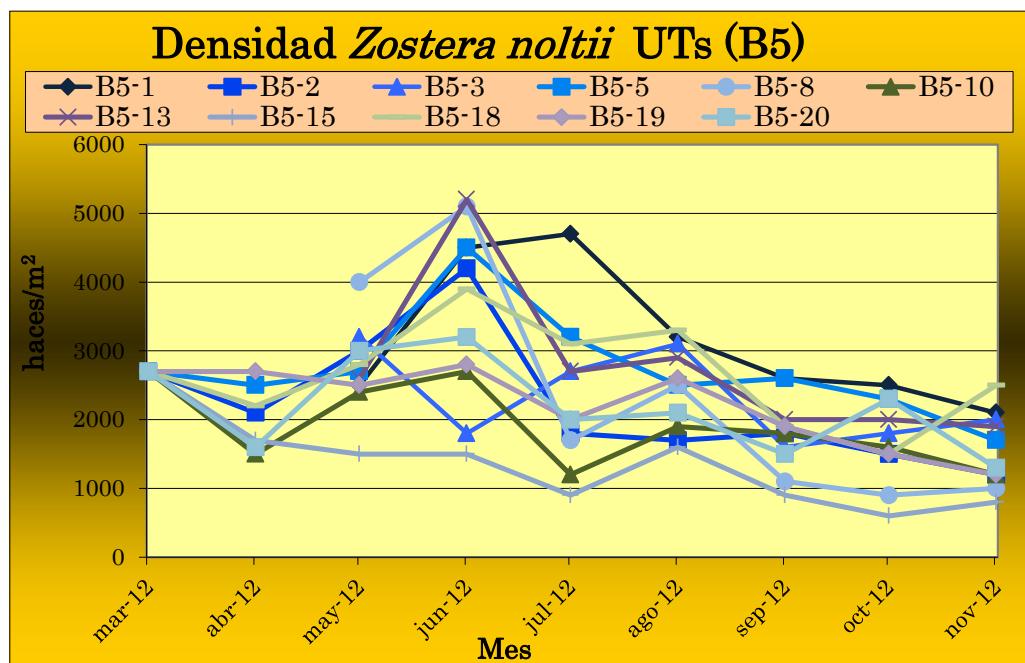
**Figura 26.** Evolución del factor de crecimiento de las UTs en el trasplante de 2012 en B4. Estimación para el área total de 6 UTs (meses con asterisco) y el área total de 8 UTs (meses sin asterisco).

#### 4.3.3.2 Zona receptora B5: Plentzia (estuario del Butroe)

A partir de la realización de los trasplantes en marzo de 2012, esta zona receptora de 20 UTs ha sido visitada con una periodicidad mensual con el mismo objetivo que en el caso de la zona B4: en cada punto se realizaron fotografías de cada una de las UTs para poder

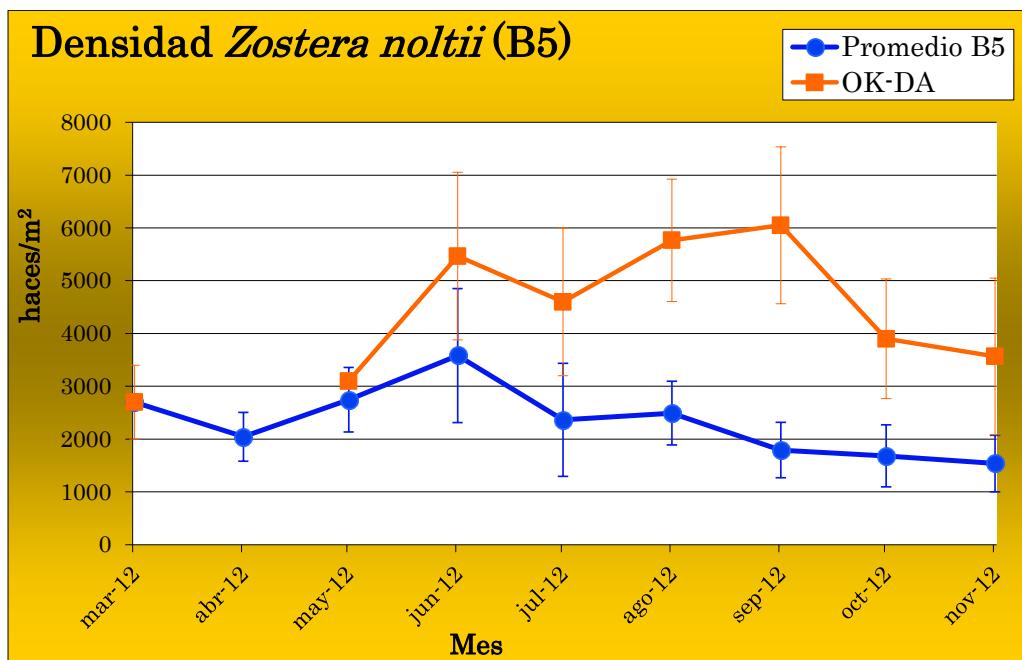
estimar el crecimiento horizontal y calcular el factor de crecimiento, y se calculó la densidad de haces de 11 UTs del mismo modo que en B4.

En la Figura 27 se representa la evolución de las densidades de haces calculadas para las 11 UTs. Atendiendo a los valores promedio (Figura 28) de estas 11 UTs, tras un incremento inicial, la tendencia general indica una disminución progresiva de la densidad, siempre con valores inferiores a los observados en la población donante.

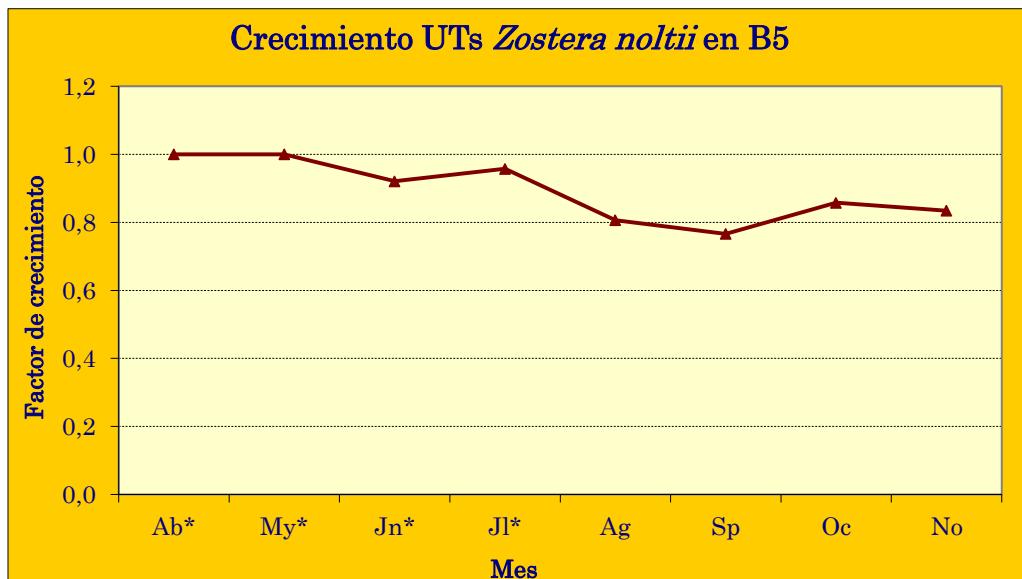


**Figura 27.** Evolución de la densidad de haces en cada una de las UTs de la zona B5 del Butroe en el trasplante de 2012.

Respecto al crecimiento horizontal, el área total ocupada por las UTs ha ido disminuyendo poco a poco, ocupando en noviembre el 80% de la superficie trasplantada (Figura 29).



**Figura 28.** Evolución del promedio de la densidad de haces en 11 de las 10 UTs de la zona B5 del Butroe en el trasplante de 2012. Las barras representan la desviación típica.



**Figura 29.** Evolución del factor de crecimiento de las UTs en el trasplante de 2012 en B5. Estimación para área total de 11 UTs (meses con asterisco) y área total de 20 UTs (meses sin asterisco).

De estos resultados puede concluirse que aún es muy pronto para evaluar el éxito de la supervivencia de las UTs y se debe continuar con un seguimiento más prolongado.

#### 4.4 RECUPERACIÓN DE LA ZONA DONANTE

En este apartado se pretende contribuir al conocimiento de la recuperación de los impactos provocados en la población donante en las actuaciones de trasplante. Por ahora, en todos los ejercicios se ha recurrido a poblaciones establecidas en el estuario del Oka: en 2010 la zona donante correspondió a las cercanías de San Kristobal (Axpe-Busturia) y en 2011 y 2012 correspondió a la zona de Arketas (Ibarrangelua) (Figura 30).



**Figura 30.** Estuario del Oka, con las zonas donantes resaltadas en verde: A-San Kristobal (donante en 2010) y B-Arketas (donante en 2011 y 2012).

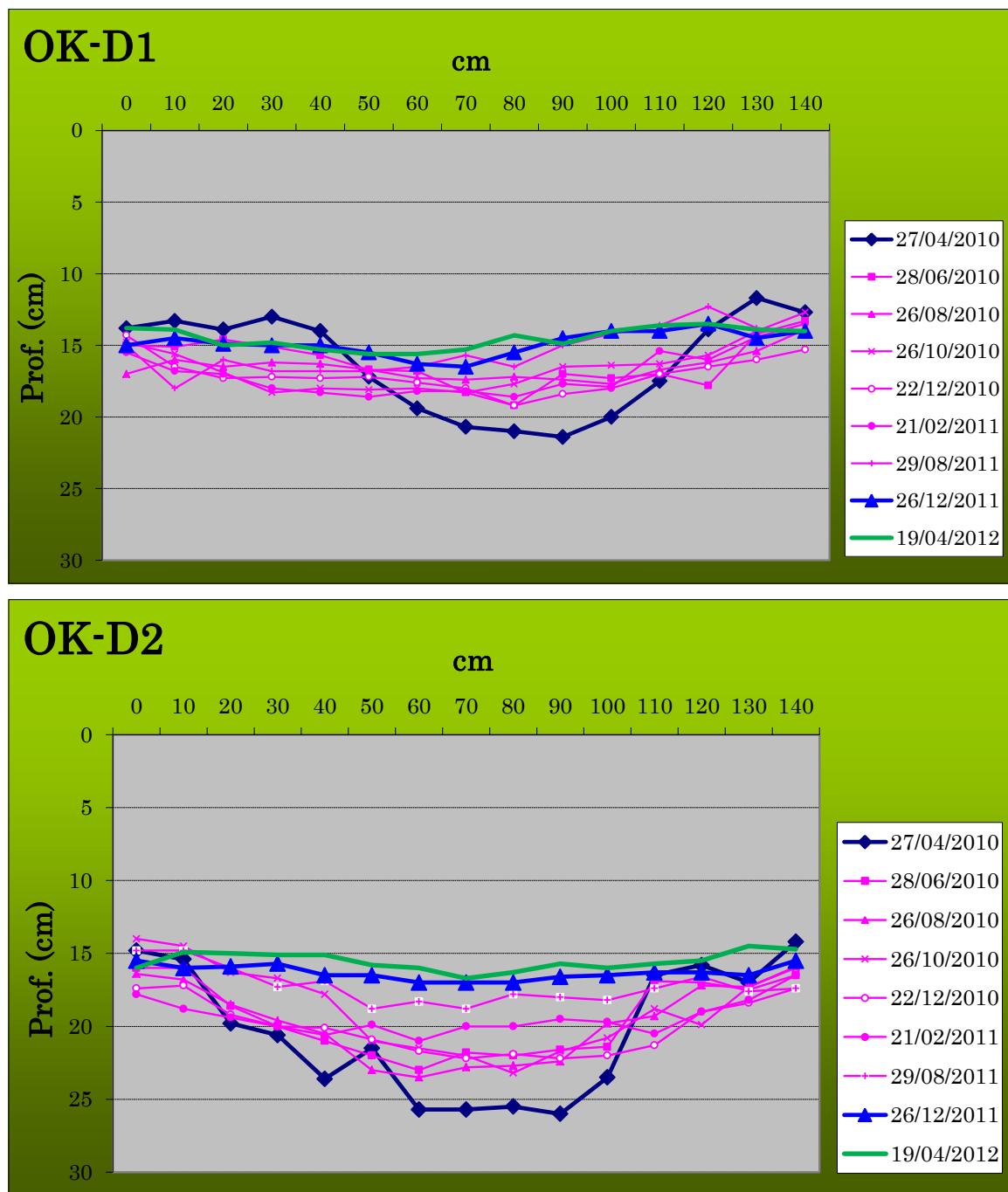
Tal y como se expuso en el informe correspondiente a las actividades de 2011 (Garmendia *et al.*, 2011), la población donante de 2011 se recuperó en 7 meses; sin embargo, la de 2010 aún no se había recuperado para finales de 2011. En el presente capítulo se continúa, por un lado, con su seguimiento y, por otro lado, se inicia el de la población donante del año 2012.

#### 4.4.1 Oka (San Kristobal): trasplante de 2010

La metodología del seguimiento está explicada en el informe correspondiente a 2010, cuando se comenzó con esta tarea (Garmendia *et al.*, 2010b). En 2011 se prosiguió con el seguimiento pero no se alcanzó la recuperación total (Garmendia *et al.*, 2011), por lo que en 2012 se ha continuado con él, siguiendo la misma metodología: obtención del perfil de la zanja en dos transectos (medidas de profundidad) y toma de fotografías.

En el informe de 2011 se incluyeron las visitas realizadas hasta octubre de 2011. En el presente informe se continúa con las visitas a partir de dicha fecha: desde entonces, se ha visitado la zona en diciembre de 2011, y en abril, junio, julio y noviembre de 2012.

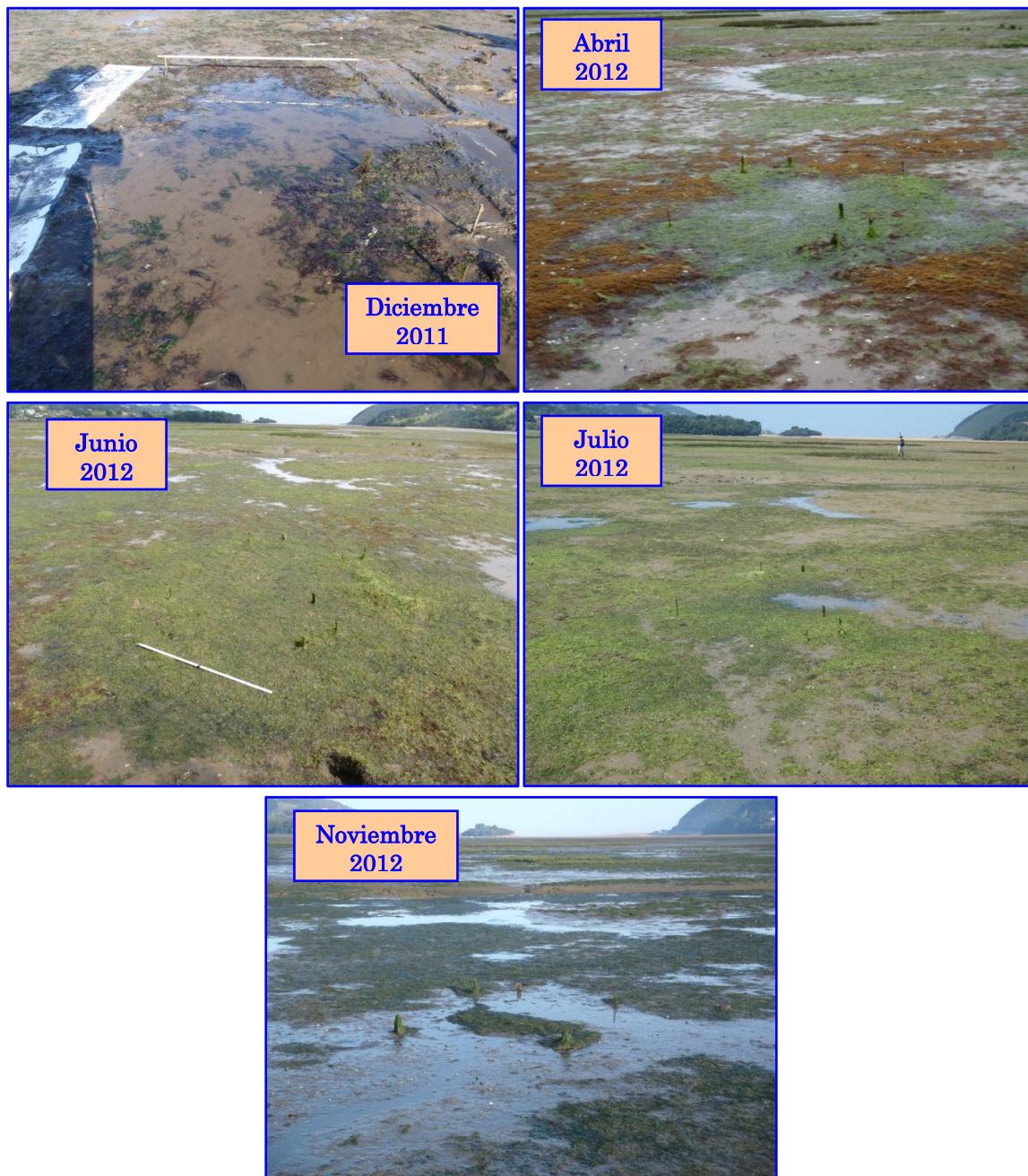
Los perfiles OK-D1 y OK-D2 representados en la Figura 31 muestran la evolución de la zanja como consecuencia de su relleno, que se ha ido produciendo de manera natural. Partiendo de la situación inicial de abril de 2010 (línea azul oscuro), para diciembre de 2011 (línea azul claro), 21 meses más tarde, prácticamente la zanja se ha llenado con sedimento. En abril 2012 (línea verde) se confirmó el relleno de la zanja con una nueva medida de los perfiles.



**Figura 31.** Evolución de cada uno de los perfiles o profundidades correspondientes a cada transecto (OK-D1 y OK-D2) de la zanja provocada en la zona donante.

Por tanto, dado que el agujero provocado se ha rellenado, se da por finalizada la medición de los perfiles de la zanja. No obstante, se proseguirá con la obtención de fotografías del impacto y con la observación de su recuperación/recolonización.

Durante 2012 se ha observado una importante presencia de distintas algas en la zona (principalmente *Ulva* sp. y *Gracilaria* sp.) que han variado a lo largo del año (Figura 32).



**Figura 32.** Estado de la zona donante de 2010 durante las visitas de diciembre 2011, y abril, junio, julio y noviembre de 2012.

En abril, tras separar la cubierta algal que ocupaba la zona donante, se vieron algunas hojas de *Zostera noltii* (Figura 33), lo cual podría considerarse como un primer paso para la

recolonización de dicha zona. Sin embargo, en las posteriores visitas realizadas no se volvió a encontrar hojas de esta planta dentro de la zanja.



**Figura 33.** Zona donante de 2010 en abril 2012: hojas de *Zostera noltii* dentro de la zanja.

En el año 2013 se continuará con este seguimiento mediante la obtención de fotografías y control de hojas de *Z. noltii* dentro de la zanja.

#### 4.4.2 Oka (Arketas): trasplante de 2012

La extracción de las 28 UTs para los trasplantes de 2012 fue llevada a cabo el 22 de marzo de 2012 en Arketas, en la misma población utilizada en el trasplante de 2011 (Figura 34). Al igual que en 2011, se siguió el mismo criterio de abrir una única zanja cerca del borde de una pradera de *Zostera noltii*, extrayendo las UTs de manera continua y produciendo una zanja con la menor anchura posible, es decir, la correspondiente a una UT (unos 40 cm). De esta manera, se produjo una zanja en forma de “L”, de unos 15 cm de profundidad, con una longitud de cada “brazo” de 4-5 m (Figura 13). Teniendo en cuenta las dimensiones de cada UT (27 x 38 cm de lado), el área de extracción o superficie total útil extraída fue de 2,87 m<sup>2</sup>. A esto habría que añadir la consecuente alteración del sedimento a causa del pisoteo.



**Figura 34.** Situación de la zona donante en Arketas (Oka) y posición de los parches control (OK-C1, OK-C2, OK-C3) respecto a la ubicación de la zanja excavada (Zostera T3 donante Oka).

Del mismo modo que en 2011, al finalizar la extracción de las UTs, se rellenó completamente el agujero con sedimento de los alrededores (mayoritariamente arena). De esta manera, se contribuye a una recuperación más rápida del impacto producido. El resultado final de la extracción fue un pequeño pasillo de arena sin vegetación dentro de la pradera de *Zostera noltii* (Figura 12).

Al igual que en 2011, con la intención de evaluar el posible efecto de la propia labor de extracción, se realizaron tres pruebas o controles: en tres puntos de la población donante, se extrae una UT y se vuelve a enterrar en el mismo agujero (OK-C1, OK-C2, OK-C3). Además

de anotar las coordenadas de su posición, estos controles fueron marcados en un borde con dos estacas de madera con cintas plásticas de color, para facilitar su visualización en el posterior seguimiento (Figura 14). Posteriormente, en las visitas correspondientes, se realizó su seguimiento mediante obtención de fotografías y estima de la densidad de *Zostera* (tanto en el interior como en los alrededores). Así, observando el desarrollo de estos controles se pretende evaluar el efecto que puede tener el estrés mecánico provocado por la extracción y trasplante de las UTs en su posterior supervivencia y desarrollo.

Además, se identificaron dos puntos (OK-D1 y OK-2D2) (Figura 13) que servirán de referencia para, a la hora de estimar la densidad de la población natural de *Zostera noltii* y representar su evolución mensual, hacerlo siempre en el mismo punto.

#### 4.4.2.1 Seguimiento de la zona alterada

Con la finalidad de evaluar el tiempo necesario para la recuperación de esta perturbación, se planificó realizar visitas mensuales para inspeccionar visualmente el estado de la zona alterada, obtener fotografías y tomar medidas de la densidad de la población natural de *Zostera noltii*. De esta manera, a partir de la extracción (marzo 2012) se realizaron visitas de inspección todos los meses.

En la Figura 35 puede observarse la evolución de la zanja desde marzo hasta noviembre (8 meses). En este último mes y desde media distancia, prácticamente no se ve el impacto de la extracción: *Zostera noltii* ha comenzado a recolonizar la zanja y únicamente queda una “calva” en el ángulo formado por los dos “brazos” de la zanja (Figura 36).

En el seguimiento efectuado en la población donante de 2011 se concluyó su recuperación total a los 7 meses. En el caso de 2012, el tiempo de recuperación va a ser similar o algo superior. Quizás dicha recuperación se haya visto afectada y retrasada por el efecto directo de las embarcaciones amarradas, ya que durante estos meses de seguimiento se ha encontrado varias veces alguna embarcación muy cerca o justo encima de la zanja (Figura 37).



**Figura 35.** Zanja en la zona donante tras la extracción de las 28 UTs.



**Figura 35 (continuación).** Zanja en la zona donante tras la extracción de las 28 UTs.



**Figura 36.** "Calva" de la zanja donante sin colonizar por *Zostera noltii* (noviembre 2012).



**Figura 37.** Embarcaciones sobre la pradera marina, en las proximidades de la zanja donante de 2012.

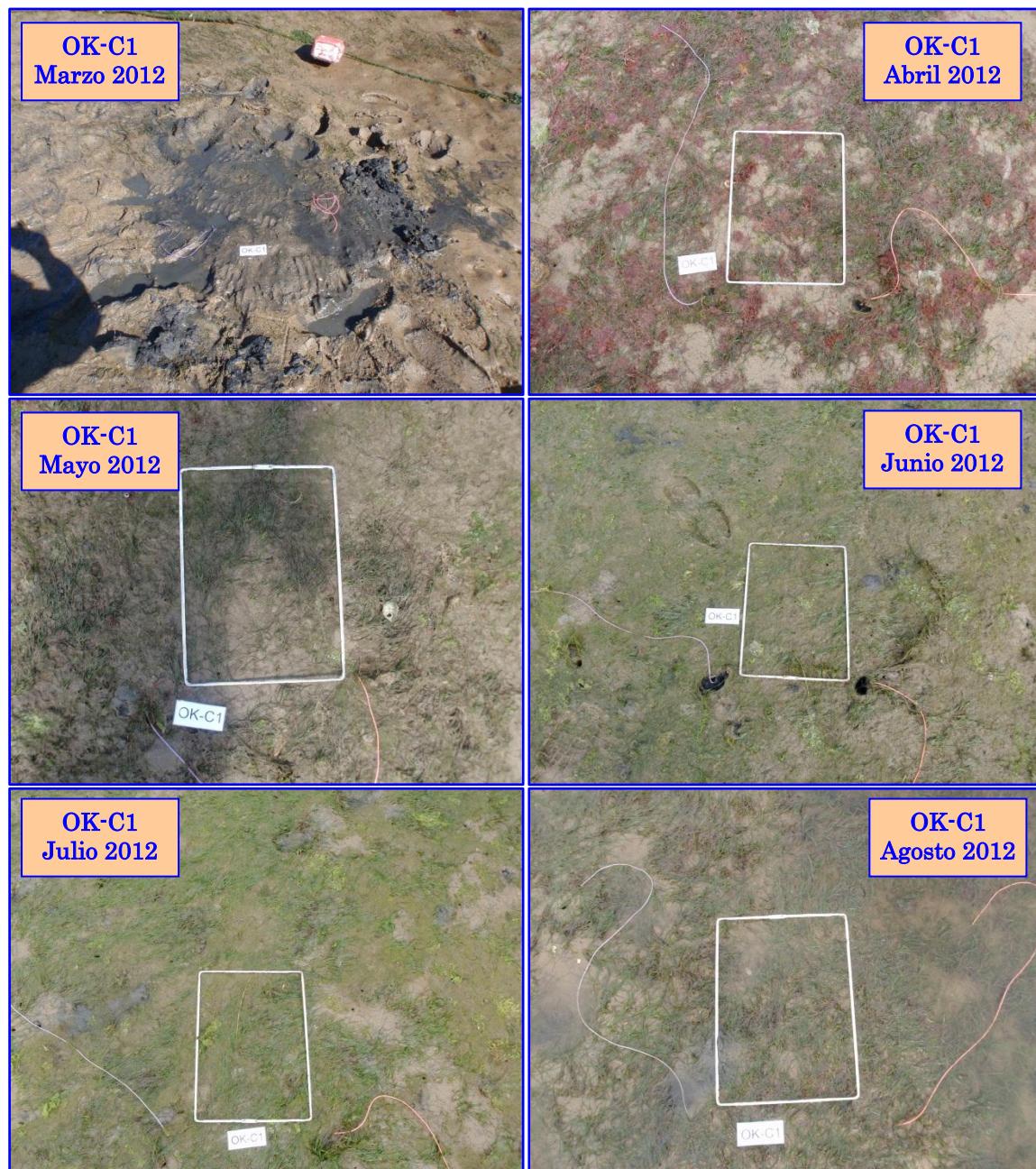
Hay que recalcar que la pradera asentada en esta zona de Arketas sufre una elevada presión principalmente desde tres fuentes que provocan importantes alteraciones físicas del medio: (1) las embarcaciones y sus sistemas de sujeción (que impactan directamente sobre las plantas o el sedimento donde deben instalarse), (2) el régimen hidrodinámico del estuario (que provoca un fuerte desplazamiento de sedimento en la zona más cercana al canal principal del estuario, con episodios de erosión y, fundamentalmente, aportes de arena y el consecuente enterramiento parcial de la pradera), y (3) los mariscadores (que se dedican a la extracción de gusanos y cangrejillos para lo cual pisotean, agujerean y levantan el sedimento donde se encuentra *Zostera noltii*) (Figura 38).



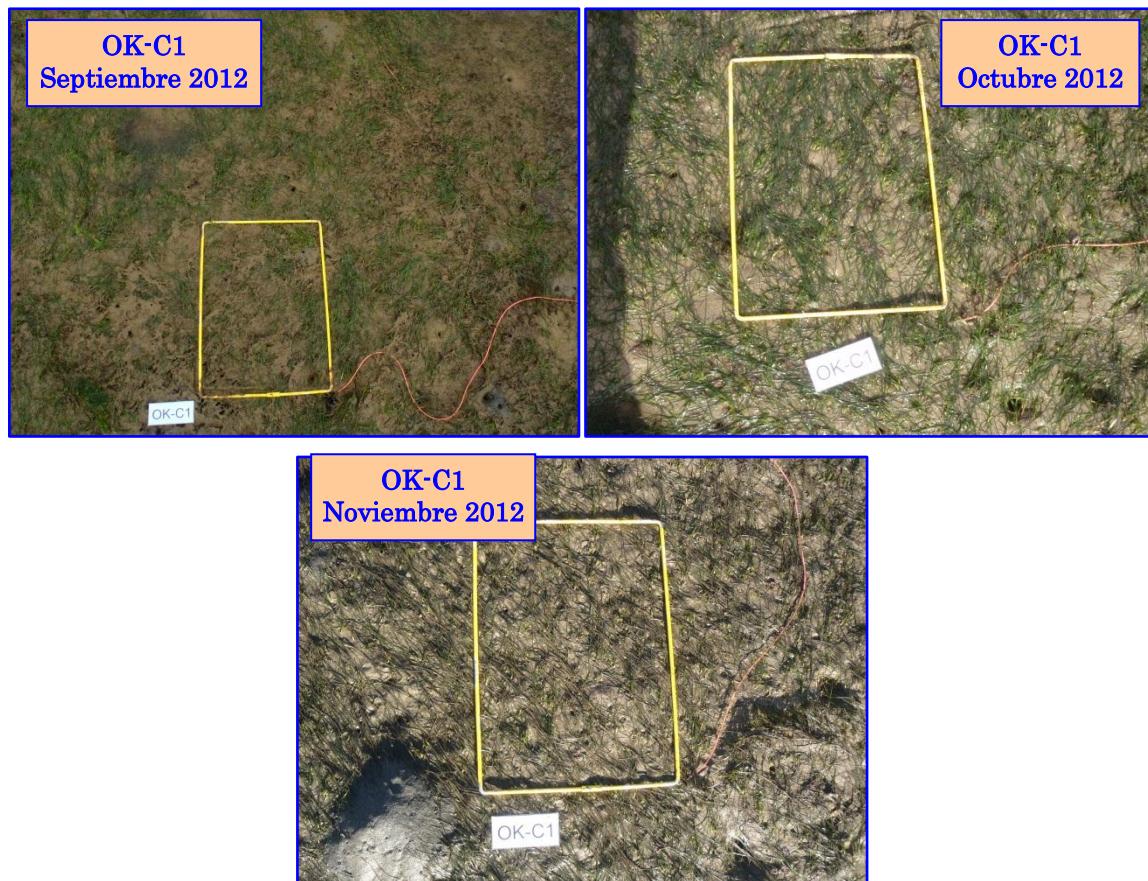
**Figura 38.** Distintas presiones observadas durante 2012 en la población donante de Arketas (Oka): marisqueo, aporte de arena, extracción de punto de amarre, impacto directo de embarcaciones.

#### 4.4.2.2 Seguimiento de los controles

A partir de la extracción de UTs (marzo 2012) se realizaron visitas mensuales a la zona donante, donde se realizaron fotografías que se muestran en las siguientes figuras (Figura 39, Figura 40 y Figura 41).



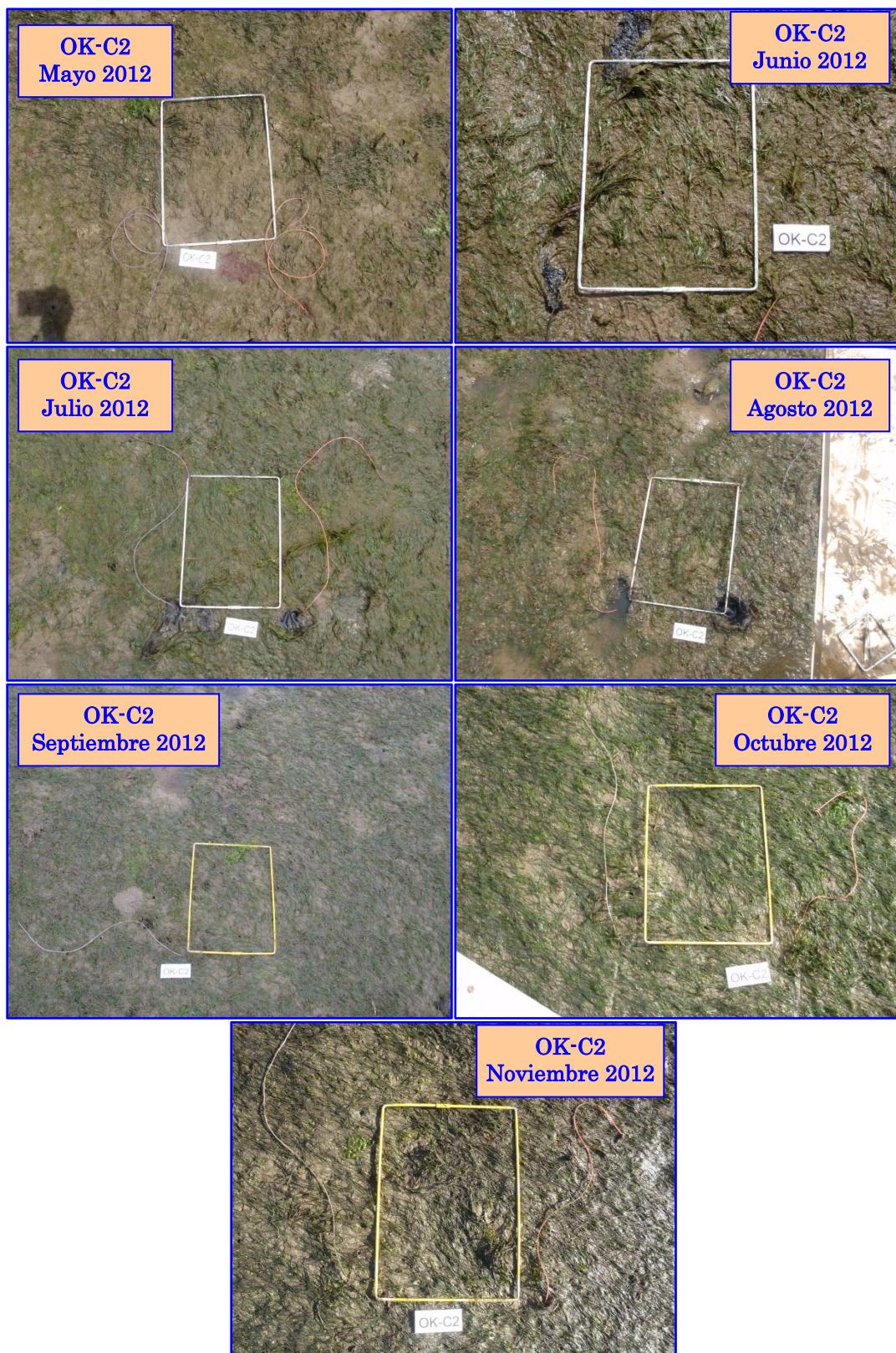
**Figura 39.** Parche control OK-C1 durante los meses posteriores a la actuación de extracción.



**Figura 39 (continuación).** Parche control OK-C1 durante los meses posteriores a la actuación de extracción.



**Figura 40.** Parche control OK-C2 durante los meses posteriores a la actuación de extracción.



**Figura 40 (continuación).** Parche control OK-C2 durante los meses posteriores a la actuación de extracción.

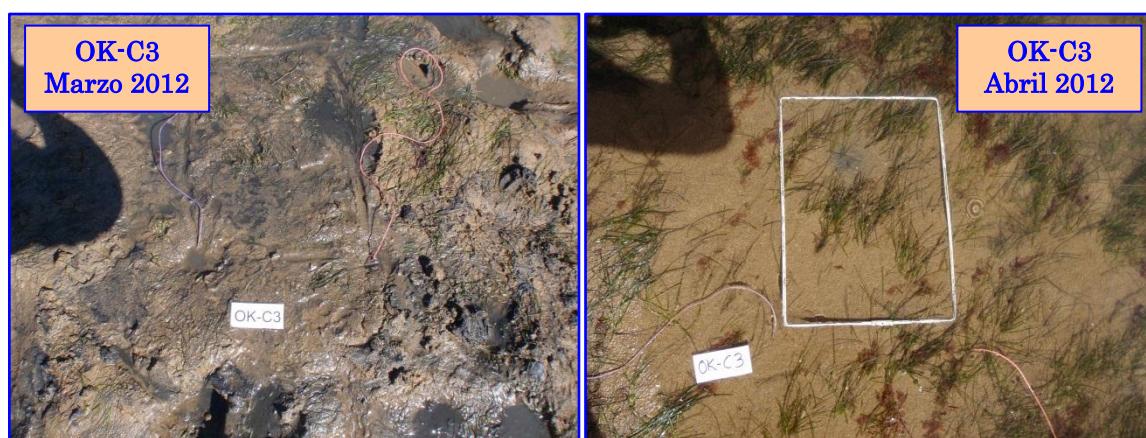
Durante estos ocho meses de seguimiento se han podido encontrar todos los parches control gracias a las cintas de color colocadas el primer día en las estacas de referencia.

Los controles 1 y 2 no han mostrado señales de alteración y se han desarrollado del mismo modo que su entorno. Por tanto, el estrés provocado por su extracción, manipulación y nueva introducción en el sedimento no les ha provocado un daño irreversible y parece que se han recuperado completamente.

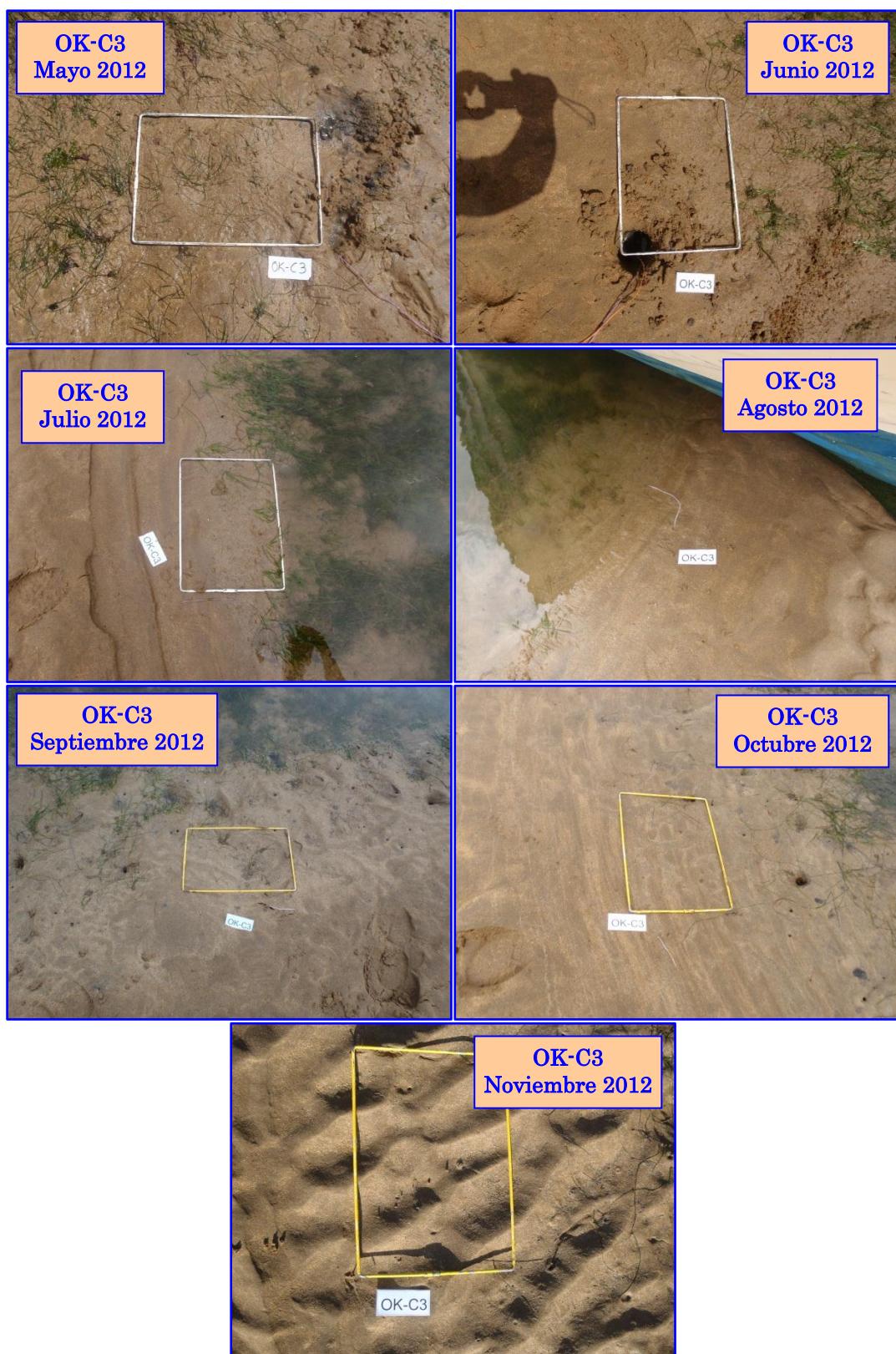
Sin embargo, el control 3 no ha podido desarrollarse correctamente porque, casi desde el inicio del seguimiento, se ha visto afectado por los aportes de arena y se ha ido enterrando. Este parche no ha sobrevivido, pero ha sido como consecuencia de otro factor externo a la actuación de trasplante.

De esta manera, se concluye que los parches OK-C1 y C2 se desarrollan de acuerdo a como lo hace su entorno, y OK-C3 se ha visto afectado por el aporte de arena que ha provocado el retroceso de la pradera.

Por tanto, al igual que ocurrió en el trasplante de 2011, en ninguna de las visitas se ha observado un comportamiento distinto de los parches control con respecto al de las plantas de su alrededor, por lo que se puede concluir que no se han visto afectados por su extracción y plantación. Así, se puede rechazar la hipótesis de que el desarrollo negativo de los parches transplantados a otra zona se deba al estrés provocado por su manipulación durante las labores de extracción y plantación.



**Figura 41.** Parche control OK-C3 durante los meses posteriores a la actuación de extracción.



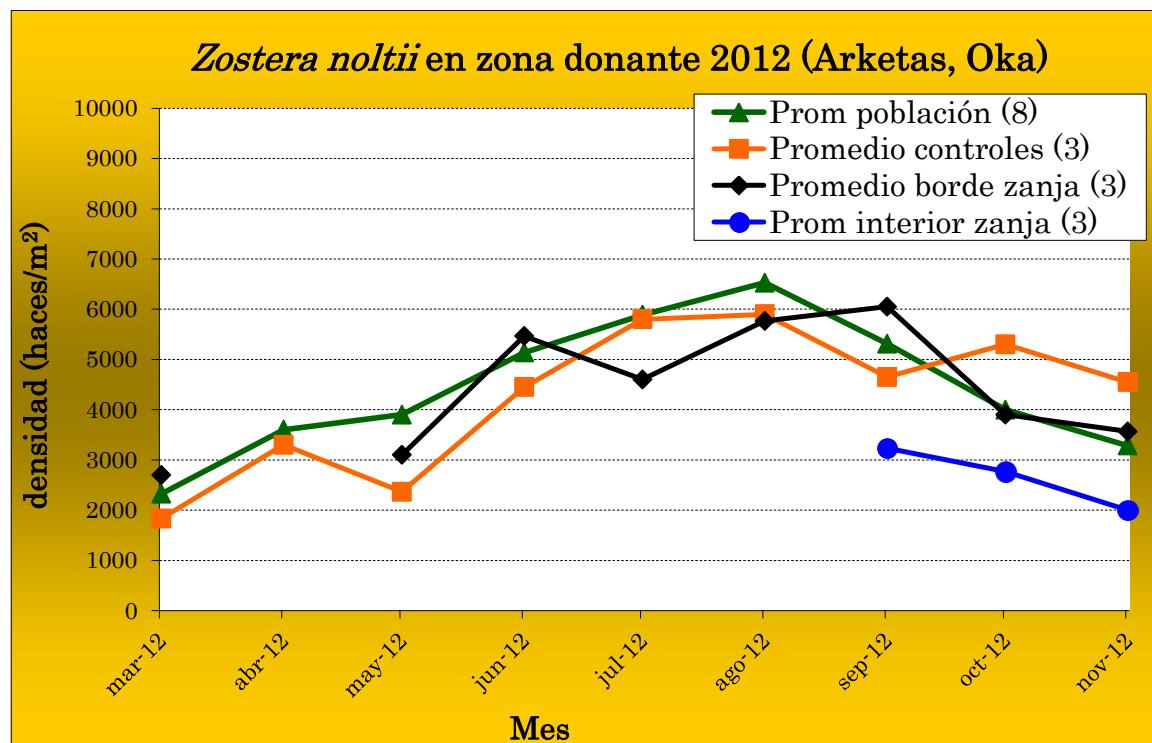
**Figura 41 (continuación).** Parche control OK-C3 durante los meses posteriores a la actuación de extracción.

#### 4.4.2.3 Densidad de *Zostera*

La Tabla 6 y Figura 42 muestran las densidades estimadas en distintos puntos de la pradera de Arketas. Los valores registrados en los controles y en la población natural siguen un mismo patrón: mínimos valores en invierno y máximos en verano. Ocurre lo mismo en las cercanías de la zanja. A partir de septiembre la recolonización mostrada por la zanja, permite la medida de la densidad en su interior: en estos meses aún no ha alcanzado la densidad de la población pero, a pesar de ello, muestra una evolución paralela.

**Tabla 6.** Densidad de *Zostera noltii* (haces m<sup>-2</sup>) en la zona donante de Arketas: Promedios (Prom) y desviación estándar (d.e.) en la población donante (OKD1 y OKD2), en los controles (OKC) y dentro (Int) y fuera (OK-D) de la zanja; ent. enterrado; b.b. bajo barco; no enc. no encontrado. Entre paréntesis, el número de medidas consideradas en el promedio (excepto cuando hay alguna celda en gris).

	mar-12	abr-12	may-12	jun-12	jul-12	ago-12	sep-12	oct-12	nov-12
OKC-1	1800	3400	2700	4000	5000	5300	4700	5400	5100
OKC-2	1300	3200	2900	4900	6600	6500	4600	5200	4000
OKC-3	2400	3300	1500	ent.	ent.	ent.	ent.	ent.	ent.
<b>Prom. controles (3)</b>	1833	3300	2367	4450	5800	5900	4650	5300	4550
d.e.	551	100	757	636	1131	849	71	141	778
OKD1-N	3200	3600	4200	6800	5100	6300	3700	4800	2800
OKD1-S	3500		3500	4800	5800	8300	6000	3300	3100
OKD1-E	2500			4100	7100	6600	6200	6400	5100
OKD1-W	2200			5500	4900	5500	4800	5000	2500
OKD2-N	2700			1600	4400	6400	3900	4700	2700
OKD2-S	800			5300	4800	6700	7600	5100	5100
OKD2-E	2300			4800	4200	5100	8600	6300	4500
OKD2-W	1400			2200	4100	ent.	b.b.	ent.	ent.
<b>Prom. población (8)</b>	2325	3600	3900	5138	5886	6529	5314	4000	3286
d.e.	888		1404	1159	687	1762	979	1136	1175
OK-DA	1900			3200	4600	4000	7100	b.b.	no enc.
OK-DB	3200			3000	7300	3600	5000	5000	4700
OK-DD	3000			3100	4500	6200	5200	7100	3100
<b>Prom. borde zanja (3)</b>	2700			3100	5467	4600	5767	6050	3900
d.e.	700			100	1589	1400	1159	1485	1131
Int-A							4300	2900	2300
Int-B							3100	2300	2200
Int-D							2300	3100	1500
<b>Prom. interior zanja (3)</b>							3233	2767	2000
d.e.							1007	416	436



**Figura 42.** Densidad de *Zostera noltii* en la población donante, en los parches control y en la zanja (dentro y fuera) producida en Arketas (Oka) después de la extracción de UTs para su trasplante en 2012. Entre paréntesis, el número de medidas utilizadas para el promedio (Prom). Véanse las excepciones en la Tabla 6.

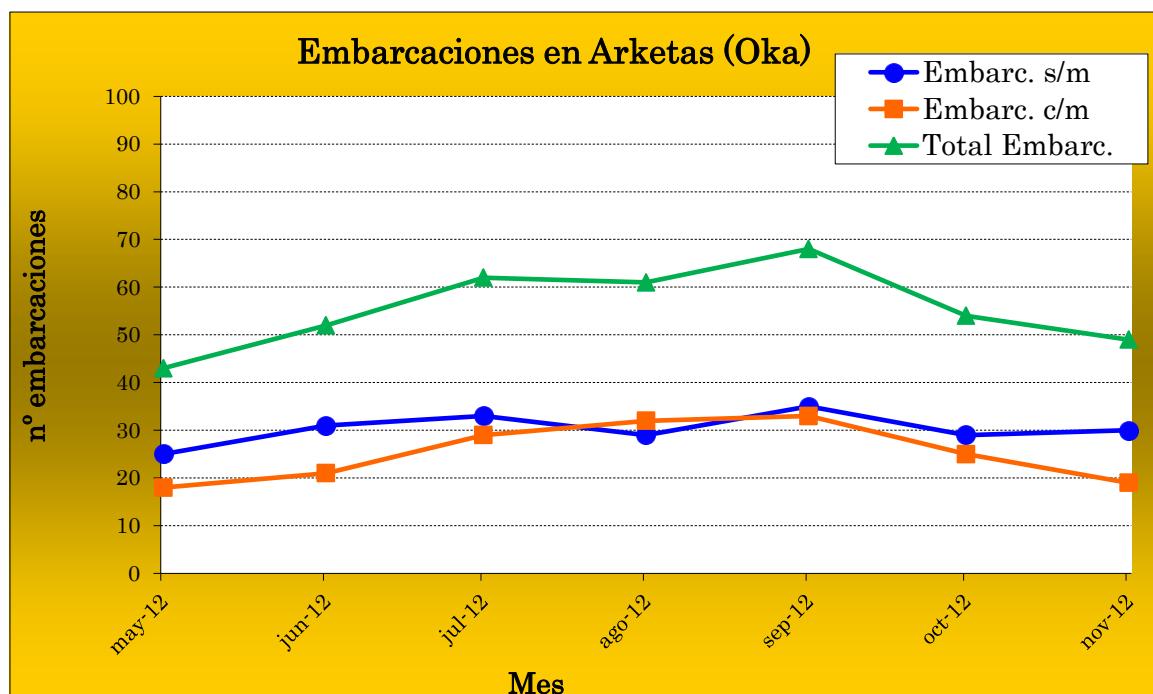
Tal y como se refleja en la Figura 42, a los ocho meses de la extracción, en noviembre, los controles presentan densidades superiores a los de la pradera circundante que ha seguido su evolución natural sin ninguna presión extraordinaria aparente. Por otro lado, la densidad del interior de la zanja no ha alcanzado los valores de la población. Por ello, puede concluirse que:

- Los controles no se han visto afectados por su manipulación (extracción y plantado).
- La pradera marina aún no se ha recuperado completamente del impacto sufrido por la extracción de 28 UTs para su trasplante a otras zonas.

#### 4.4.2.4 Densidad de embarcaciones

Es reconocido el peligro potencial que suponen las embarcaciones debido al impacto directo e indirecto que pueden provocar sobre las praderas marinas. Dado que la población donante se encuentra en una zona utilizada como fondeo y amarre de numerosas

embarcaciones, durante las visitas correspondientes al seguimiento post-trasplante, se ha comenzado a contabilizar el número de embarcaciones presentes en la ensenada (Figura 43). Se ha dibujado una línea imaginaria como límite exterior de la ensenada y, mensualmente, se ha contabilizado toda embarcación (con y sin motor) que se encuentra en el lado de la pradera marina.



**Figura 43.** Presencia de embarcaciones (Embarc.) amarradas en la zona de la pradera marina de Arketas (Oka). s/m sin motor; c/m con motor.

Se continuará registrando esta observación para ver su variación a lo largo del año y su posible efecto en el desarrollo de la pradera marina.

## 4.5 PRUEBAS CON SEMILLAS

Otro de los objetivos fijados dentro de este proyecto es el estudio de las semillas de *Zostera noltii*: su aparición y presencia en las poblaciones naturales y su potencialidad para su uso en la recuperación de praderas como alternativa a los trasplantes. En caso de que los resultados sean positivos, el principal beneficio que se obtendrá es evitar el daño físico que se genera en las poblaciones naturales que actúan como donantes de ejemplares en las actuaciones de trasplante.

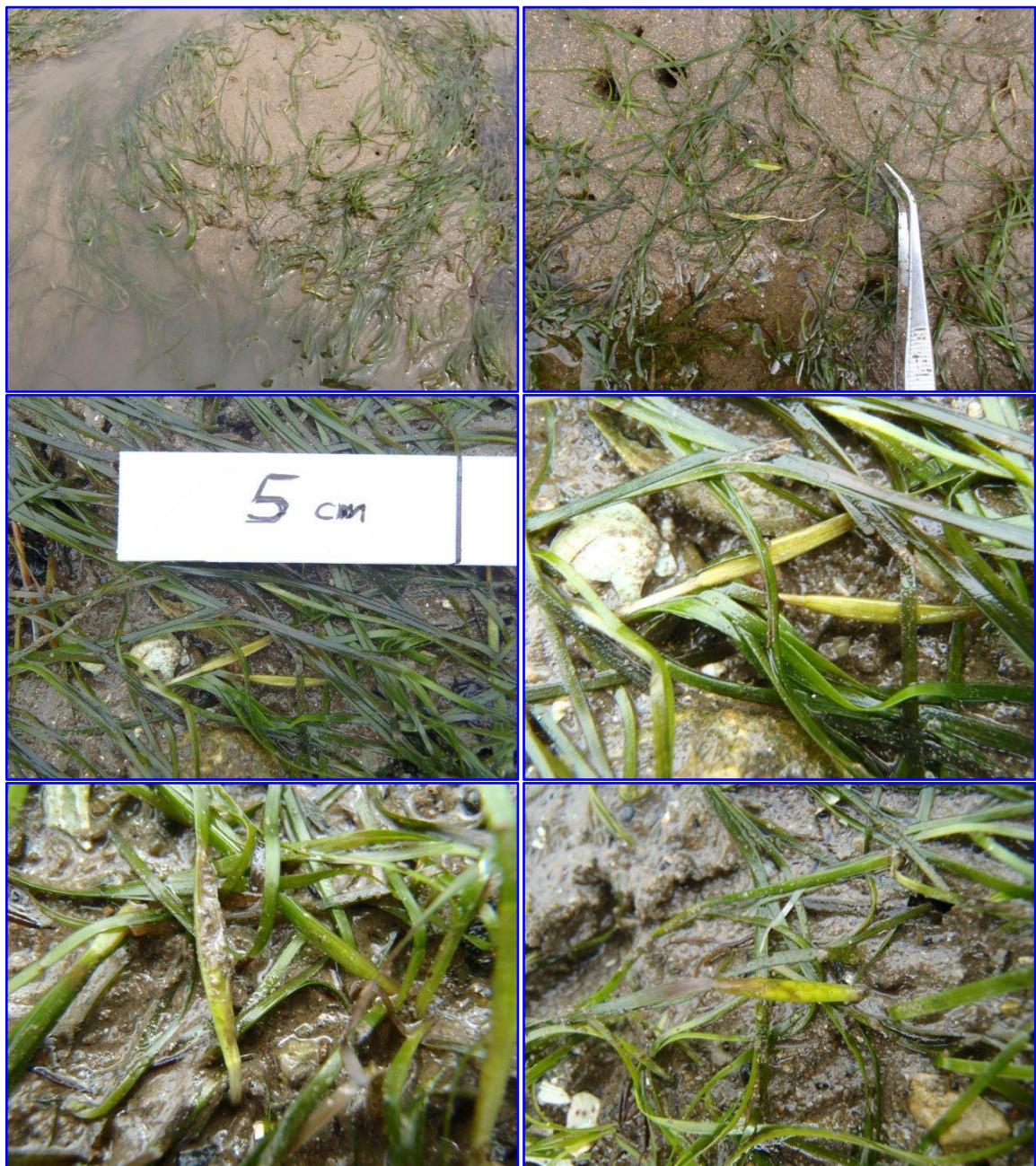
Las incógnitas y retos que se plantean a la hora de abordar este apartado serán adquirir nuevos conocimientos sobre:

- Periodos de presencia de semillas en poblaciones naturales vascas.
- Desarrollo y viabilidad de las semillas para generar nuevos ejemplares en medio natural.
- Metodología: ventajas e inconvenientes para su uso como alternativa en recuperación de praderas marinas (búsqueda y recolección de semillas, plantaciones en medio natural...).

### 4.5.1 Presencia de flores en poblaciones naturales vascas

En primer lugar, debe aclararse que es muy difícil distinguir las semillas en el campo, dado su tamaño y su ubicación en la base de la planta. Además, aunque se identifiquen las hojas reproductoras o flores (portadoras de las semillas), que son muy parecidas a las hojas vegetativas de la planta, éstas en muchos casos aún no están abiertas (por no estar completamente desarrolladas) y aún no se ha producido la fecundación de los óvulos, por lo que todavía no podríamos hablar realmente de una semilla. De todos modos, la presencia de flores indica la potencialidad de la población para producir semillas y, de esta manera, llevar a cabo la reproducción sexual. Por tanto, para que no haya confusión con los términos, llamaremos flores a las hojas reproductoras o espádices que se ven en el campo y se han recogido para llevarlos al laboratorio o a otro lugar para su maduración y desarrollo (Figura 44 y Figura 45), y nos referiremos a las semillas propiamente dichas cuando se obtienen los frutos, más o menos duros, que se desprenden de las flores una vez han madurado (Figura 46).

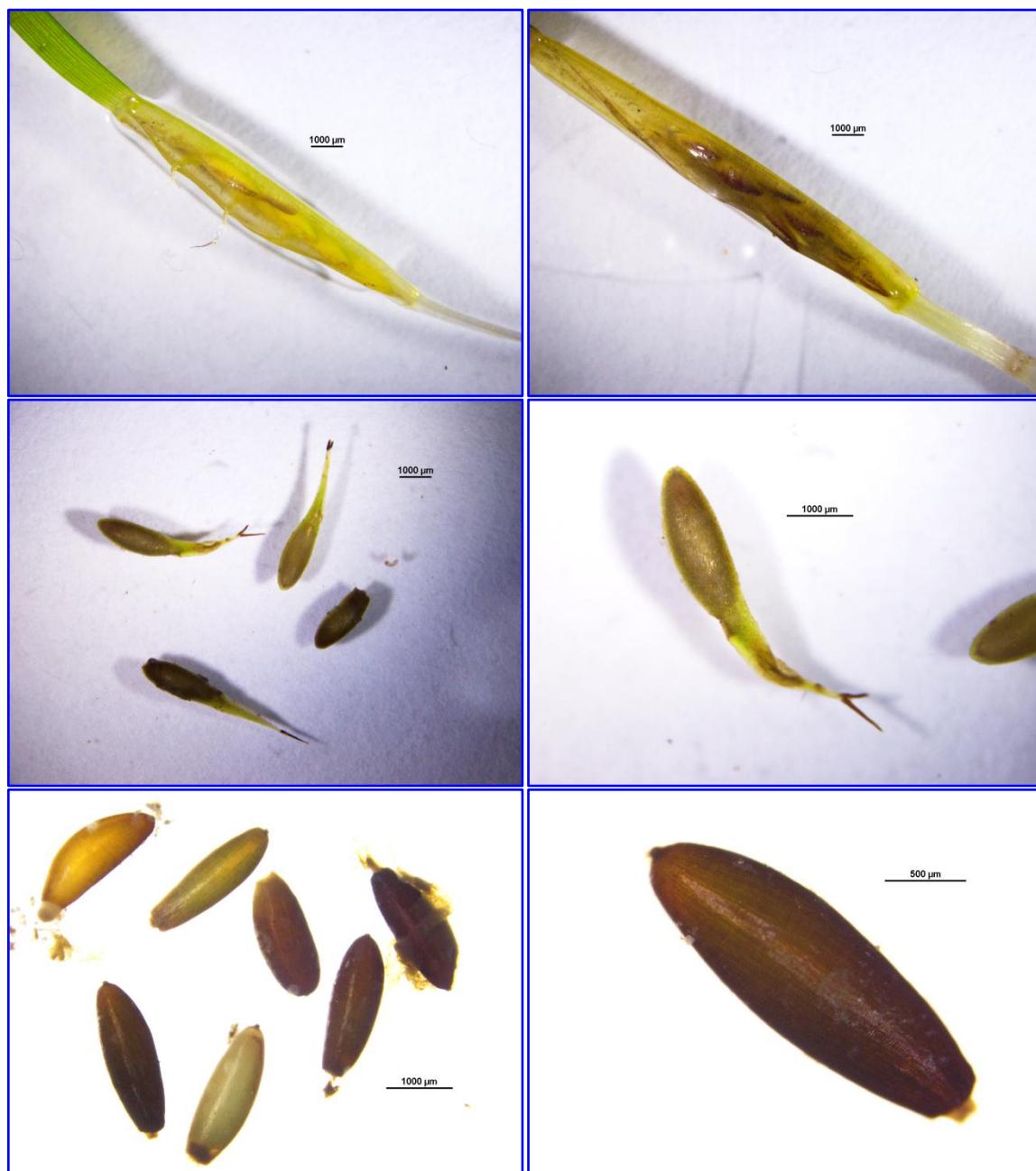
Una información más detallada sobre las semillas, frutos y flores puede consultarse en Loques *et al.* (1988) y Talavera (2010).



**Figura 44.** Fotografías obtenidas en junio 2012 en el medio natural (Oka).



**Figura 45.** Fotografías obtenidas en laboratorio con hojas en distinta fase de desarrollo (recogidas en Oka en junio 2012).



**Figura 46.** Fotografías obtenidas en laboratorio con flores y semillas en distinta fase de desarrollo (recogidas en Oka en septiembre 2012).

Durante el año 2012, además de aprovechar las visitas del seguimiento de los trasplantes, también se han realizado algunas visitas exclusivamente para la búsqueda de

semillas. Se han visto flores en las tres poblaciones naturales vascas (Oka, Lea y Bidasoa) entre junio y noviembre de 2012 (Tabla 7). El periodo de presencia de flores coincide con lo encontrado por otros autores: en Holanda, Hootsmans *et al.* (1987) las encuentran entre junio y septiembre; en Portugal, Alexandre *et al.* (2006) las encuentran entre marzo y noviembre; en Alemania, Zipperle *et al.* (2009) las encuentran entre junio y octubre.

A pesar de que en cada época dominaban las flores en un estado de desarrollo concreto, en una misma época se han podido observar flores en distintas fases: flores cerradas, abiertas con inflorescencias machos maduras, abiertas con inflorescencias hembras maduras, con semillas bastante desarrolladas... Al principio de este periodo se han encontrado fundamentalmente flores tempranas y cerradas. La mayor cantidad de flores abiertas ha sido encontrada en agosto-septiembre, mientras que en octubre-noviembre, la cantidad de flores ha disminuido. No obstante, en los últimos meses, la mayoría de las flores presentaban frutos o semillas bastante desarrollados (Figura 47).

**Tabla 7.** Periodo de presencia de flores en campo. Días en los que se han visto flores de *Zostera noltii*.

Año 2012	Oka			Bidasoa			Lea
	Arketas	S.Kristobal	Kanala	Plaiaundi	P.Kaneta	Hendaia	
Junio		6		10	9		
Julio	5	24, 25, 26	23				
Agosto	20		3	2	2, 25	2	3
Septiembre	18	6			22		
Octubre	17				19		
Noviembre	15	14			1, 19		

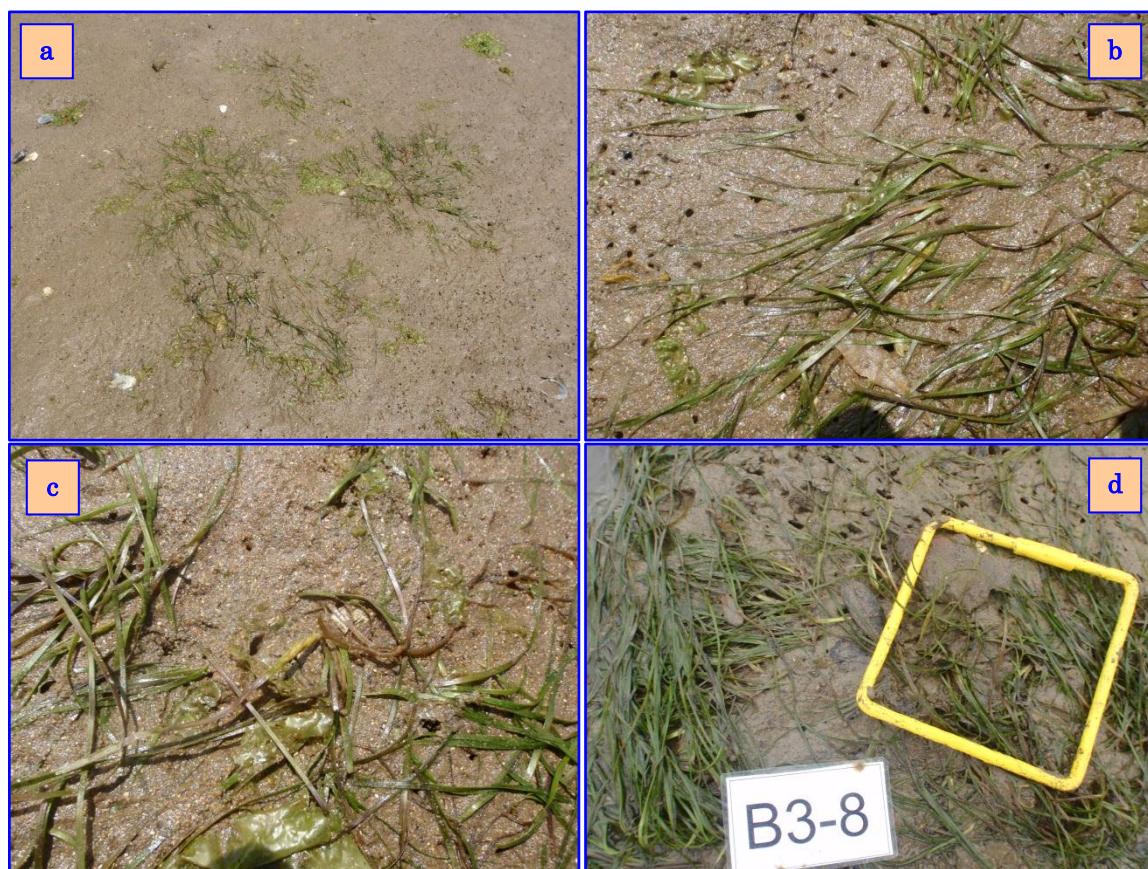


**Figura 47.** Flores recogidas en Bidasoa (Puerto Kaneta) el 19 de octubre de 2012, donde se observan las semillas bastante desarrolladas.

Se han visto flores tanto en manchas grandes como en manchas pequeñas (de 0,5 m de diámetro). Con esto se puede pensar que el tamaño de la mancha no afecta a la producción de semillas.

En julio se han visto flores en una unidad trasplantada en el Oka en el año 2010 (Figura 48a, b, c).

En agosto se han visto flores en varias unidades trasplantadas al Butroe en el año 2011 (Figura 48d), lo cual indica que las unidades trasplantadas tienen la capacidad de producir flores (no se debe olvidar que estas unidades fueron trasplantadas un año antes).



**Figura 48.** (a, b, c) Oka, julio 2012, UT OK3 del trasplante de 2010. (d) Butroe, agosto 2012, UT B3-8 del trasplante de 2011.

#### 4.5.2 Desarrollo de las semillas en medio natural

Con la metodología empleada en las labores de trasplante efectuadas hasta la fecha por investigadores de AZTI-Tecnalia en los estuarios vascos, es evidente que se somete a un severo impacto a la población donante. Por tanto, la utilización de semillas en lugar de ejemplares adultos parece una alternativa adecuada para reducir de manera sustancial la alteración física y el consecuente daño provocado.

Una de las alternativas que se plantea es la recolección directa de semillas de las praderas marinas, pero ésta supone un gran esfuerzo: las semillas de esta especie son muy pequeñas (en torno a 2 mm de longitud), se producen en flores que no presentan gran diferencia morfológica con respecto a las hojas vegetativas y, además, se ubican "ocultas" en la base de las hojas. Por otro lado, si se espera a que estas semillas maduren y caigan al sedimento, su búsqueda se dificulta porque deberían separarse de los elementos que componen el sedimento (Hootsmans *et al.*, 1987; Loques *et al.*, 1990; Zipperle *et al.*, 2009).

Otra alternativa que parece más sencilla es la recolección de flores, su distribución dentro de bolsas de red y su colocación en el campo a la espera de la maduración de las semillas. Una vez maduras, las semillas caerán de las flores y traspasarán la red para llegar al sedimento donde podrán generar nuevos individuos. Esta metodología sirve para la maduración y siembra de las semillas (Pickerell *et al.*, 2005; Busch *et al.*, 2010; Golden *et al.*, 2010; Marion y Orth, 2010).

Con esta base, se han realizado experimentos con flores en campo. A pesar de que la incertidumbre del resultado es alta, el esfuerzo realizado no es tan elevado. El objetivo principal es probar la metodología y comprobar su viabilidad. En caso de obtener un resultado positivo, sería un método fácil, cómodo y de bajo impacto sobre la población donante.

El 20 de agosto de 2012 se recogieron 200 flores en la población de Arketas (Oka). Al día siguiente, estas flores se distribuyeron en dos bolsas con 100 cada una y se colocaron en una zona intermareal del Butroe, potencialmente adecuada para el desarrollo de praderas marinas. Las bolsas se fijaron al sedimento mediante estacas de madera. Una de las bolsas quedó al descubierto, mientras que la otra se protegió con una caja de madera y una red para, por un lado, evitar la acción de los potenciales predadores de flores y semillas y, por otro lado, evitar la llegada de semillas del exterior y garantizar que las plántulas que pudieran brotar procedan de las bolsas colocadas (Figura 49).



**Figura 49.** Butroe, agosto 2012. Material utilizado en la colocación de dos bolsas de red con 100 flores cada una.

El 25-26 de agosto se realizó la misma actuación en un lugar distinto: se recogieron las flores en el Puerto Kaneta (Bidasoa) y se colocaron las bolsas en Plaiaundi (Bidasoa) (Figura 50).

Ante la duda de si las flores colocadas están ya fecundadas, o si pudieran serlo dentro de las bolsas, esta actuación se repitió en los meses de septiembre y octubre en los mismos lugares del Bidasoa con la hipótesis de que cuanto más tarde se recojan las flores, la probabilidad de que éstas estén fecundadas será mayor. Si en realidad hay diferencias entre los meses, se podría confirmar esta hipótesis. Así, el 22-23 de septiembre y 19-20 de octubre se colocaron nuevas bolsas con 100 flores cada una (Figura 51).



**Figura 50.** Bidasoa (Plaiaundi), agosto 2012. Material utilizado en la colocación de dos bolsas de red con 100 flores cada una.



**Figura 51.** Bidasoa (Plaiaundi), octubre 2012. En las fotografías inferiores pueden verse las cajas colocadas en los tres meses.

El 16 de noviembre se vaciaron las bolsas colocadas en agosto en el Butroie: la bolsa desprotegida se encontraba semienterrada y llena de sedimento, mientras que la bolsa del interior de la caja se encontraba mezclada con material vegetal. La presencia de la caja parece haber contribuido a la erosión del sedimento en dicho punto (Figura 52). Se vaciaron las bolsas en sus puntos correspondientes y se dejaron las estacas y la caja (sin cubrir) para servir de referencia en el seguimiento de los próximos meses.

El 19 de noviembre se visitó Plaiaundi para vaciar las bolsas (Figura 53). En la bolsa desprotegida colocada en agosto no se encontró ninguna flor y la bolsa del interior de la caja también estaba vacía y limpia. En la bolsa colocada en septiembre tampoco había nada, mientras que la bolsa protegida en la caja se encontraba semienterrada. Igualmente, en la bolsa colocada en octubre tampoco había nada y la del interior de la caja se encontraba vacía y limpia. En todos los casos, se quitaron las bolsas. En el caso de que tuvieran algún contenido (sedimento o material vegetal) fueron vaciadas en el mismo punto, y las cajas volvieron a cubrirse con la red.



**Figura 52.** Butroe, noviembre 2012. Aspecto de las bolsas/caja antes y después del vaciado de las bolsas.

A lo largo del año 2013 se visitarán estos puntos para comprobar el resultado de estas pruebas y ver si crece alguna planta.



**Figura 53.** Bidasoa (Plaiaundi), noviembre 2012. Las tres cajas alineadas en la marisma, y aspecto de las bolsas-cajas e interior de la caja una vez extraída la bolsa (A-Bolsa/caja colocada en agosto; S-Bolsa/caja colocada en septiembre; O-Bolsa/caja colocada en octubre).

#### 4.5.3 Recogida de semillas

Otra alternativa a la extracción de plantas es la recolección de flores y su mantenimiento en laboratorio, en agua marina con aireación constante y temperatura aproximada de 20 °C, a la espera de la maduración y caída de las semillas. Una vez obtenidas las semillas (Figura 54), éstas podrán utilizarse para hacer pruebas de germinación y obtención de plántulas, tanto en laboratorio como en el campo. Existen algunos trabajos donde se ofrecen resultados de recogida de flores o recogida directa de semillas (Hootsmans *et al.*, 1987; Loques *et al.*, 1988, 1990; van Katwijk *et al.*, 2004; Alexandre *et al.*, 2006; Zipperle *et al.*, 2009).

En la Tabla 8 se exponen las diferentes pruebas de recogida de flores y posterior mantenimiento/maduración en laboratorio efectuados durante el año 2012. El mantenimiento se ha llevado a cabo en recipientes plásticos con agua marina y aireación constante.

**Tabla 8.** Fecha y lugar de recogida de flores, número de flores recogidas en campo y número de semillas recogidas tras mantenimiento en laboratorio.

Fecha	Lugar	nº flores recogidas	nº semillas recogidas	Temperatura laboratorio	Tiempo (semanas)	Observaciones
06/06/2012	Oka (San Kristobal)	aprox. 100	0	15 °C	4	O bien la temperatura es demasiado baja, o es una fecha demasiado temprana
09/06/2012	Bidasoa (P. Kaneta)	aprox. 100	0	15 °C	4	O bien la temperatura es demasiado baja, o es una fecha demasiado temprana
06/09/2012	Oka (San Kristobal)	aprox. 25	7	20-25 °C	3	
22/09/2012	Bidasoa (P. Kaneta)	aprox. 100	10	20-25 °C	3	
17/10/2012	Oka (Arketas)	aprox. 100	39	≈20 °C	3,5	
19/10/2012	Bidasoa (P. Kaneta)	aprox. 100	29	≈20 °C	3,5	
01/11/2012	Bidasoa (P. Kaneta)	370	191	≈20 °C	3	
14/11/2012	Oka (San Kristobal)	aprox 500	161	≈20 °C	3	Dificultad de ver las flores: marrones y semienterradas
15/11/2012	Oka (Arketas)	aprox. 100	9	≈20 °C	3	Dificultad de ver las flores: marrones y semienterradas
17/11/2012	Bidasoa (P. Kaneta)	aprox. 100	44	≈20 °C	3	Dificultad de ver las flores: marrones y semienterradas



**Figura 54.** Semillas de *Zostera noltii* obtenidas tras mantenimiento de flores en laboratorio. Flores procedentes del Oka (O) y Bidasoa (B).

## 4.6 CARTOGRAFÍA 2012

La realización de una cartografía exhaustiva es el mejor modo de conocer la realidad de la situación de una especie en una zona delimitada y en un momento dado (Phinn *et al.*, 2008). No obstante, y a pesar de su interés, el gran esfuerzo que supone y la implicación de personal especializado que requiere no permiten que se realicen con gran 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 Bidasoa (Silván y Campos, 2002), donde se estima una superficie ocupada de 4,07 ha para Oka y 26 m<sup>2</sup> para la zona guipuzcoana del Bidasoa. 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 estiman 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 lleva a cabo 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.*, 2008). Debido a que el objetivo principal inicialmente 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. No obstante, en algunos casos (en Bidasoa, en Lea y en algunas zonas de Oka), debido a la confluencia de algunas características de la zona (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. 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 Vizcaya (Otxoa *et al.*, 2007) y con los datos propios tomados en 2008 en todos los estuarios vascos (Garmendia *et al.*, 2008).

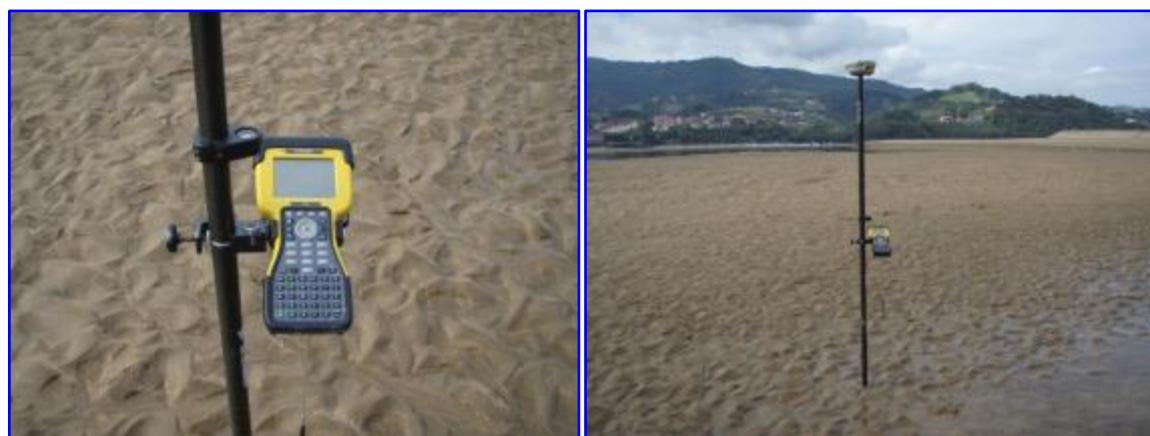
Además de la generación de mapas de alta precisión sobre la distribución de la especie, también se efectúa un análisis comparativo de las zonas o áreas donde *Z. noltii* ha desaparecido, ha aparecido o se ha mantenido durante el periodo considerado, estimándose las superficies para cada situación.

En definitiva, los principales objetivos del presente trabajo son:

- Conocer la situación actual (2012) de la distribución de las poblaciones de *Zostera noltii* en los estuarios vascos.
- Analizar la evolución de las poblaciones de la especie en los últimos años mediante la comparación con cartografías previas de los años 2007 y 2008.

#### 4.6.1 Material y métodos

El muestreo consistió en la toma de datos en campo con la ayuda de un receptor Trimble R6 (Figura 55), 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 0,015 m y de posición vertical de 0,02 m. El muestreo se realizó durante julio y agosto de 2012 (Tabla 9). Tras acceder a las zonas de presencia de *Z. noltii*, se tomaron las coordenadas geográficas a lo largo del perímetro de las manchas de *Z. noltii*.



**Figura 55.** GPS Trimble R6 utilizado para la obtención de la coordenadas geográficas de las manchas de *Zostera noltii* en 2012.

**Tabla 9.** Fechas de muestreo del cartografiado de las poblaciones de *Zostera noltii* en todos los estuarios vascos donde la especie está presente durante 2012.

Estuario/Zona	Fecha
Oka – Arketas	05/07/2012
Oka – Kanala	23/07 y 03/08/2012
Oka – San Kristobal	24/07, 25/07 y 26/07/2012
Bidasoa	02/08/2012
Lea	03/08/2012

Una vez realizada la toma de puntos 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 cada una de 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 también 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 el año 2008, como para el año 2012. Además, el análisis comparativo entre años se realizó teniendo en cuenta la ubicación específica en el espacio. 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 establecida en el mismo espacio o muestra algún tipo de desplazamiento en la zona (cuantificando las superficies correspondientes a cada situación).

Todo ello permitió realizar un análisis de los cambios en la distribución de las praderas en el conjunto de los estuarios vascos y en cada estuario.

Con el propósito de cuantificar los cambios que se han dado en las praderas se construyó una matriz de cambios para cada uno de los estuarios, identificándose tres clases de cambio:

- (i) colonizado (áreas que no presentaban praderas de *Z. noltii* en 2008 pero sí en el 2012);
- (ii) desaparecido (áreas que presentaban praderas en 2008 pero no han sido detectadas en 2012); y
- (iii) estable (áreas donde se ha detectado a la especie tanto en 2008 como en 2012).

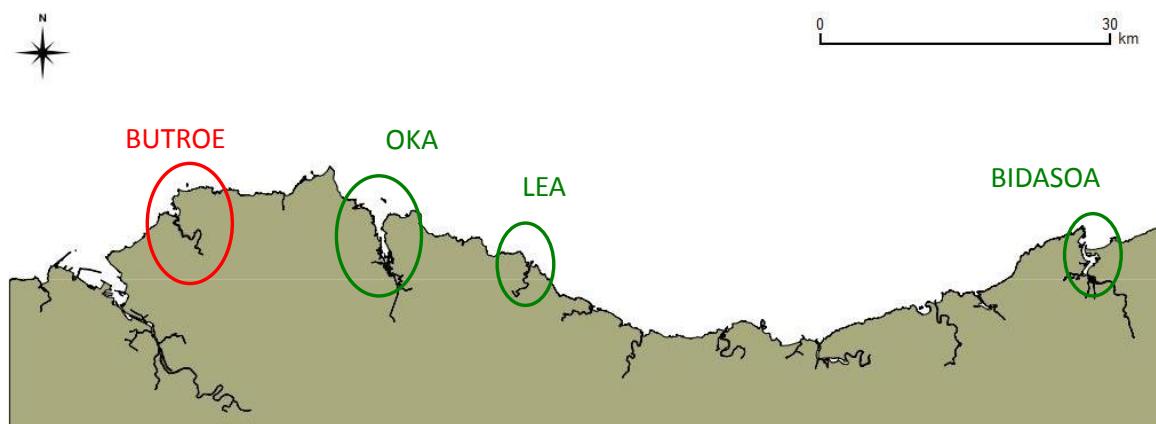
A partir de los datos obtenidos para cada clase se calculó el cambio neto, como la superficie ocupada en el año reciente menos la superficie ocupada en el año anterior; este

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 el cambio, que representa la superficie en la que se dan cambios en la pradera, ya sea que desaparecen o se establecen nuevas praderas de la especie.

## 4.6.2 Resultados

### 4.6.2.1 Distribución en 2012

En 2012 se encontraron praderas marinas naturales en 3 de los 12 estuarios vascos: Bidasoa, Lea y Oka (Figura 56). Hay que hacer notar que, actualmente, en el estuario del Butroe existe también *Z. noltii*, aunque ha sido re-introducida en el curso de investigaciones de restauración, ocupando un área muy pequeña (Garmendia *et al.*, 2008, 2010a, 2011).



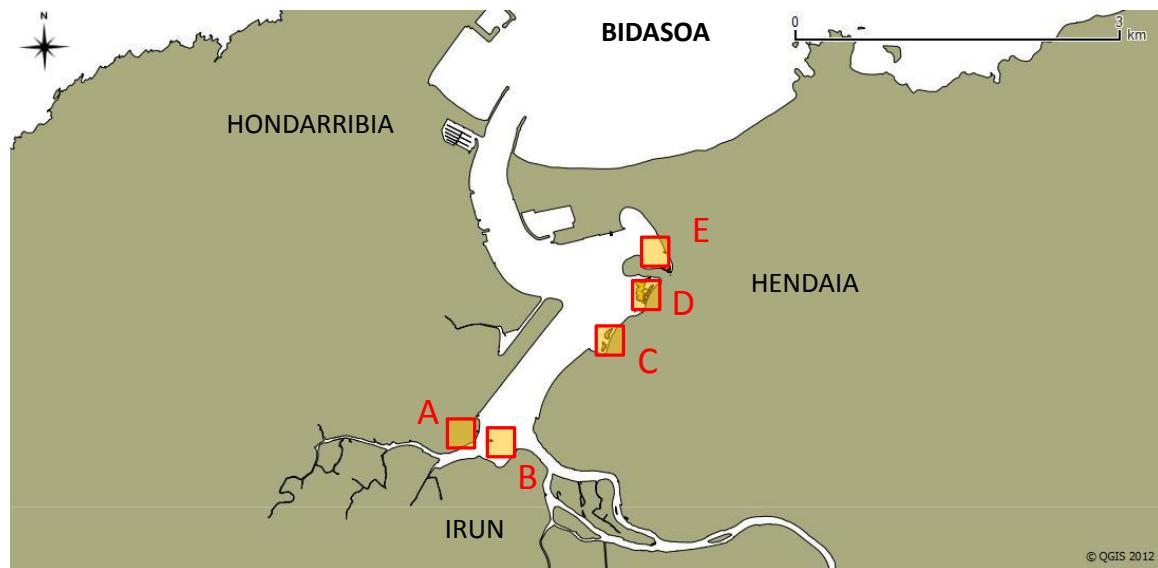
**Figura 56.** Praderas marinas (poblaciones de *Zostera noltii*) localizadas en la costa vasca.

En el cómputo de los tres estuarios donde *Z. noltii* aparece de manera natural, esta planta ocupa una superficie de 197.917 m<sup>2</sup>, es decir, 19,79 ha (Tabla 10), siendo el estuario del Oka donde se asienta la población más amplia, superando el 85% del total de la especie en el País Vasco.

**Tabla 10.** Superficie (ha) ocupada en 2012 por *Zostera noltii* en los estuarios vascos.

Área ocupada en 2012	ha	%
Oka-Arketas	0,55	2,8
Oka-San Kristobal	15,60	78,8
Oka-Kanala	1,05	5,3
Bidasoa	1,97	9,9
Lea	0,62	3,2
Total estuarios vascos	19,79	100

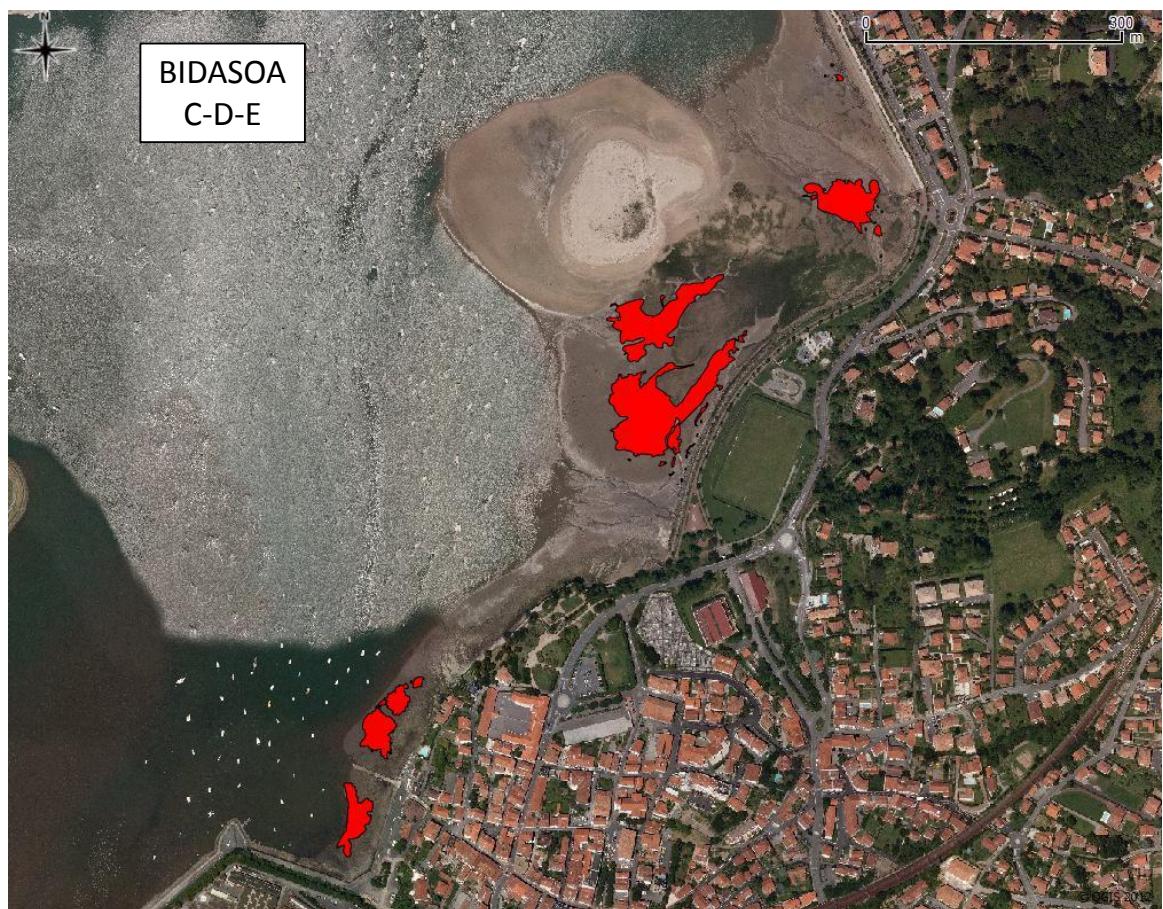
Desde la Figura 57 a la Figura 64 se representan las superficies ocupadas por *Z. noltii* en cada uno de los estuarios en el año 2012.



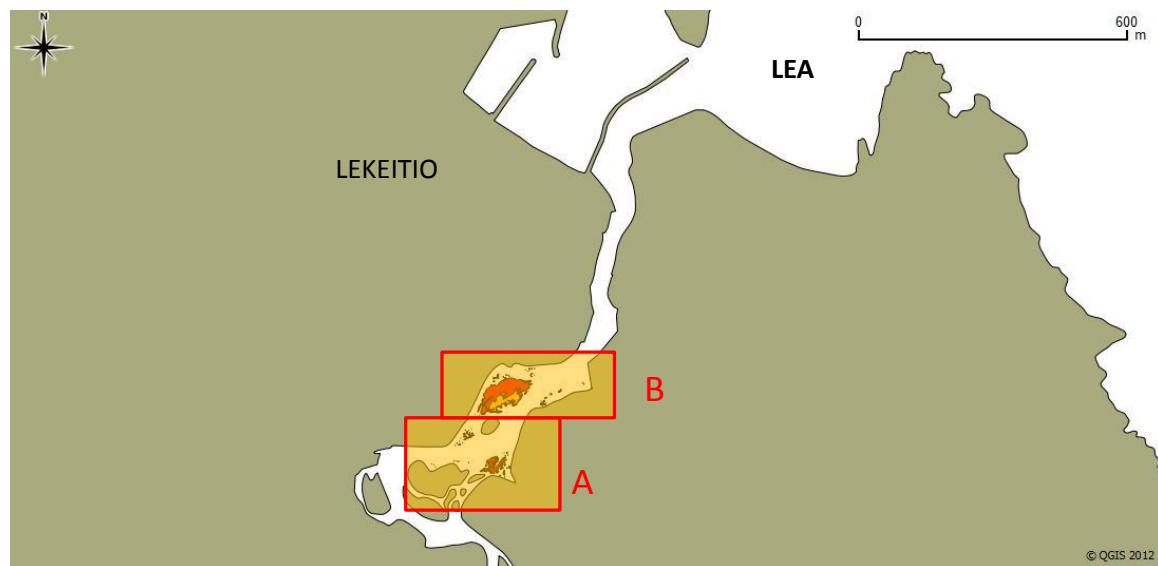
**Figura 57.** Estuario del Bidasoa. Las zonas A, B, C, D y E corresponden a zonas de presencia de praderas de *Zostera noltii* en los años 2008 y 2012.



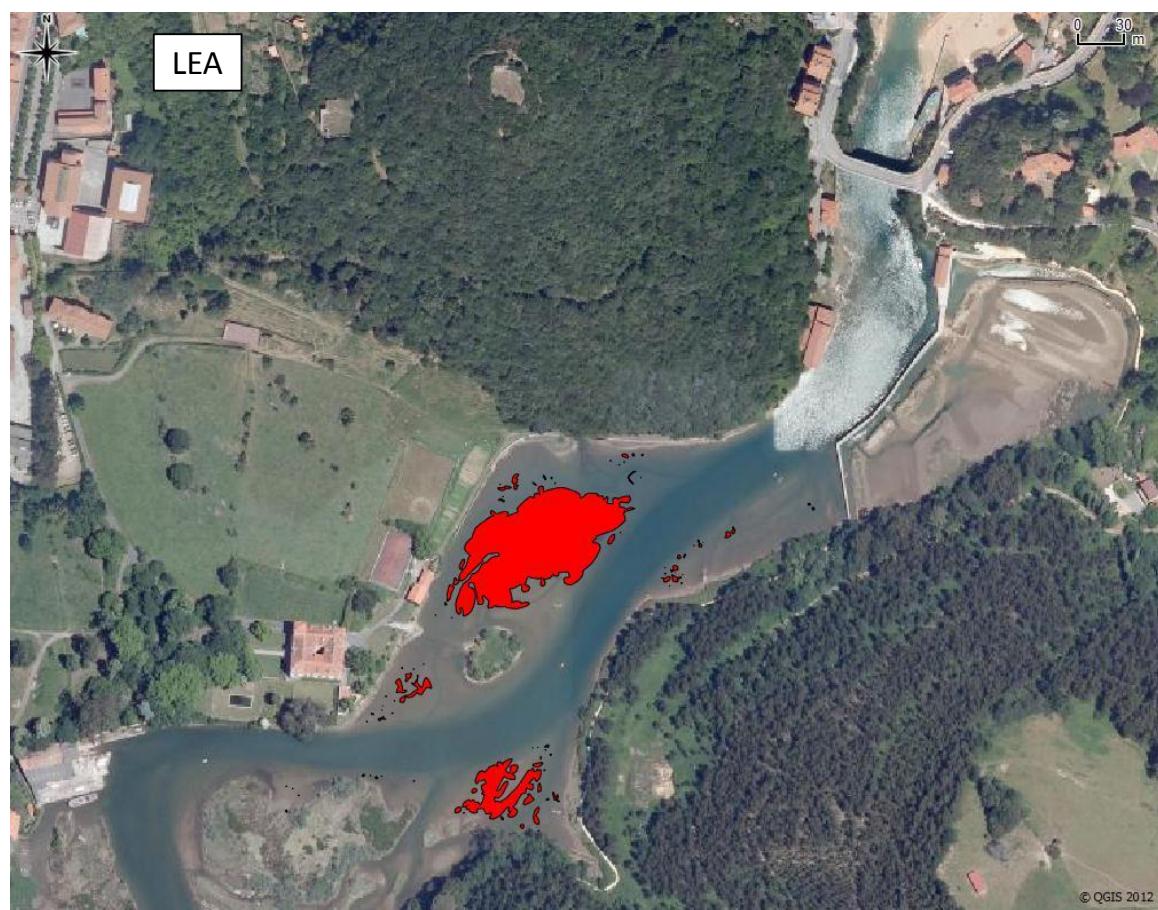
**Figura 58.** Estuario del Bidasoa. Zona A (a un lado del aeropuerto) y Zona B, (en el parque ecológico de Plaiaundi). Las praderas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2012 se representan en rojo.



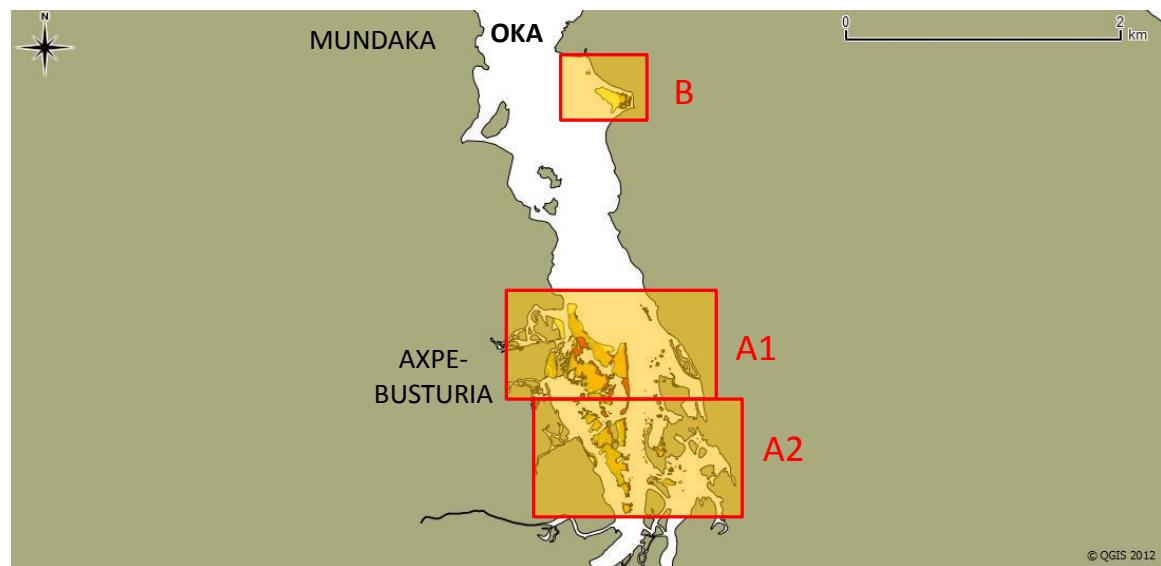
**Figura 59.** Estuario del Bidassoa. Zonas C, D y E (en Hendaia). Las praderas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2012 se representan en rojo.



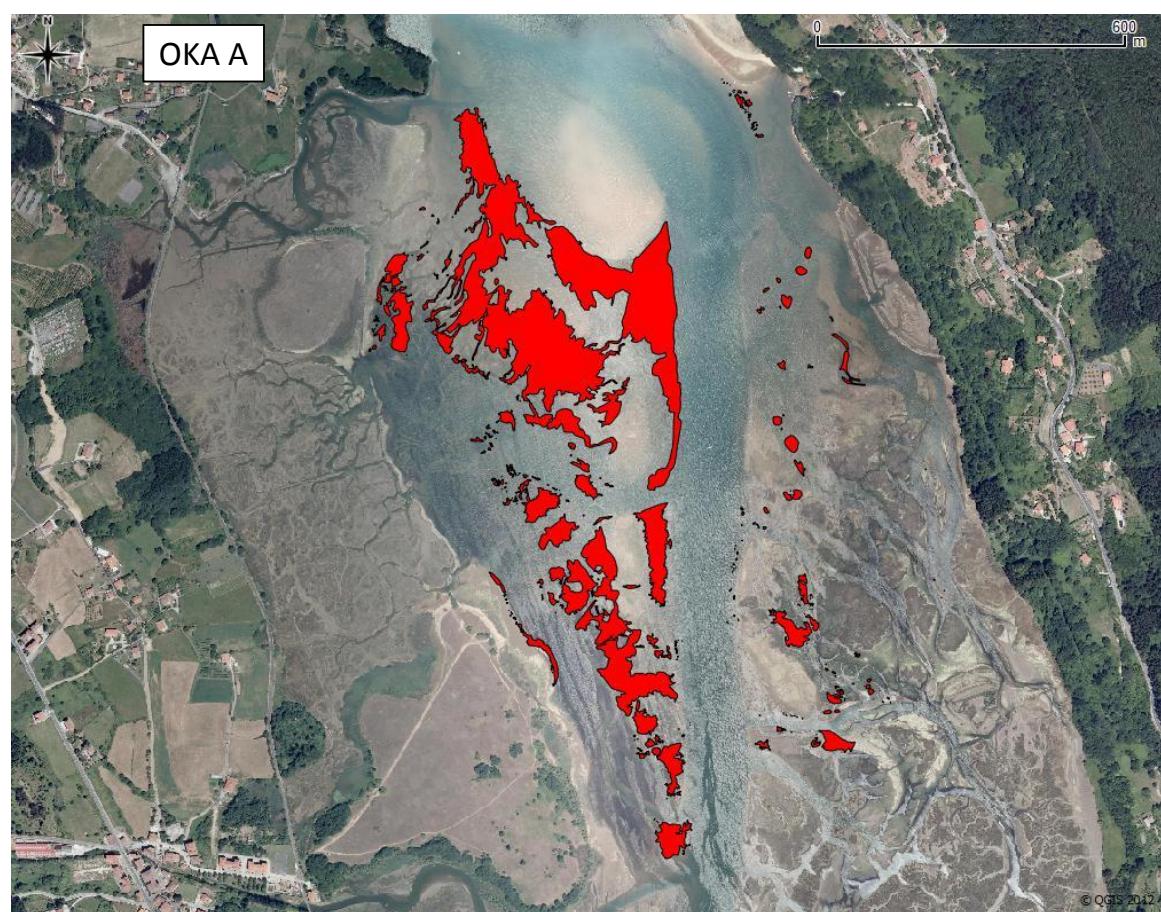
**Figura 60.** Estuario del Lea. Las zonas A y B corresponden a zonas de presencia de praderas de *Zostera noltii* en los años 2007-2008 y 2012.



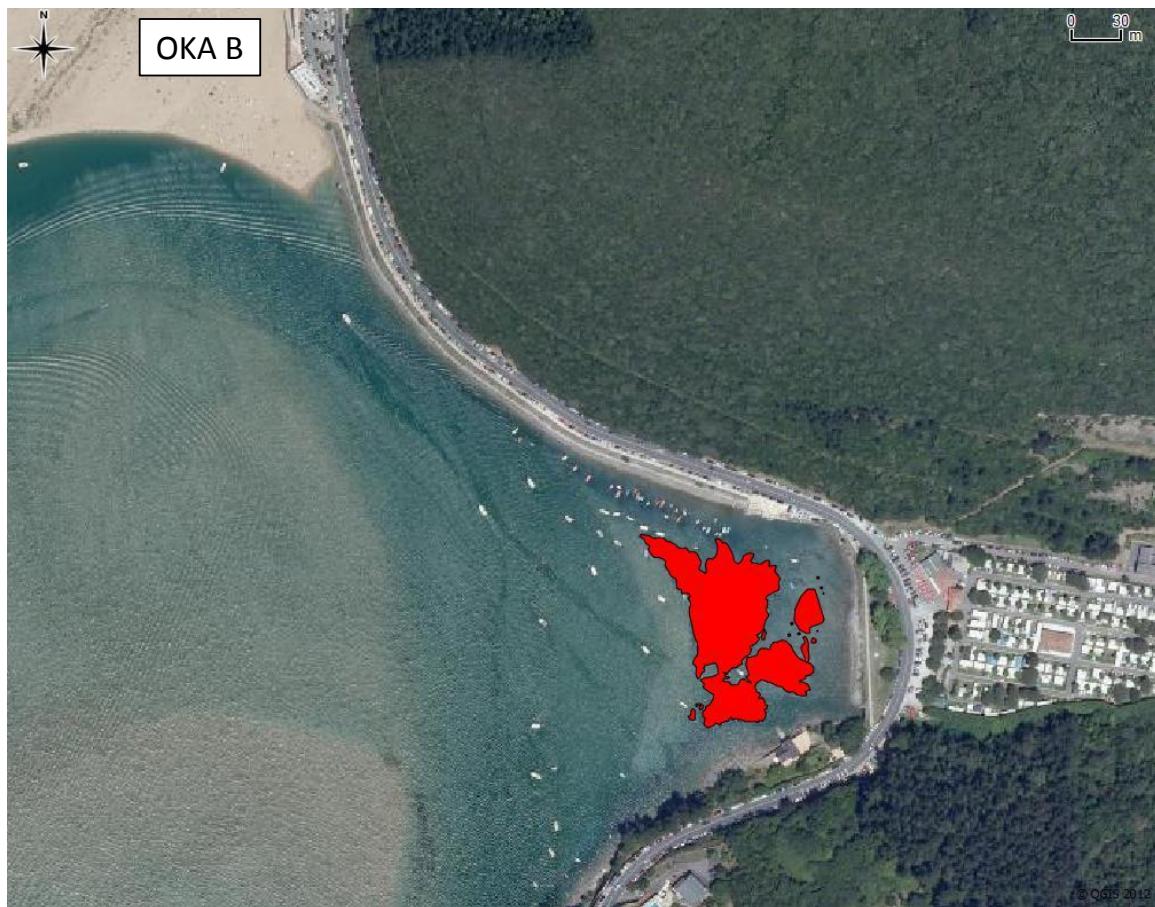
**Figura 61.** Estuario del Lea. Zonas A y B. Las praderas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2012 se representan en rojo.



**Figura 62.** Estuario del Oka. Las zonas A1, A2 y B corresponden a zonas de presencia de praderas de *Zostera noltii* en los años 2007-2008 y 2012.



**Figura 63.** Estuario del Oka. Zona A. Las praderas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2012 se representan en rojo.



**Figura 64.** Estuario del Oka. Zona B. Las praderas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2012 se representan en rojo.

#### 4.6.2.2 Comparación de la distribución en 2007-2008 y 2012

Haciendo un análisis de la situación en el conjunto del País Vasco (Tabla 11), es decir, realizando el cómputo de los tres estuarios, los resultados muestran que en el año 2008 la especie ocupaba 22,66 ha y en el 2012 ha pasado a ocupar 19,79 ha. El área que se ha mantenido ocupada a lo largo de estos años es de 13,56 ha. Se han perdido 9,1 ha, considerando aquellas zonas que en el 2008 presentaban praderas de *Z. noltii* y que hoy en día no. Respecto a aquellas zonas que la especie ha colonizado (ganado) se ha calculado una superficie total de 6,23 ha, esta superficie la completan aquellas zonas que en 2008 no estaban cubiertas por la especie pero sí han sido detectadas durante el presente cartografiado. Teniendo en cuenta todo esto, el cambio neto de la superficie ocupada por la especie es de -2,88 ha. Lo que se traduce en una pérdida de un 9,9% respecto al total de las áreas ocupadas a lo largo de estos años. Este área ocupada a lo largo del periodo 2008-2012 es el resultado de la suma de todas las zonas ocupadas por la especie aunque haya zonas que

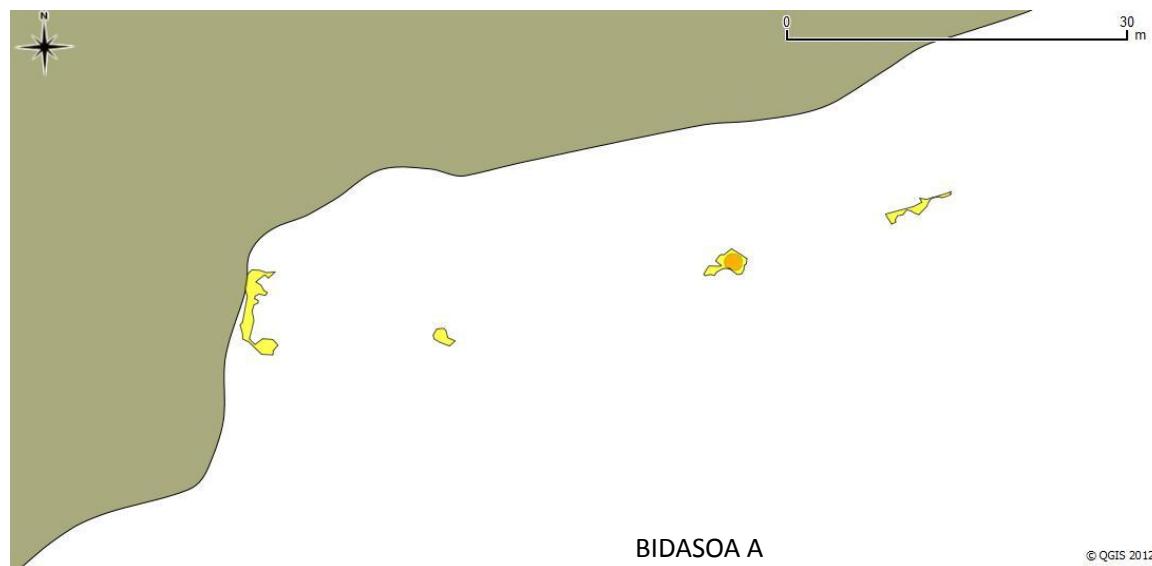
ya se hayan perdido, y su cálculo se ha realizado sumando la superficie que se ha mantenido, la superficie perdida y la superficie ganada. Por último, en el análisis llevado a cabo, también se hace referencia a la tasa de cambio de las praderas, esto es, a la superficie que ha cambiado de estar ocupada por la especie a no estarlo y viceversa.

**Tabla 11.** 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 total a lo largo del periodo de 2007-2008 a 2012	28,90	100
Área que se ha mantenido ocupada desde 2007-2008 a 2012 (estable)	13,56	46,9
Superficie que se pierde del 2007-2008 al 2012 (desaparecido)	9,11	31,6
Superficie que se gana del 2007-2008 al 2012 (colonizado)	6,23	21,6
Cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2007-2008)	-2,88	-9,9
Cambio global (suma de lo que se pierde y lo que se gana)	15,34	53,1

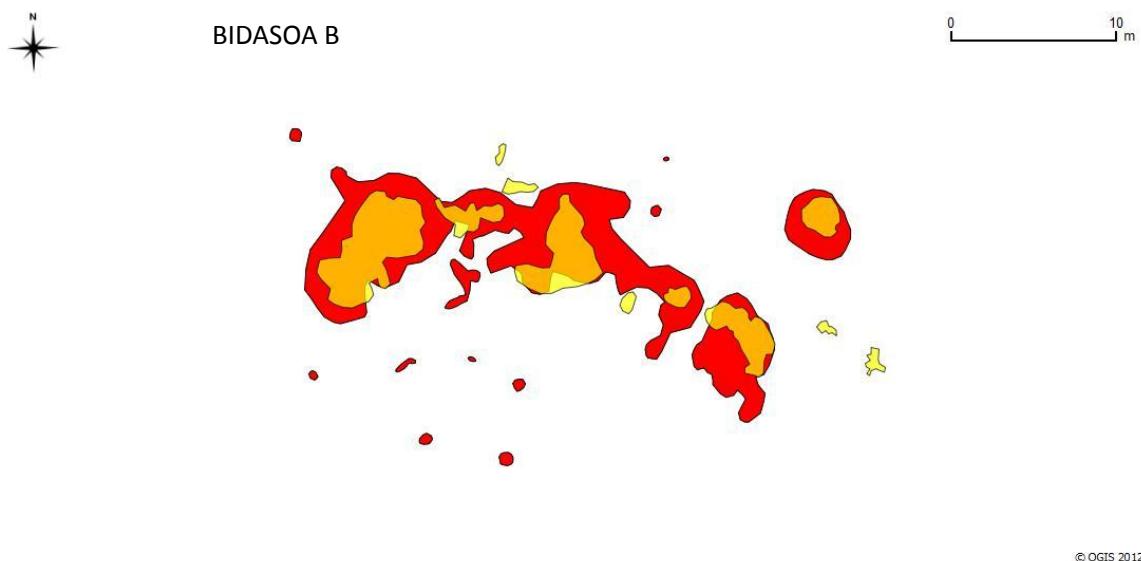
Al analizar los datos por estuario, en el Bidasoa las superficies ocupadas por *Z. noltii* en el año 2008 (muestreos realizados el 21 de julio y 21 de agosto) y en el año 2012 (muestreo realizado el 2 de agosto) han sido representadas conjuntamente para facilitar la comparación y poder obtener una impresión inicial sobre el aumento o disminución de su cobertura (Figura 65, Figura 66, Figura 68, Figura 70 y Figura 71). El estuario del Bidasoa ha sido dividido en 5 zonas (Figura 57) donde aparecen las praderas marinas para poder analizar los resultados con mayor detalle.

En la zona A las praderas de la especie prácticamente han desaparecido, ya que de las 4 manchas que se encontraron en 2008, únicamente permanece una en 2012 (Figura 65). 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* se ven enormemente dificultados.



**Figura 65.** Estuario del Bidasoa. Zona A, frente a Plaiaundi, a un lado del aeropuerto. Las manchas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de solapamiento 2008-2012 se representan en naranja.

La zona B se encuentra en las marismas de Itzaberri dentro del Parque Ecológico de Plaiaundi. Es una zona arenosa, donde ha aumentado la presencia de *Z. noltii* en 2012 debido a la fusión de las manchas presentes en 2008 (Figura 66).

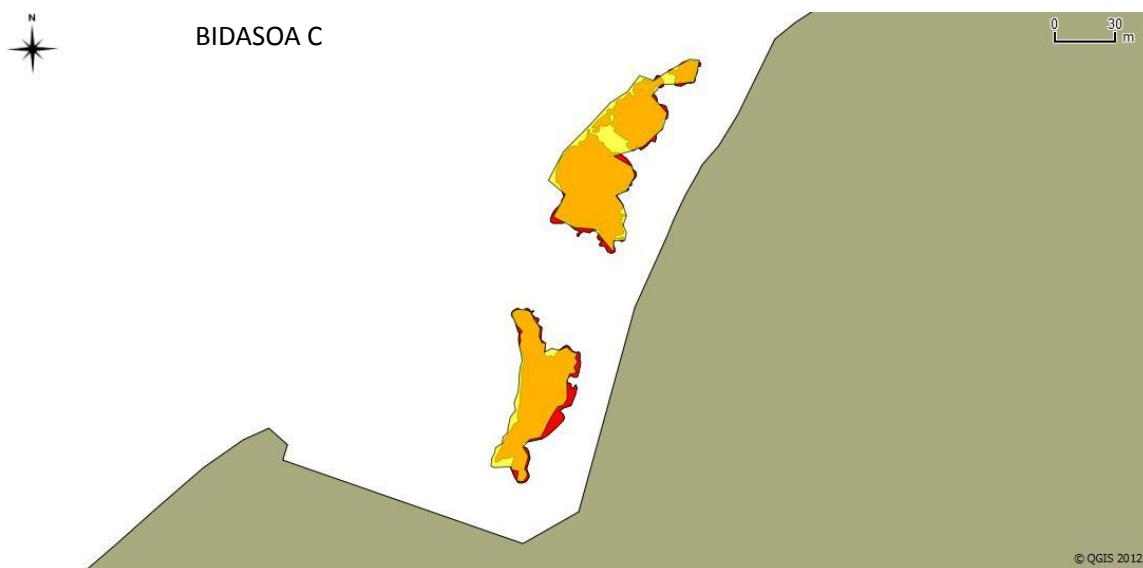


**Figura 66.** Estuario del Bidasoa. Zona B, en Plaiaundi, en las marismas de Itzaberri. Las manchas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja.

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 67). La superficie apenas ha sufrido modificación y la especie se ha mantenido ocupando prácticamente el mismo lugar tanto en 2008 como en 2012 (Figura 68).



**Figura 67.** Rampa de acceso al agua en Puerto Kaneta que divide las dos zonas con pradera de *Zostera noltii*.

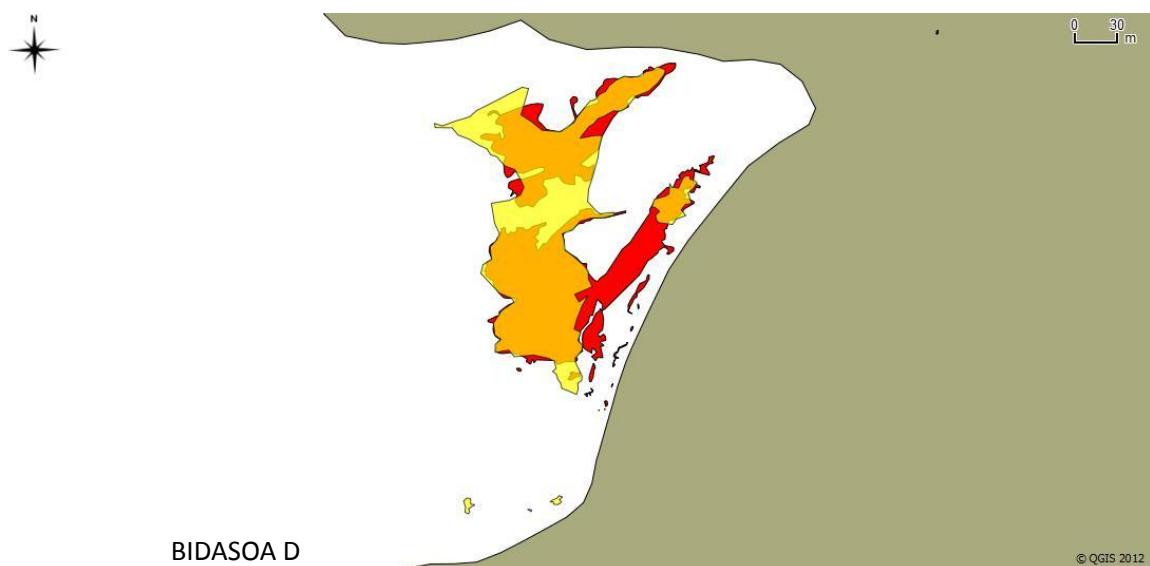


**Figura 68.** Estuario del Bidasoa. Zona C, en Puerto Kaneta (Hendaia). Las manchas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja.

La zona D, al sur de la isla de los Pájaros en Hendaia, fundamentalmente es arenosa y presenta abundancia de *Spartina* que, en algunas áreas, comparte el mismo espacio con *Z. noltii* (Figura 69). Si bien se observa que las praderas de *Z. noltii* han desparecido 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 70). 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 quizá se haya sobreestimado ligeramente la superficie ocupada.

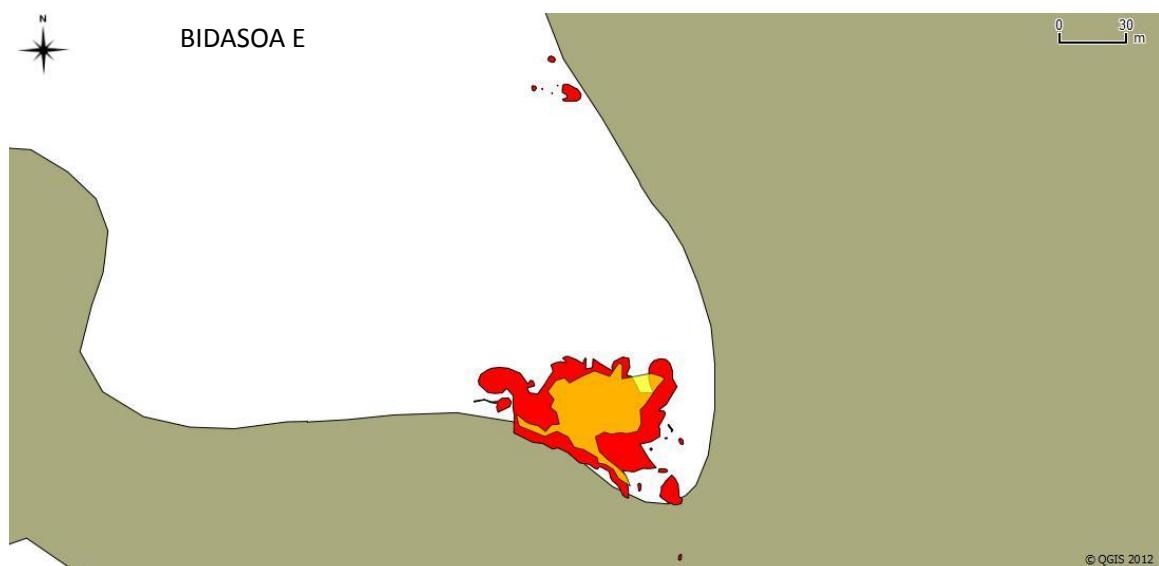


**Figura 69.** Estuario del Bidasoa. Zona D, al sur de la isla de los Pájaros (Hendaia). Las manchas de *Zostera noltii* se intercalan con las de *Spartina* (dos fotos superiores) e incluso comparten el mismo espacio (dos fotos inferiores).



**Figura 70.** 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 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 actuar como avanzadilla en la colonización de nuevas zonas (Figura 71).



**Figura 71.** 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.

Los resultados de estos análisis pueden observarse en la Tabla 12. En resumen, *Z. noltii* ocupaba en el Bidasoa una superficie de 1,84 ha en 2008 y 1,97 ha en 2012, correspondiendo 1,43 ha al mismo espacio en el estuario, es decir, esta área se encontraba ocupada por la especie 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.

**Tabla 12.** 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 total a lo largo del periodo de 2008 a 2012	2,37	100
Área que se ha mantenido ocupada desde 2008 a 2012 (estable)	1,43	60,2
Superficie que se pierde del 2008 al 2012 (desaparecido)	0,41	17,2
Superficie que se gana del 2008 al 2012 (colonizado)	0,54	22,7
Cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2008)	0,13	5,5
Cambio global (suma de lo que se pierde y lo que se gana)	0,95	39,8

En el Lea, las superficies ocupadas por *Z. noltii* en el año 2008 (muestreos realizados el 7 de julio) y en el año 2012 (muestreo realizado el 3 de agosto) han sido representadas conjuntamente para facilitar la comparación y poder obtener una impresión inicial sobre el aumento o disminución de su cobertura (Figura 72 y Figura 74). El estuario del Lea ha sido dividido en 2 zonas donde se establecen las praderas marinas para poder analizar los resultados con mayor detalle.

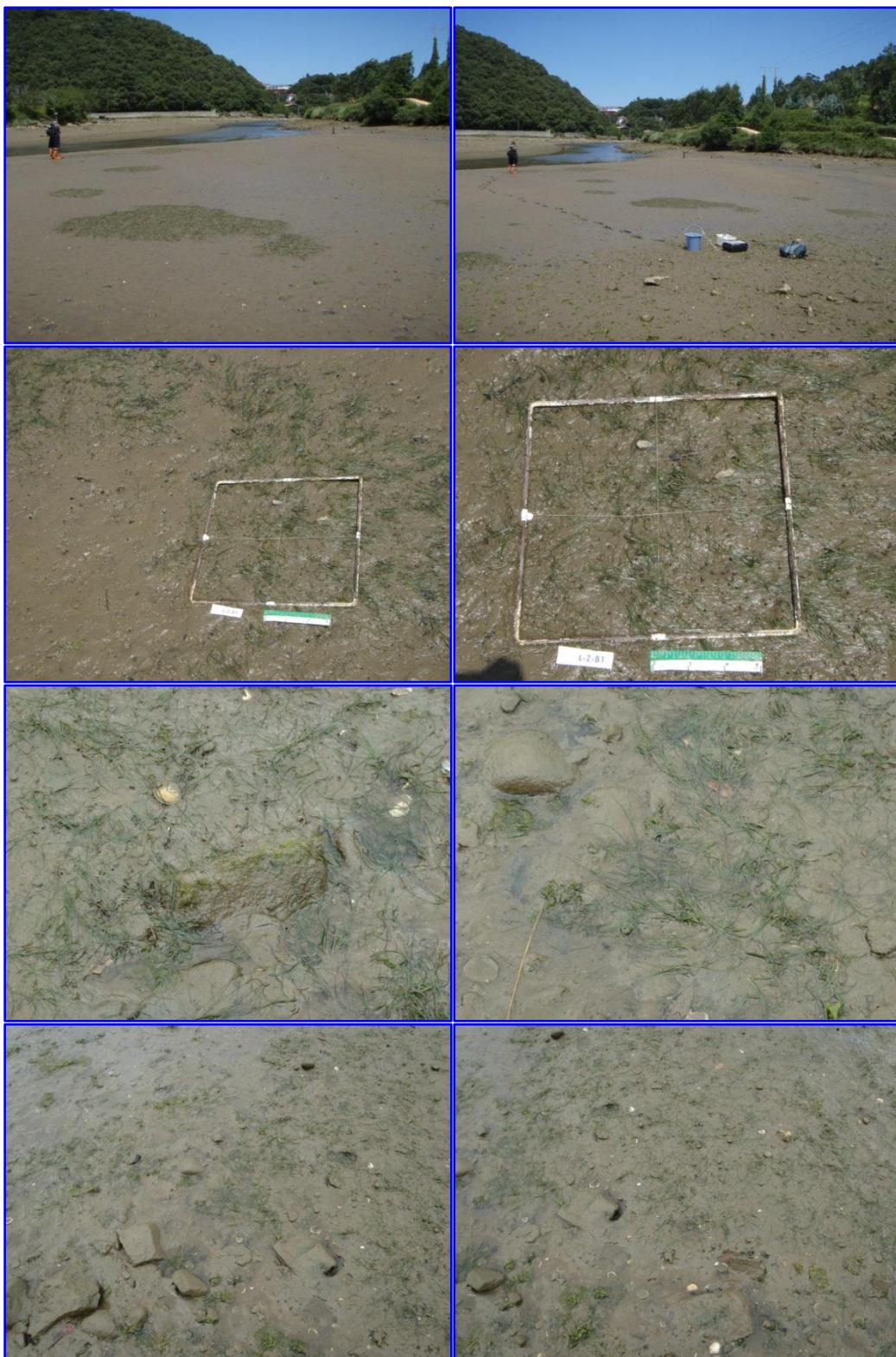


**Figura 72.** Estuario del Lea. Zona A. Las manchas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja.

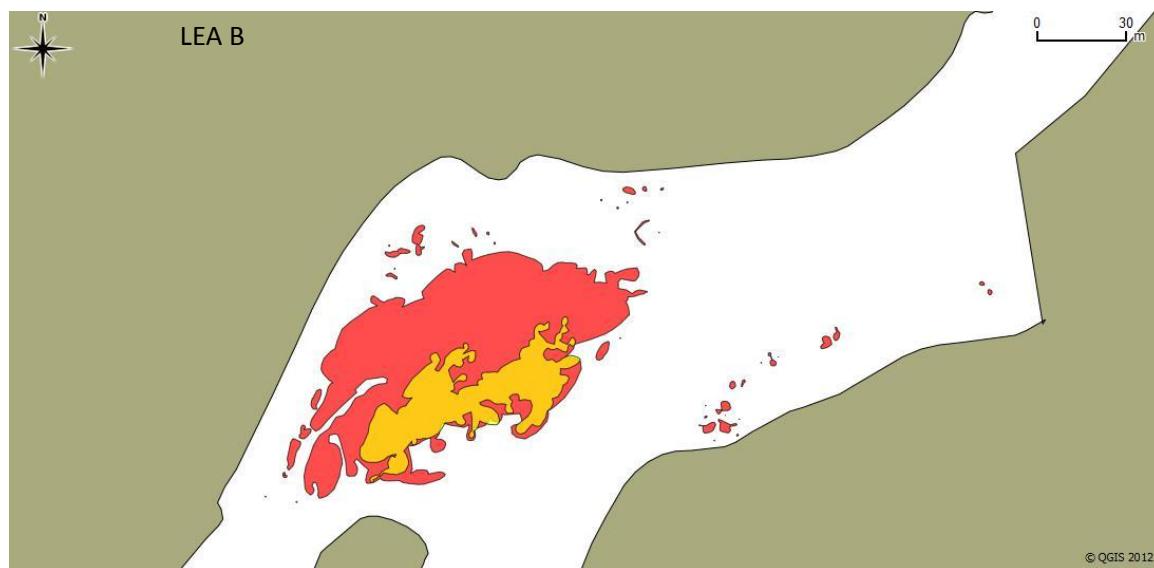
En la zona A se ha observado un gran aumento de la superficie ocupada por *Z. noltii* con respecto a lo registrado en 2008 (Figura 72). En 2008 se veían unas pocas manchas muy densas en el sedimento fangoso de la zona A2, mientras que en 2012 la superficie ocupada ha sido mucho mayor, encontrándose manchas 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 mientras que su parte central se compone de arena, gravilla y muchas piedras de pequeño tamaño, formando un piso endurecido donde *Z. noltii* presenta una extensa superficie con baja densidad (Figura 73).

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 74).

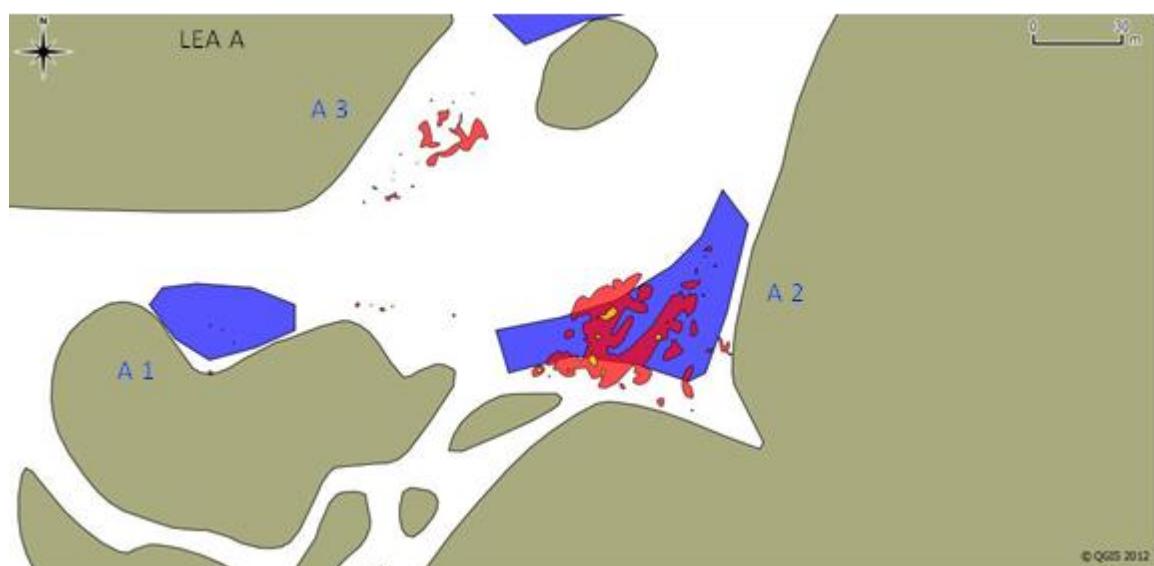
El análisis de cambios en la distribución se ha basado en la comparación de los datos obtenidos en 2007-2008 y la cartografía llevada a cabo en 2012. En la Figura 75 y Figura 76 se combina la información de 2007, 2008 y 2012. Como puede observarse, las superficies registradas en 2007 se parecen bastante 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 los mapas de 2007 y 2008, para luego volver a recuperarse para 2012 y ocupar el mismo espacio.



**Figura 73.** Estuario del Lea. Zona A (zona fangosa del este). En 2008 (4 fotos superiores) se observan manchas bien definidas sobre piso fangoso. En 2012 (4 fotos inferiores) la mancha es mayor y menos definida sobre piso pedregoso.

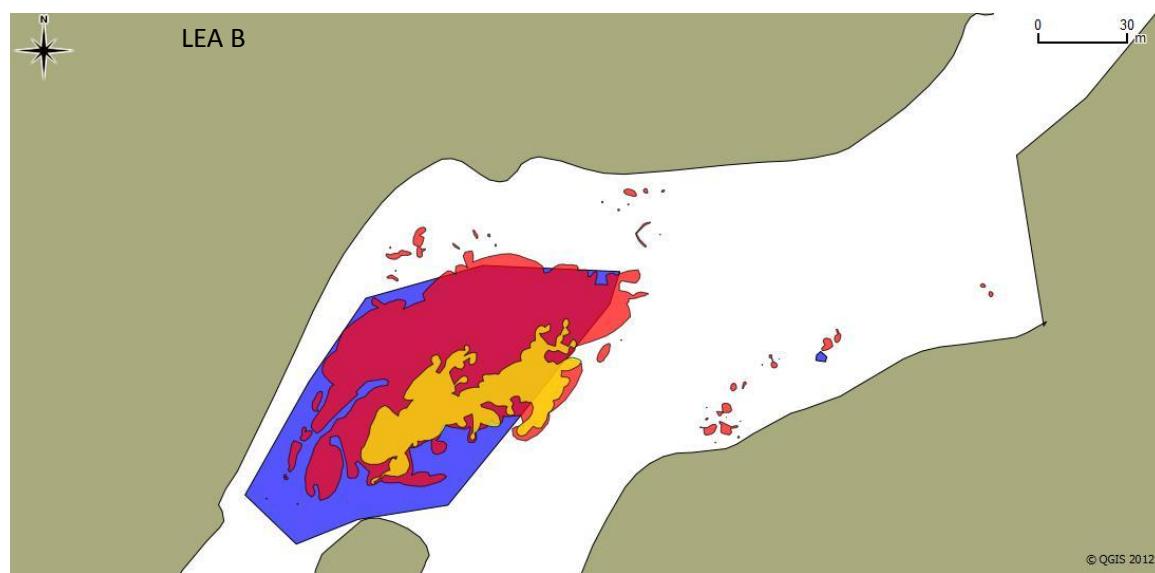


**Figura 74.** Estuario del Lea. Zona B. Las manchas de *Zostera noltii* cartografiadas en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja.



**Figura 75.** 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.

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.



**Figura 76.** 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.

Los resultados de estos análisis pueden observarse en la Tabla 13. 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 en el estuario, es decir, el total del área cartografiada en 2008 se encontraba ocupada por la especie en el 2012, considerándose como zona estable para la planta. En definitiva, en este periodo en el estuario del Lea se ha ganado una superficie de 0,49 ha.

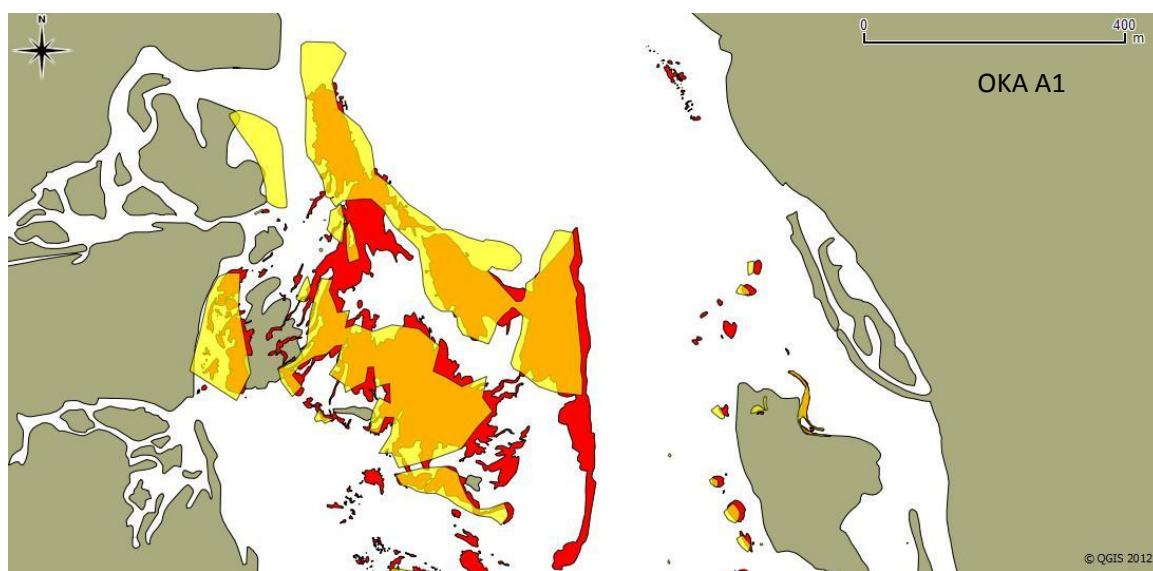
**Tabla 13.** Tabla resumen sobre los cambios analizados en la distribución de las praderas de *Zostera noltii* para el estuario del Lea en los años 2008 y 2012.

LEA	ha	%
Área ocupada en 2008	0,14	
Área ocupada en 2012	0,62	
Área ocupada total a lo largo del periodo de 2008 a 2012	0,63	100
Área que se ha mantenido ocupada desde 2008 a 2012 (estable)	0,14	22,0
Superficie que se pierde del 2008 al 2012 (desaparecido)	0,00	0,2
Superficie que se gana del 2008 al 2012 (colonizado)	0,49	77,9
Cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2008)	0,49	77,7
Cambio global (suma de lo que se pierde y lo que se gana)	0,49	78,0

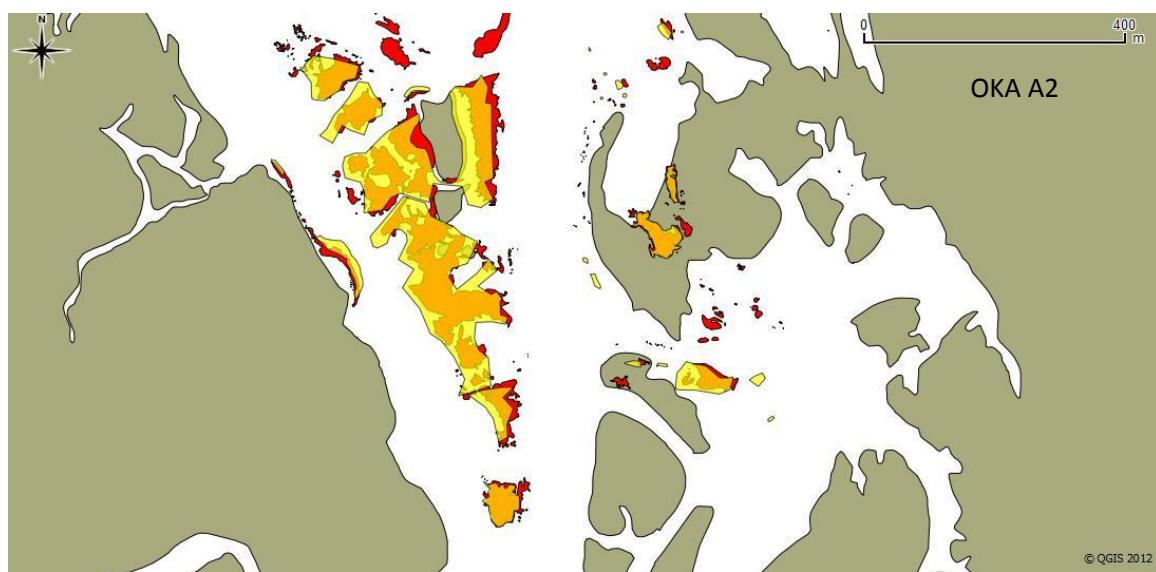
En el Oka, las superficies ocupadas por *Z. noltii* en el año 2008 (muestreos realizados el 16 y 17 de octubre) y en el año 2012 (muestreos realizados el 5, 23, 24, 25 y 26 de julio, y el 3 de agosto) han sido representadas conjuntamente para facilitar la comparación y poder obtener una impresión inicial sobre el aumento o disminución de su cobertura (Figura 77, Figura 78 y Figura 79). El estuario del Oka ha sido dividido en 3 zonas donde aparecen las praderas marinas, para poder analizar los resultados con mayor detalle.

Si bien las representaciones de la zona B (Arketas) corresponden a datos propios, en el resto de las zonas (A1 y A2), 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 fallaron las señales de satélite y no se pudieron tomar datos fiables en la zona. 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 (Figura 77 y Figura 78), a simple vista, no parece haber habido un gran cambio en la superficie de ocupación, excepto en la zona sur de la Figura 77 donde parece que las praderas han colonizado una franja longitudinal cercana al borde del canal principal y la completa desaparición de una mancha cartografiada en 2008, la única mancha completamente amarilla que se observa en la misma figura. No obstante, se aprecia la diferencia de detalle a la hora de dibujar los polígonos de 2008 (amarillo) y 2012 (rojo) lo cual puede afectar a la comparación de superficies entre ambos años.

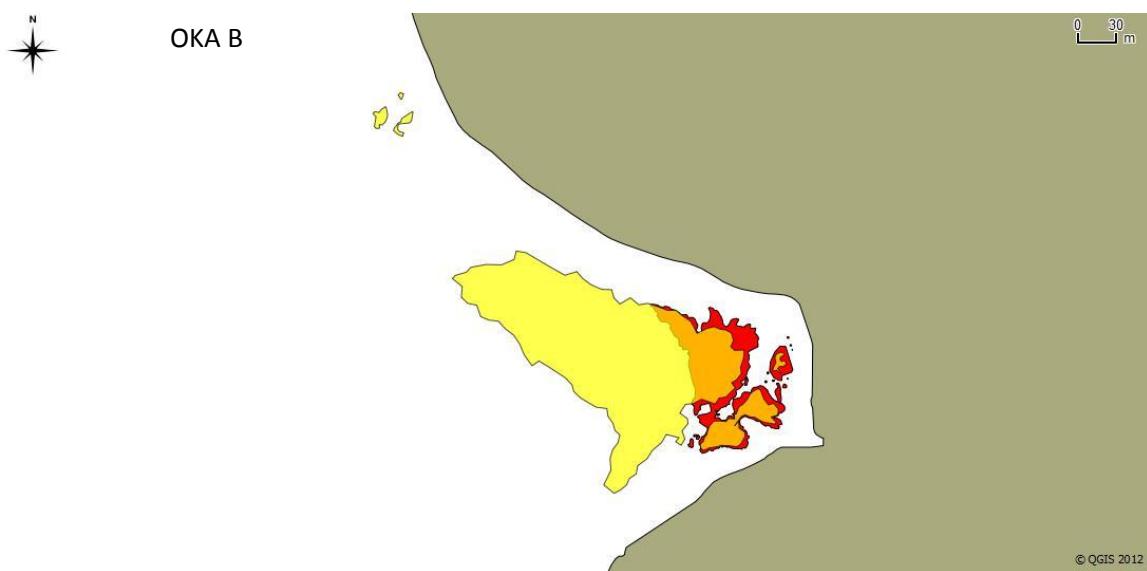


**Figura 77.** Estuario del Oka. Zona A1. Las manchas cartografiadas de *Zostera noltii* en 2008 se representan en amarillo y las de 2012 en rojo; las zonas de solapamiento se representan en naranja.



**Figura 78.** Estuario del Oka. Zona A1. 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.

En la zona B (**Figura 79**) se ve un claro retroceso de la superficie total de la zona.



**Figura 79.** 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.

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 estuario del Oka, y se han analizado teniendo en cuenta su ubicación específica en el espacio. Dada su gran extensión y la distinta fuente de los mapas de 2008, este estuario se ha dividido en 3 zonas para facilitar su interpretación y análisis: Kanala (al este del canal principal del río en las zonas A1 y A2 de la Figura 62), San Kristobal (al oeste del canal principal del río en las zonas A1 y A2 de la Figura 62) y Arketas (zona B de la Figura 62).

Los resultados de estos análisis para la zona de Kanala pueden observarse en la Tabla 14. En resumen, *Z. noltii* ocupaba en Kanala una superficie de 0,92 ha en 2008 y a pasado a ocupar 1,04 ha en 2012, y presenta 0,53 ha como zonas estables, ya que esta área se encontraba ocupada por *Z. noltii* tanto en 2008 como en 2012. En definitiva, en este periodo se ha ganado una superficie de 0,12 ha.

Los resultados de estos análisis para la zona de San Kristobal pueden observarse en las Tabla 15. En resumen, *Z. noltii* ocupaba en San Kristobal una superficie de 17,9 ha en 2008 y actualmente ocupa una superficie de 15,6 ha, correspondiendo 11,1 ha al mismo espacio en el estuario, es decir, esta área se encontraba ocupada por *Z. noltii* tanto en 2008 como en 2012 por lo que se podría considerar como la zona estable para esta planta. En definitiva, y a pesar 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 14.** 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 total a lo largo del periodo de 2008 a 2012	1,43	100
Área que se ha mantenido ocupada desde 2008 a 2012 (estable)	0,53	37,2
Superficie que se pierde del 2008 al 2012 (desaparecido)	0,39	27,2
Superficie que se gana del 2008 al 2012 (colonizado)	0,51	35,7
Cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2008)	0,12	8,5
Cambio global (suma de lo que se pierde y lo que se gana)	0,9	62,9

**Tabla 15.** 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 2008 y 2012.

OKA-SAN KRISTOBAL	ha	%
Área ocupada en 2008	17,9	
Área ocupada en 2012	15,6	
Área ocupada total a lo largo del periodo de 2008 a 2012	22,4	100
Área que se ha mantenido ocupada desde 2008 a 2012 (estable)	11,1	49,6
Superficie que se pierde del 2008 al 2012 (desaparecido)	6,79	30,3
Superficie que se gana del 2008 al 2012 (colonizado)	4,5	20,19
Cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2008)	-2,29	-10,2
Cambio global (suma de lo que se pierde y lo que se gana)	11,3	50,4

Los resultados de estos análisis para la zona de Arketas pueden observarse en las Tabla 16. En resumen, *Z. noltii* ocupaba en Arketas una superficie de 1,88 ha en 2008 y ha disminuido hasta 0,55 ha en 2012, correspondiendo 0,36 ha al mismo espacio en el estuario, es decir, esta área se encontraba ocupada por *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 perdido una superficie de 1,32 ha, lo que se traduce en una pérdida del 63,7% del área ocupada por la especie en esta zona del estuario a lo largo de todo el periodo o un 70,2% de la superficie cartografiada en el año 2008.

**Tabla 16.** 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 total a lo largo del periodo de 2008 a 2012	2,07	100
Área que se ha mantenido ocupada desde 2008 a 2012 (estable)	0,36	17,2
Superficie que se pierde del 2008 al 2012 (desaparecido)	1,52	73,3
Superficie que se gana del 2008 al 2012 (colonizado)	0,2	9,6
Cambio neto (superficie ocupada en 2012 - superficie ocupada en 2008)	-1,32	-63,7
Cambio global (suma de lo que se pierde y lo que se gana)	1,72	82,9

#### 4.6.3 Discusión

En el Bidasoa, la comparación entre los dos períodos de estudio no arroja diferencias importantes. Sin embargo, en el Lea sí que las hay. Al interpretar estos resultados hay que tener en cuenta también, que la cartografía de 2008 no se hizo de manera muy exhaustiva en este estuario, ya que el objetivo era caracterizar las zonas con presencia de *Z. noltii*. No obstante, esto no justifica la gran diferencia ya que es una zona accesible, de fácil recorrido, cómoda de muestrear, de relativamente poca extensión y fácilmente abordable. En este contexto, la desaparición de la planta no se considera muy probable. Sin embargo, para explicar estas diferencias obtenidas en los resultados, se plantean algunas hipótesis a continuación.

*Z. noltii* es una especie muy dinámica, con gran capacidad de crecimiento y que ofrece 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). A pesar de ello, no se espera que los mapas varíen mucho.

Por otro lado, observando las formas y tamaños de los polígonos de presencia en 2007, 2008 y 2012 en el Lea, 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, donde se incluye el criterio de búsqueda en campo y trazado de los polígonos de ocupación, probablemente ha sido diferente y, a consecuencia de ello, ha influido en el resultado final. 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 diferencias importantes en la superficie final ocupada, resultando mejor en la evaluación una combinación de métodos (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 insistentemente en la zona A1 (Figura 75) y no se pudo encontrar: este entrante o zona resguardada se encontraba llena y cubierta de troncos, ramas y hojarasca (Figura 80). Lo que parecía indicar que previamente había habido una riada o un evento de fuerte desplazamiento de material por el río. Si esto se hubiera producido, no sería descabellado pensar que también podría haberse dado un gran desplazamiento de arenas, que habrían enterrado parte de la pradera en las zonas A2 y B. Esto habría cambiado su vista aérea entre 2007 y 2008, resultando en

una disminución relevante de la superficie, aunque fuera temporal (como se ha visto con su recuperación en 2012 a su estado previo de 2007). 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).



**Figura 80.** Estuario del Lea. Zona A. Acumulación de troncos, ramas y restos vegetales en 2008.

Una o la combinación de estos tres aspectos que se han comentado podría explicar los diferentes mapas de distribución en 2007 y 2008.

En el caso del Oka, la importante disminución de la superficie en la cara oeste de Arketas (Figura 79) se debe a la modificación del trayecto del canal principal del río. Éste ha ido desplazándose hacia el este, afectando directamente a las praderas marinas aquí establecidas, y desplazando además grandes cantidades de arena que han ido enterrando parcialmente esta pradera. Además, la pradera ha ido ganando nueva superficie 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 sobre la pradera y entierra la planta), la zona de Arketas (Figura 81 y Figura 82) también está afectada por una importante presión humana: por un lado, se usa como embarcadero de pequeñas embarcaciones (tanto a motor, a remo o a vela), con los impactos directos que ello conlleva sobre la pradera (pisoteo; impacto con remos, con motores fuera borda y con quillas de embarcaciones; impacto de los muertos, cadenas y cabos de sujeción) y como zona de extracción de marisco y cebo para la pesca deportiva (pisoteo; levantamiento y volteo de sedimento).

En el caso de San Kristobal, en el 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 probablemente distinta metodología o, al menos, distinto nivel de detalle a la hora de dibujar los polígonos de ocupación en cada año, tal y como puede apreciarse en la Figura 77 y Figura 78. Además, se tiene constancia de que una mancha bastante grande contemplada en 2007 (la de ubicación 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. No obstante, esta última dificultad es aplicable del mismo modo a ambos cartografiados, por ser inherente a la metodología de muestreo, aunque su incidencia podría ser distinta al llevarse a cabo por distinto personal o equipo investigador.

En definitiva, excepto en la pérdida que se da en Arketas, en el Oka, 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 en años recientes, en otras zonas de Francia (Barillé *et al.*, 2010).



**Figura 81.** Estuario del Oka. Zona B. Uso como acceso de embarcaciones deportivas, uso como embarcadero, y efecto del marisqueo deportivo sobre las praderas marinas intermareales.



**Figura 82.** Estuario del Oka. Zona B. En estas fotos se ve la densidad de embarcaciones que hay en esta ensenada, el impacto directo de las embarcaciones sobre la pradera al bajar la marea, marcas de las quillas de las embarcaciones al apoyarse sobre la pradera, “calvas” en la pradera por el efecto del roce de las boyas y sus cadenas de sujeción.

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 saneamiento prácticamente no ha comenzado. Por otro lado, la mejora en las condiciones de calidad del medio, hace que los experimentos de transplante que se están realizando en el País Vasco puedan resultar más exitosos (Garmendia *et al.*, 2008).

## 4.7 ANÁLISIS GENÉTICOS

Diversos estudios teóricos han resaltado la gran importancia que la conectividad en el medio marino y costero (capacidad que tiene una población o conjunto de poblaciones de una especie para intercambiar individuos con otra población en un territorio fragmentado) tiene a la hora de determinar la resiliencia (capacidad de resistir/soportar perturbaciones) de las poblaciones de especies marinas (Cowen *et al.*, 2007). En este sentido, hoy en día se demanda incrementar el conocimiento sobre la conectividad marina de cara a optimizar las estrategias para conservar la biodiversidad (Chust *et al.*, 2012).

Por ello, para estudiar la conectividad existente entre las poblaciones de los estuarios vascos se utilizan técnicas genéticas para determinar la estructura de las poblaciones de la pradera marina *Zostera noltii* en distintos estuarios.

En el año 2011 se obtuvieron muestras (Tabla 17 y Figura 83) procedentes de distintas praderas marinas de *Zostera noltii* intermareal (Garmendia *et al.*, 2011). Las muestras de la vertiente francesa (Arcachon) han sido obtenidas gracias a una colaboración con el instituto de investigación marina Ifremer. Se ha incluido información de muestras de Vigo (Galicia) cedidas por Onno Diekmann (CCMAR-CIMAR, Universidad de Algarve, Faro, Portugal).

**Tabla 17.** Fechas de muestreo y número de muestras recolectadas en cada uno de los estuarios cercanos a la costa vasca.

Población	Nº muestras	Fecha
Arcachon (Francia)	17	31/05-12/06/2011
Santoña (Cantabria)	40	28/10/2011
Santander (Cantabria)	40	28/10/2011
San Vicente de la Barquera (Cantabria)	50	15/11/2011
Ribadesella (Asturias)	40	31/10/2011

En el año 2012, se han llevado a cabo los correspondientes análisis genéticos para conocer y comparar los niveles de variabilidad genética, diferenciación y flujo genético de algunas de las poblaciones de *Zostera noltii* existentes en la actualidad en la costa cantábrica, así como su conectividad entre los diferentes estuarios y la posible vulnerabilidad de sus poblaciones. Esta información se considera relevante para conservar las praderas marinas de *Zostera noltii* en el País Vasco y poder planificar actividades de restauración.



**Figura 83.** Praderas intermareales de *Zostera noltii* que han sido analizadas. 1. Arcachon; 2. Bidasoa; 3. Lea; 4. Oka; 5. Santoña; 6. Santander; 7. San Vicente de la Barquera; 8. Ribadesella; 9. Vigo.

#### 4.7.1 Material y métodos

Las muestras de *Zostera noltii* fueron caracterizadas mediante el contenido genético (genotipo) utilizando 7 loci microsatélites (Coyer *et al.*, 2004). Tras la eliminación de genotipos multilocus duplicados (ejemplares clónicos o *ramets* pertenecientes al mismo individuo genético o *genet*), se calcularon la diferenciación genética (*Fst*), la heterocigosidad (*He* y *Ho*) y el coeficiente de endogamia (*Fis*) usando el software Genetix. También se calculó la variación genética como la riqueza alélica estandarizada por el tamaño de muestra. Se utilizó la técnica del Análisis Factorial de Correspondencias (AFC) disponible en la versión 4.04 de Genetix (Belkhir *et al.*, 2004) para visualizar individuos en un espacio multidimensional basado en datos alélicos. Este procedimiento no agrupa *a priori* individuos en grupos, y por tanto, ofrece una ilustración más objetiva de la estructura poblacional. También se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para correlacionar genotipos y frecuencias alélicas entre todos los individuos sin utilizar información relacionada con la identificación de las especies o poblaciones. El software PCAGen (Goudet, 1999) utiliza datos de genotipos multilocus para analizar la correlación de las frecuencias alélicas y los genotipos entre todos los individuos muestreados. Se usaron 10.000 repeticiones para obtener los valores *p* para los ejes establecidos.

La estructura de la población fue analizada mediante técnicas de agrupación Bayesiana con el software STRUCTURE 2.3.1 (Pritchard *et al.*, 2000). STRUCTURE usa datos de genotipos multilocus individuales para agrupar individuos en K grupos mientras minimiza el desequilibrio Hardy-Weinberg y el desequilibrio de la fase gamética entre loci dentro de los grupos. Para todos los análisis, se efectuaron 10 pruebas independientes, cada una con un *Markov chain Monte Carlo* (MCMC) de 100.000 repeticiones tras una comprobación inicial (*burn-in*) de 25.000 repeticiones, y usando un modelo con frecuencias alélicas mezcladas y correlacionadas. El mejor número de unidades se definió del mismo modo que Evanno *et al.* (2005).

La correlación entre diferenciación genética y distancia geográfica entre poblaciones fue analizada con el IBD Web Service (<http://ibdws.sdsu.edu/>) (Jensen *et al.*, 2005).

#### 4.7.2 Resultados

La diversidad es muy variable en las poblaciones estudiadas y se encuentra entre 0,2 en Lea y 1 en Santander (Tabla 18). La heterocigosidad observada y esperada oscila entre 0,2625 y 0,615 y entre 0,3101 y 0,6459 respectivamente. Se observó una desviación significativa del equilibrio Hardy Weinberg en 4 poblaciones (Tabla 18). La riqueza alélica estandarizada para G=10 (tamaño de muestra de la población de Lea) resultó variable y osciló entre 2,651 en Bidasoa y 5,2 en Santoña. Bidasoa y Ribadesella mostraron la menor riqueza alélica, casi 2 veces inferior al de la riqueza alélica del resto de las poblaciones.

**Tabla 18.** Número de individuos recogidos (N), Número de *genets* (G), Diversidad genotípica (R), Riqueza alélica estandarizada ( $\bar{A}$ ), Heterocigosidad observada ( $H_o$ ) y esperada ( $H_e$ ) y Coeficiente de endogamia (Fis) con límite de confianza del 95% tras 10.000 permutaciones.

	N	G	R	$\bar{A}$ (10) + SD	$H_e$	$H_o$	Fis	95% CI	
Vigo	48	44	0,91	4,343 (0,485)	0,557	0,5084	0,09926	(0,00236 - 0,17197)	Sig
Ribadesella	40	14	0,33	2,654 (0,112)	0,35	0,4152	-0,14958	(-0,39330 - 0,01426)	Sig
San Vic Barquera	50	35	0,69	4,463 (0,335)	0,5365	0,5484	-0,00762	(-0,09840 - 0,04905)	ns
Santander	40	38	0,95	4,623 (0,305)	0,5874	0,5444	0,08674	(-0,02648 - 0,16377)	ns
Santoña	40	40	1,00	5,209 (0,404)	0,6459	0,615	0,06046	(-0,02808 - 0,13260)	ns
Oka	70	52	0,74	4,263 (0,422)	0,5372	0,4923	0,09335	(0,01232 - 0,16051)	Sig
Lea	47	10	0,20	3,857	0,4868	0,5817	-0,13788	(-0,84390 - 0,01558)	ns
Bidasoa	54	28	0,51	2,651 (0,181)	0,3101	0,2625	0,17164	(-0,00036 - 0,31645)	ns
Arcachon	17	17	1,00	5,08 (0,336)	0,5688	0,4235	0,28642	(0,11205 - 0,39002)	Sig

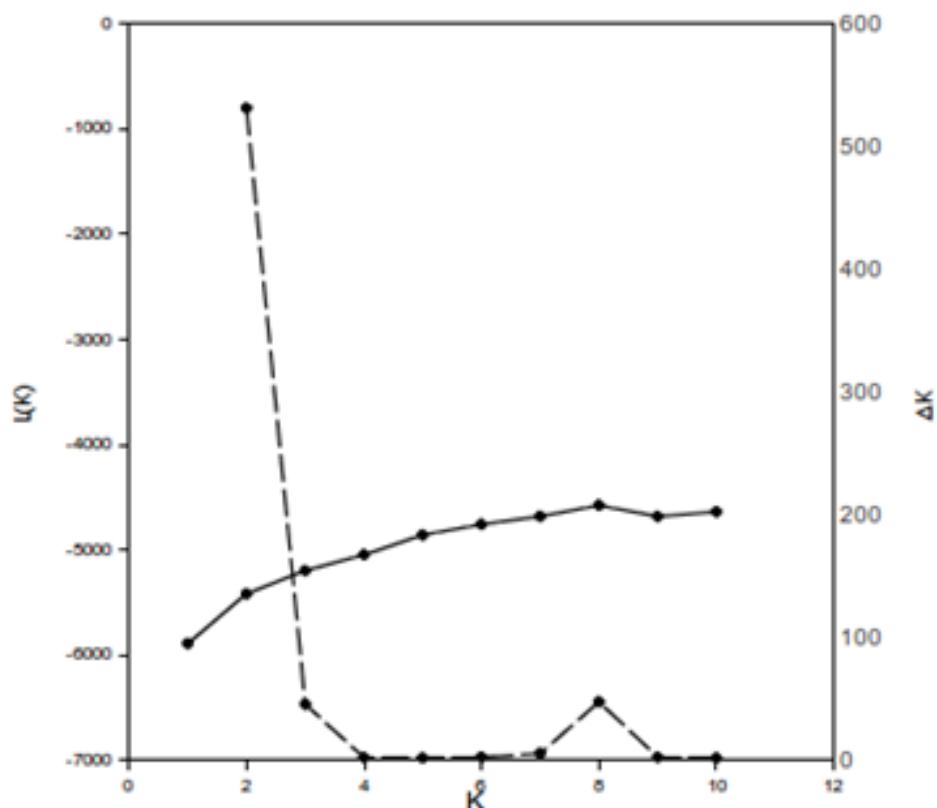
Para aquellas poblaciones donde había disponibilidad de coordenadas de las muestras (Bidasoa, Lea y Oka) se detectaron clones de gran tamaño. En el caso de Bidasoa, hojas recogidas en distintas manchas (A-G) pertenecen a veces al mismo genotipo multilocus. Un *genet* podría encontrarse en muestras de las manchas B-G lo que supone una distancia de más de 2 km. Esto podría significar que inicialmente existió un extenso clon no fragmentado, que se ha ido fragmentando con el tiempo o que se trata del resultado de la dispersión de material de la planta. Esto ocurre en las tres poblaciones.

Los valores de Fst resultaron todas significativas y oscilan entre 0,06 y 0,47 indicando que la diferenciación entre poblaciones es alta en la mayoría de los pares comparados (Tabla 19). Especialmente el Fst de Bidasoa con el resto de las poblaciones es muy alto: llama la atención que el Fst del Bidasoa con Lea (estuario cercano) es mayor que entre Bidasoa y Vigo, que se encuentran mucho más distanciados.

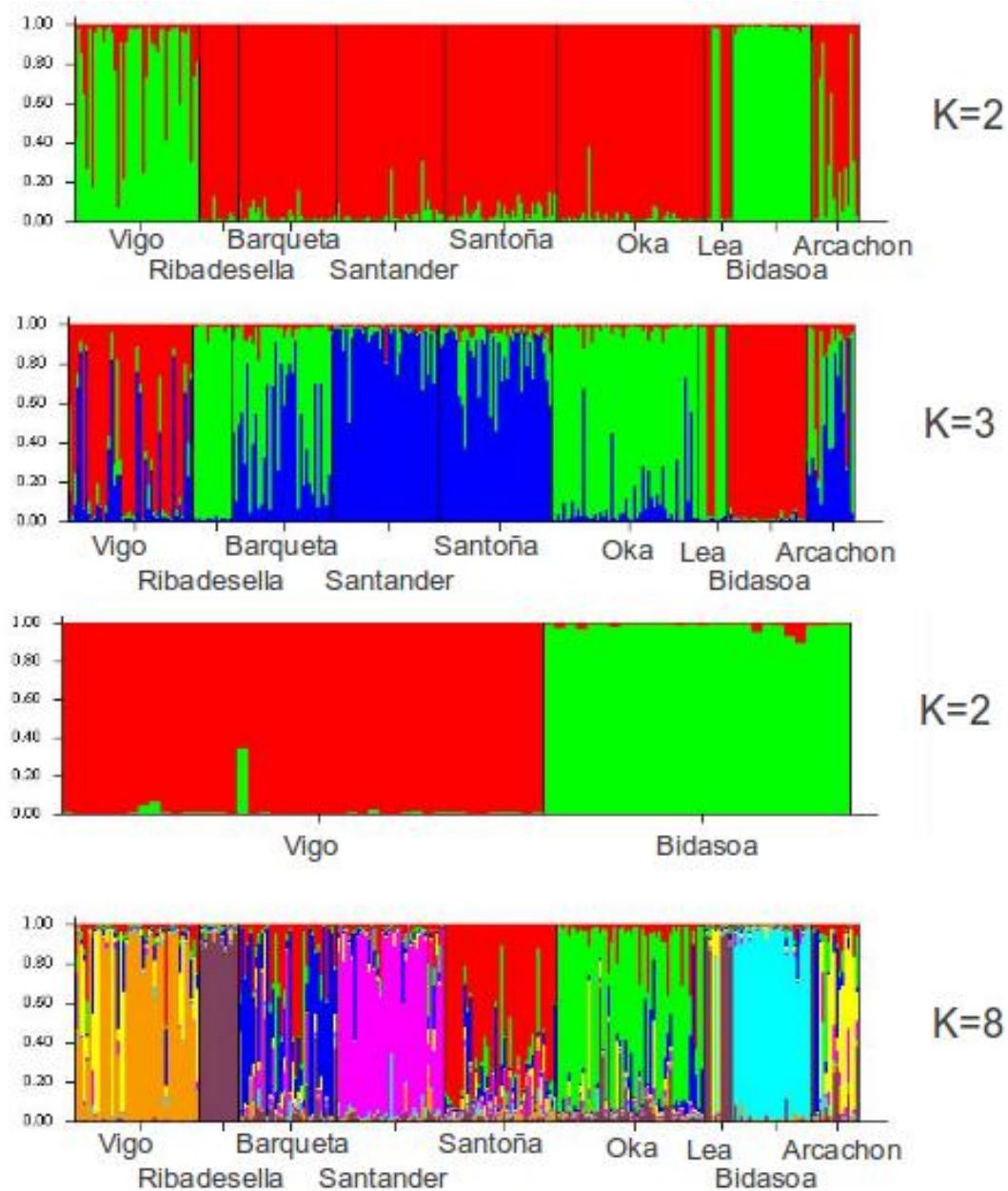
**Tabla 19.** Matriz de valores de diferenciación genética (Fst) dos a dos de *Zostera noltii*. Todos los pares Fst son significativos (10.000 pruebas) tras la corrección secuencial de Bonferroni.

	Vigo	Ribades.	S.V. Barq.	Santan.	Santoña	Oka	Lea	Bidas.	Arcach.
<b>Vigo</b>	0	0,32478	0,1527	0,18977	0,12145	0,17608	0,24766	0,30856	0,15991
<b>Ribadesella</b>		0	0,15976	0,20526	0,1759	0,1383	0,11917	0,47122	0,17143
<b>S.V. Barquera</b>			0	0,09356	0,06353	0,07568	0,14658	0,38111	0,08588
<b>Santander</b>				0	0,10355	0,14692	0,17212	0,35766	0,11956
<b>Santoña</b>					0	0,06601	0,12213	0,28247	0,08709
<b>Oka</b>						0	0,11758	0,34054	0,11244
<b>Lea</b>							0	0,36354	0,11476
<b>Bidasoa</b>								0	0,33058
<b>Arcachon</b>									0

El cálculo del número de agrupaciones más probable ( $\Delta K$ ) considerando todas las poblaciones dio como resultado  $K=2$ , obteniendo una menor resolución ( $L(K)$ ) con  $K=3$  y  $K=8$ . La representación de  $K=2$  (Figura 84) muestra al grupo formado por Vigo y Bidasoa separado del resto. Tras repetir el análisis *Structure* con solamente estas dos poblaciones, también se obtuvo un resultado de  $K=2$  y mostró claramente que Bidasoa y Vigo son diferentes. La representación con  $K=8$  muestra a todas las poblaciones separadas entre sí excepto Lea que está más agrupado con Ribadesella (Figura 85), que son dos poblaciones con pequeño tamaño de muestra. La representación de  $K=3$ , que presenta una similar resolución ( $L(K)$ ) que  $K=8$ , muestra agrupados a Vigo y Bidasoa y también a Santander y Santoña.

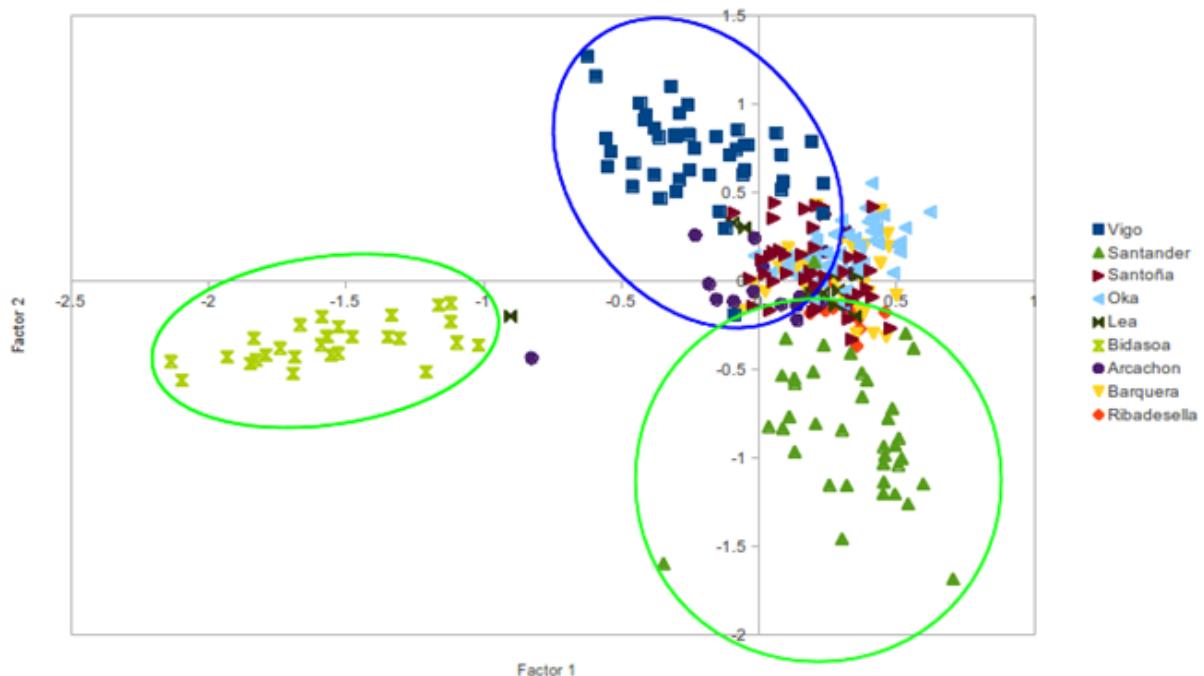


**Figura 84.** Cálculo del número más probable de K ( $\Delta K$ ) usando el procedimiento de Evanno *et al.* (2005). El más probable ( $\Delta K$ ; línea discontinua) es K=2, seguido con una menor resolución (L(K), línea continua) por K=3 y K=8.

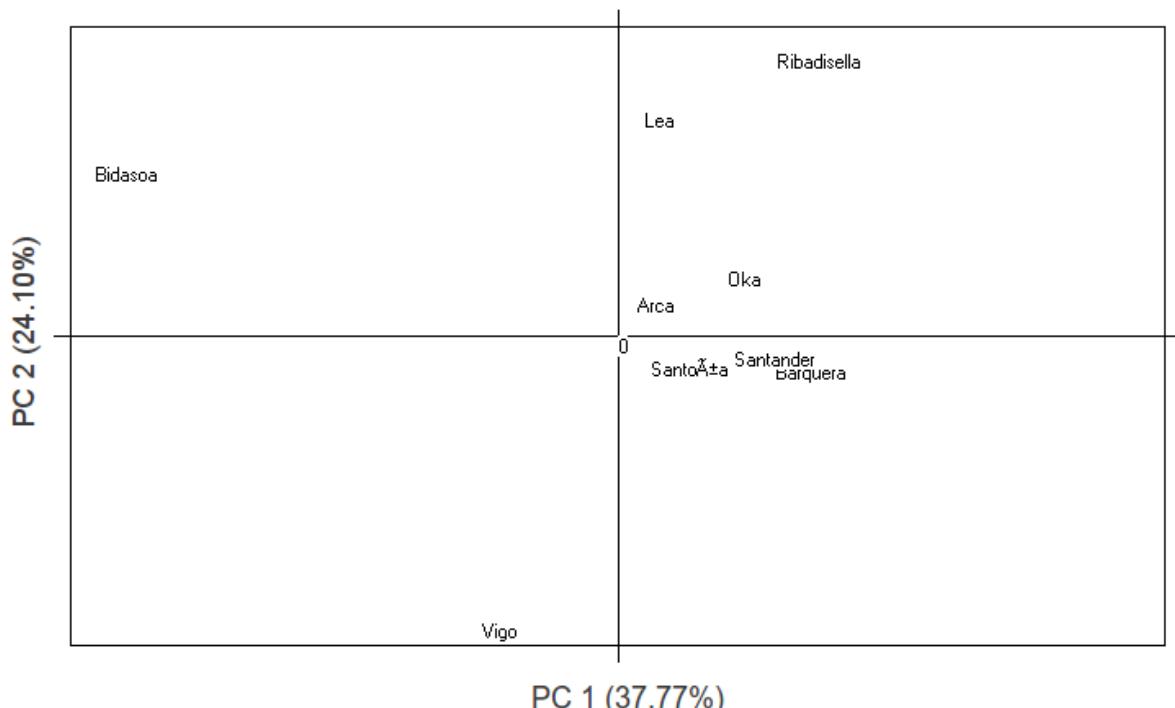


**Figura 85.** Resultados del análisis *Structure* con diferentes valores de K y 100.000 iteraciones. La primera, segunda y cuarta representación corresponde a todos los datos; en la tercera representación solamente se han usado Vigo y Bidasoa.

Tanto el AFC como el ACP (Figura 86 y Figura 87) muestran una clara diferenciación de las poblaciones. Ambos análisis reflejan que Bidasoa y Vigo forman grupos separados, lo que no coincide con el análisis *Structure* donde, en el resultado más probable de K=2, estas poblaciones se encuentran agrupadas.

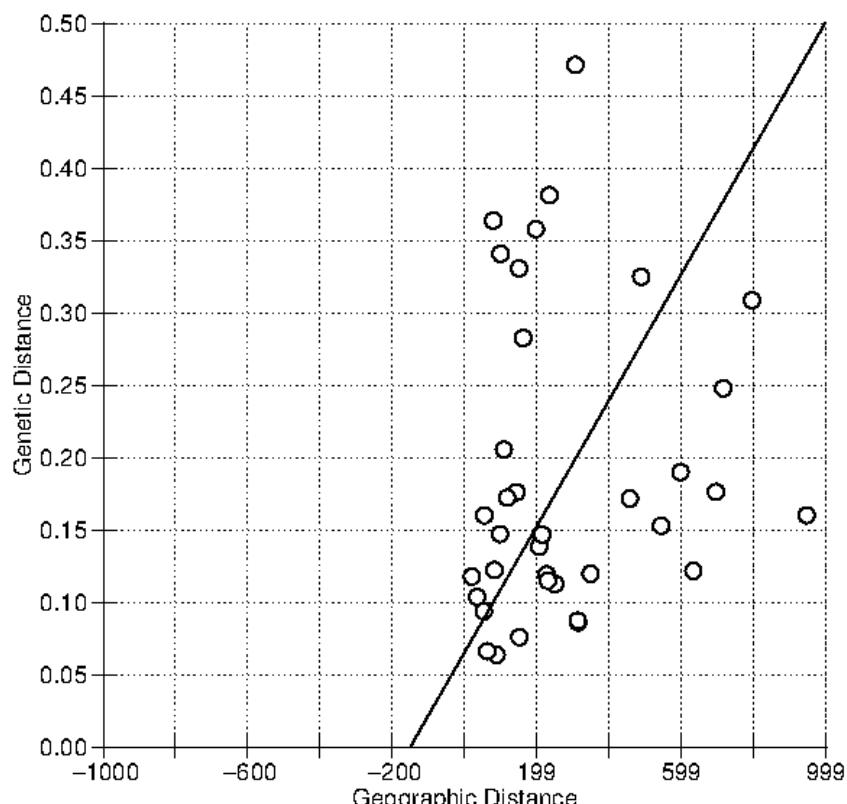


**Figura 86.** Análisis Factorial de Correspondencias (AFC) de todos los genotipos individuales de *Zostera noltii*. El Factor 1 explica el 27,2% y el Factor 2 el 18,2% de la variación.



**Figura 87.** Análisis de Componentes Principales (ACP): PC1 and PC2 son significativos ( $p=0,031$  y  $p=0,041$  respectivamente) y explican el 37,77% y 24,10% de la variación.

Al considerar todas las comparaciones de pares de poblaciones no hay correlación entre la diferenciación genética y la distancia geográfica (Figura 88) ( $Z=2043,4625$ ,  $r=0,1203$ ,  $p=0,2374$ ). Esto puede deberse a la población de Bidasoa debido a sus altos valores de Fst. Sin embargo, a pesar de eliminar la población de Bidasoa en un nuevo análisis, la correlación mejora pero sin llegar a ser significativa ( $Z=1334,0393$ ,  $r=0,4479$ ,  $p=0,09$ ).



**Figura 88.** Representación de la correlación entre la distancia geográfica y la distancia genética. No se detectó IBD significativo ( $Z=2043,4625$ ,  $r=0,1203$ ,  $p=0,2374$ ,  $R^2=0,0145$ ).

#### 4.7.3 Discusión

La diversidad genética en las poblaciones estudiadas es muy variable. En Santoña y Arcachon todas las hojas recogidas pertenecen a distintos individuos genéticos y la riqueza alélica de estas poblaciones es también la más alta entre todas las estudiadas. Lea y Ribadesella son genotípicamente menos diversas (clones más grandes), y también muestran una menor diversidad alélica.

Tal y como se refleja con los elevados Fst, las poblaciones consideradas se encuentran muy diferenciadas, lo cual significa que el flujo genético es bajo. Por ello, las oportunidades para que se produzca una recolonización natural tras la extinción de las poblaciones es muy improbable. Para aumentar el tamaño de estas poblaciones, por tanto, se sugiere, en primer lugar, realizar trasplantes utilizando plantas de las praderas existentes en el mismo estuario, con el objeto de mantener la identidad genética en cada uno de ellos. Sin embargo, si las praderas de un estuario desaparecen, se sugiere que el trasplante se ejecute desde aquellas poblaciones genéticamente más cercanas.

En los resultados obtenidos en el presente capítulo, Bidasoa se muestra muy diferente al resto de poblaciones, como refleja su elevado valor de Fst. Esta población tiene una diversidad genotípica moderada, pero una baja riqueza alélica en comparación con la de otras poblaciones. En el análisis *Structure*, parece que se agrupa con Vigo, que es una población muy distante. Pero al analizar únicamente estas dos poblaciones, se observa que son muy diferentes. Quizás, en el pasado, haya habido introducciones desde zonas no consideradas en el presente estudio que pudieran explicar la diferencia entre Bidasoa y el resto. Por tanto, debe tenerse cuidado a la hora de plantear el uso de esta población como donante en actuaciones de trasplante/restauración.

Por otro lado, de los análisis de la diferenciación genética (Fst), el AFC y el *Structure* del conjunto de las poblaciones se desprende la conclusión de que existe un elevado grado de fragmentación genética de las poblaciones de *Zostera noltii* a lo largo del litoral cantábrico. Según Chust *et al.* (2012) dicha fragmentación de las poblaciones de esta pradera marina le confiere un alto grado de vulnerabilidad frente a cambios ambientales, especialmente aquellos que impliquen una reducción en su hábitat disponible. Según estos autores, globalmente, los resultados sugieren que las plantas de marisma y las praderas marinas de *Z. noltii* son especialmente vulnerables a estos cambios, dada su capacidad de dispersión limitada, en particular aquellos cambios que reduzcan la extensión de su hábitat significativamente como las actividades antropogénicas y el ascenso del nivel del mar. En este sentido, las praderas de *Z. noltii* están en una situación particularmente vulnerable en los estuarios vascos debido la combinación de tres hechos: poblaciones genéticamente fragmentadas, poblaciones con poca densidad y extensión reducida, y presencia en pocos estuarios.

## 4.8 DISPONIBILIDAD DE HÁBITAT (HABITAT SUITABILITY)

### 4.8.1 Introducción

Tal y como se recomendaba en el informe *Trabajos de restauración de Zostera noltii en la costa vasca: actividades de 2011* (Garmendia *et al.*, 2011) y se recogía en el plan de trabajo del proyecto para este año 2012, una de las tareas previstas era el ajuste del modelo de disponibilidad de hábitat utilizando datos más recientes y de un rango temporal más estrecho.

Por un lado, el modelo aplicado anteriormente para la predicción de hábitats idóneos era un modelo basado en registros de presencia, modelo que se agrupa dentro de los métodos de *solo presencia*. Con el objetivo de mejorar el ajuste del modelo de *Zostera noltii*, se ha decidido actualizar los datos de distribución de la especie recogiendo zonas de presencia y ausencia. Así se amplia el número de los modelos aplicables a métodos de *presencia-ausencia* que vienen siendo muy utilizados en modelación de distribución de especies (Guisan y Zimmermann, 2000).

Por otro lado, en el modelo anterior se utilizaron: 5 variables relativas a las características topográficas del estuario; 5 variables que describían las condiciones sedimentológicas y una variable relativa a las características hidrográficas. Considerando las conclusiones obtenidas por Valle *et al.* (2011) y con el objetivo de obtener un modelo más robusto extrapolable a otras zonas potenciales de albergar poblaciones de *Zostera noltii*, el número de variables se ha reducido a cuatro variables en total (2 topográficas; 1 sedimentológica y 1 hidrográfica).

En resumen, durante el año 2012 el trabajo realizado en lo que se refiere a esta tarea se ha basado en: la selección de las variables a construir y su procesamiento; la actualización de los datos de distribución de la especie; y la aplicación de un modelo preliminar con el objetivo de evaluar la representatividad de las variables y el grado de ajuste del modelo.

Todo ello ha permitido sentar las bases para que durante el año 2013 se apliquen diferentes técnicas de modelización de hábitats idóneos e incluso se construyan ensamblados que predigan de manera más precisa la distribución de la especie. Los ensamblados se construyen a partir de la predicción espacial de varios modelos pudiéndose elegir los modelos más precisos y generar un solo modelo espacial de alta precisión (Araújo y New, 2007; Marmion *et al.*, 2009; Grenouillet *et al.*, 2011).

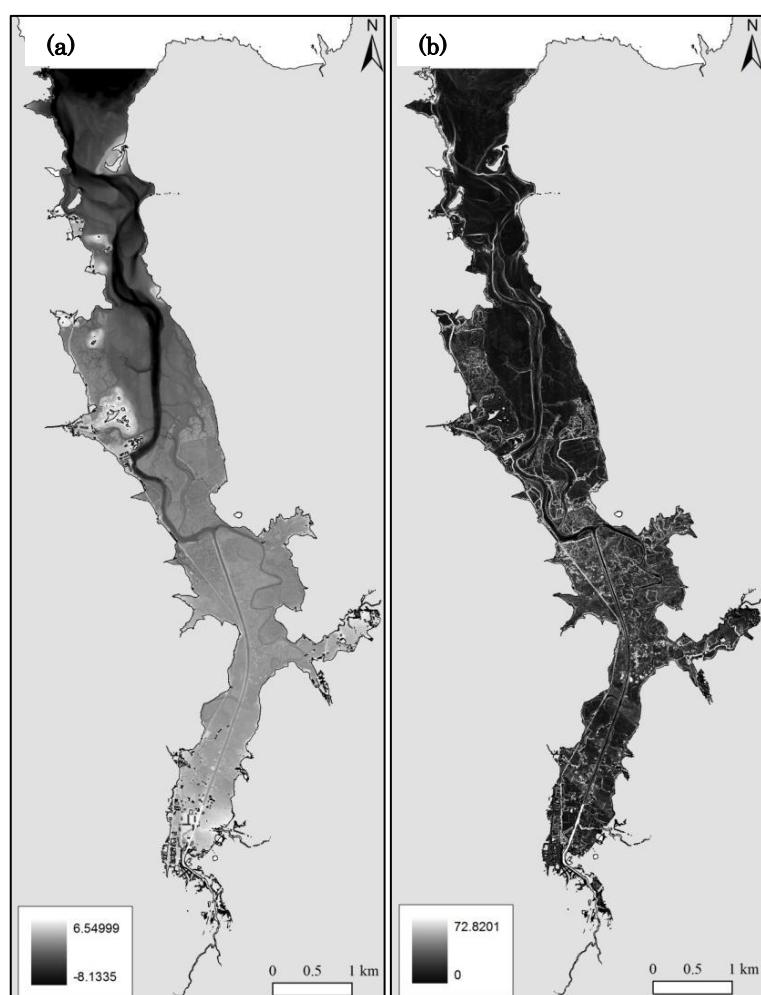
## 4.8.2 Material y métodos

### 4.8.2.1 Actualización de las variables ambientales

Las variables actualizadas hacen referencia a las características topográficas del estuario, a sus condiciones sedimentológicas y a sus características hidrodinámicas.

#### Características topográficas:

Para el modelo anterior la **variable altura intermareal** representaba un rango de altura desde -8 m hasta 4,56 m (ref. cero del puerto de Bilbao). Con el objetivo de construir un modelo extrapolable a escenarios futuros de subida del nivel del mar (Caballero *et al.*, 2009), se ha construido una nueva variable a partir de la fusión del LiDAR batimétrico y el LiDAR topográfico (Chust *et al.*, 2010) cuyo rango abarca desde -8 m hasta 6,55 m (ref. cero del puerto de Bilbao) (Figura 89a).

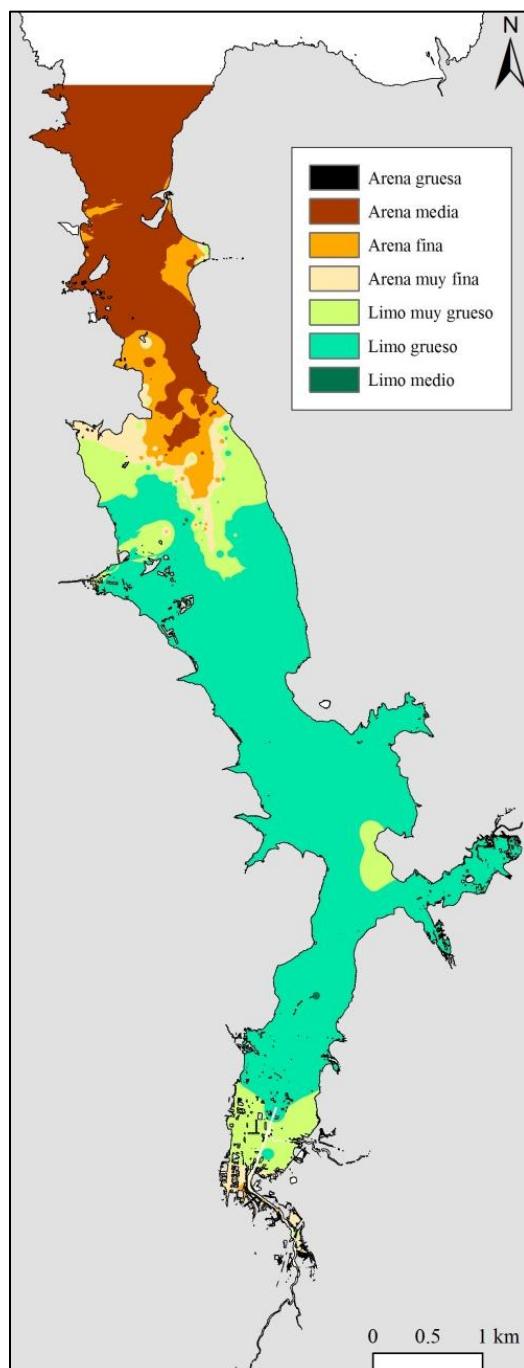


**Figura 89.** Variables actualizadas referentes a las características topográficas del estuario del Oka. (a) Altura intermareal (m). (b) Pendiente de la planicie intermareal (grados).

En base a la variable altura intermareal y siguiendo la metodología aplicada por Valle *et al.* (2011), se ha construido la variable **pendiente de la planicie intermareal** (Figura 89b).

#### Condiciones sedimentológicas:

Para el modelo actual, el número de variables relativas a las condiciones sedimentológicas del estuario se ha reducido a la variable **media granulométrica** (Figura 90).



**Figura 90.** Variable actualizada referente a la media granulométrica del sedimento (phi).

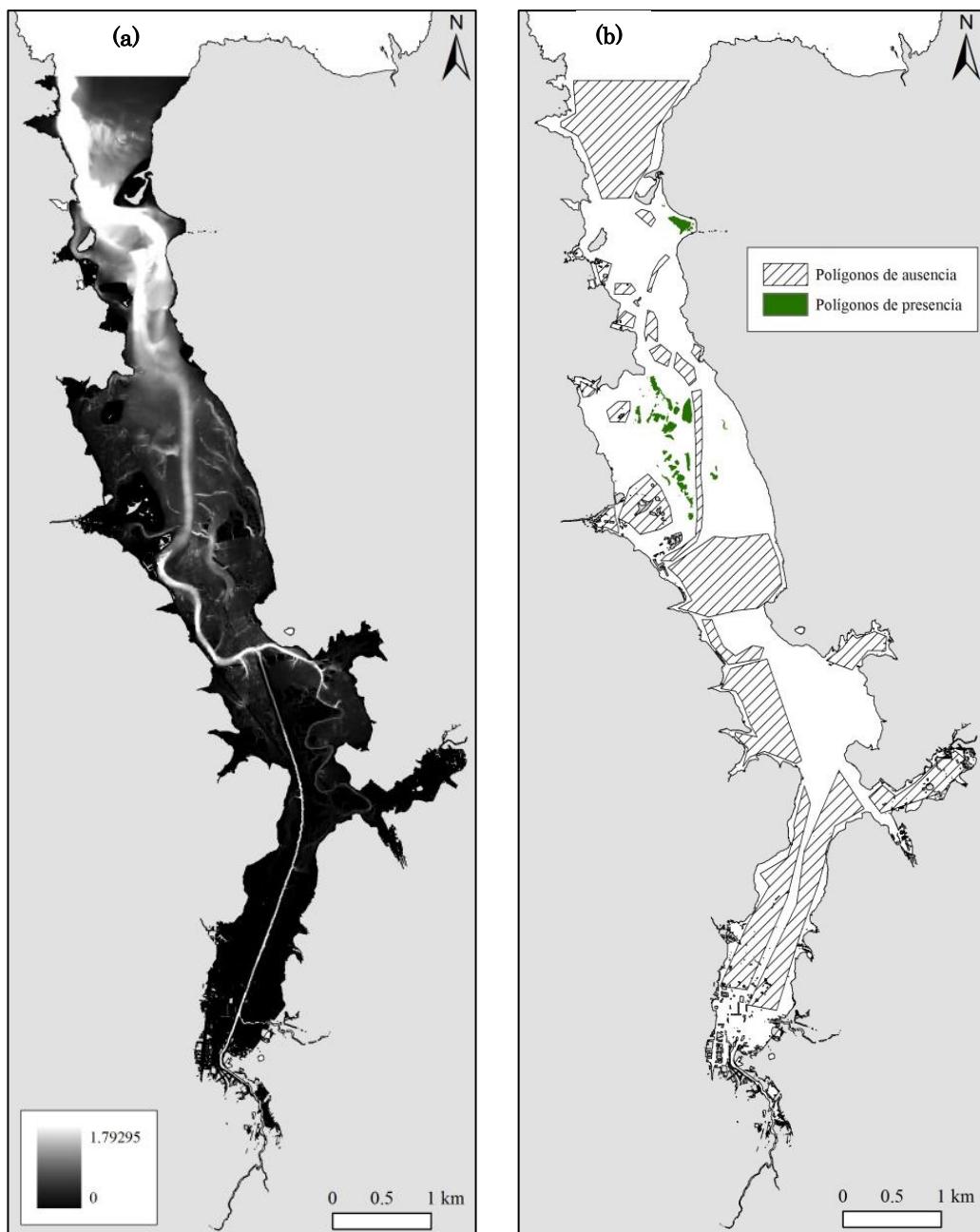
#### Características hidrológicas:

La variable **velocidad de la corriente máxima** ha sido calculada considerando el nuevo rango de alturas definido por la variable altura intermareal (Figura 91a). Para la construcción de esta variable se ha trabajado con el software MOHID (*water modelling system*) desarrollado por MARETEC (*Marine and Environmental Technology Research Center*) del Instituto Superior Técnico de Lisboa (IST) perteneciente a la Universidad Técnica de Lisboa. Este sistema de modelado utiliza el método de volúmenes finitos para simular los flujos hidrodinámicos y de transporte en el área objeto de estudio, resolviendo las ecuaciones primitivas de Navier-Stokes con la aproximación de Boussinesq, así como la ecuación de conservación de la masa. Para simular la corriente de marea, el modelo ha sido forzado por la imposición de la elevación de la superficie libre en la frontera de mar abierto. Esta elevación en la frontera se ha obtenido a partir de las cuatro componentes más importantes de la marea astronómica en la zona de estudio. Los valores de estas componentes se han obtenido del modelo FES2004 desarrollado por LEGOS (*Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales*, Toulouse).

#### **4.8.2.2 Actualización de distribución de la especie**

En el año 2010 se realizó un muestreo específico utilizando un receptor GPS Trimble R6 para generar la capa de presencia y ausencia de la especie. Este muestreo perseguía dos objetivos: (i) delimitar polígonos de ausencia de la especie; y (ii) completar las zonas de presencia de la especie que quedaron incompletas en el muestreo realizado por Garmendia *et al.* (2008) debido a la pérdida de la señal del satélite durante el muestreo.

Así se generó una nueva capa de presencia que incorpora los polígonos definidos durante el muestreo del 2010 y los obtenidos por los trabajos de Garmendia *et al.* (2008) y Valle *et al.* (2011) (Figura 91b). La capa de polígonos de ausencia, a su vez, incorpora los polígonos definidos durante el muestreo y otros digitalizados manualmente bajo el entorno de Sistemas de Información Geográfica ArcGis 9.3, teniendo en cuenta la variable altura y la situación geográfica en el estuario.



**Figura 91.** **a.** Variable actualizada velocidad de la corriente máxima (m/s). **b.** Distribución de los polígonos de presencia y ausencia de la especie.

#### 4.8.2.3 Aplicación modelos de distribución de especies

Durante este año 2012 se ha aplicado un método de presencia-ausencia basado en el **Modelo Aditivo Generalizado** (GAM) (Hastie y Tibshirani, 1990). El modelo GAM viene siendo muy aplicado en modelización de distribución de especies ya que presenta gran

flexibilidad para modelar relaciones complejas entre la variable respuesta y las variables predictoras modelando de manera precisa las relaciones ecológicas (Austin, 2002).

El modelo se aplicó mediante el paquete ‘mgcv’ (Wood, 2006) instalado en el entorno de programación *R*. Se incorporaron las variables predictoras anteriormente presentadas y 100.000 puntos de presencia y otros 100.000 puntos de ausencia generados de manera aleatoria sobre los polígonos de presencia y ausencia definidos.

Para la generación del modelo se limitaron los grados de libertad del suavizado a 5 grados. Así se fuerza al modelo a que cree curvas de respuesta unimodales ajustándose a la teoría del nicho ecológico de Hutchinson (1957).

Una vez generado el modelo ecológico se genera el modelo geográfico (el mapa de disponibilidad de hábitat) el cual presenta valores de probabilidad o idoneidad del hábitat entre 0 y 100. Para poder evaluar el ajuste del modelo a los datos observados se determinó un punto de corte a aplicar al rango de probabilidad que permitió convertir el modelo continuo en un modelo de dos clases (no idóneo-idóneo). A la hora de determinar el punto de corte se asumió el criterio de maximización del número de presencias y ausencias bien predichas. Esto se llevó a cabo en el mismo entorno de programación utilizando la función ‘evaluate’ del paquete ‘dismo’ (Hijmans *et al.*, 2012). Una vez binarizado, el modelo categórico se cruzó con los polígonos de presencia de la especie lo que permitió construir una matriz de confusión (Congalton, 1991) a partir de la cual se calcularon los errores de comisión (error de inclusión) y de omisión (error de exclusión).

La base de la matriz de confusión se expone en la Tabla 20.

**Tabla 20.** Componentes de la matriz de confusión y cálculo de errores de omisión y comisión.

Observado	Modelo			
	No idóneo	Idóneo	Subtotal	Omisión
Ausente	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	$\Sigma X_{1.}$	$1 - (X_{11}/\Sigma X_{1.})$
Presente	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	$\Sigma X_{2.}$	$1 - (X_{22}/\Sigma X_{2.})$
Subtotal		$\Sigma X_{.1}$	$\Sigma X_{.2}$	
Comisión	$1 - (X_{11}/\Sigma X_{.1})$	$1 - (X_{22}/\Sigma X_{.2})$		

Donde,

X<sub>11</sub> son las celdas donde observamos *ausencia* y el modelo predice *no idoneidad*,

X<sub>12</sub> son las celdas donde observamos *ausencia* pero el modelo predice *idoneidad*,

X<sub>21</sub> son las celdas donde observamos *presencia* pero el modelo predice *no idoneidad*,

X<sub>22</sub> son las celdas donde observamos *presencia* y el modelo predice *idoneidad*.

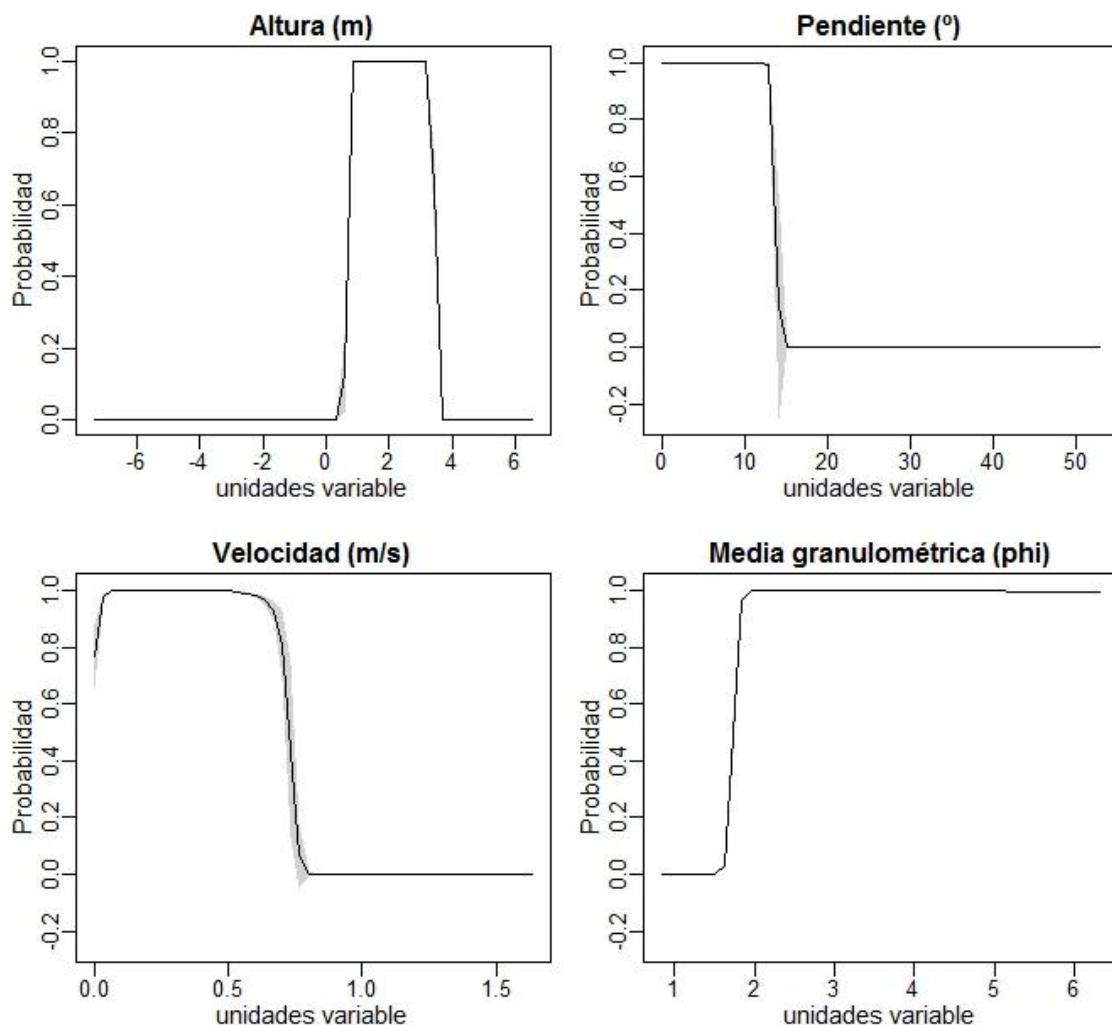
Tanto  $X_{11}$  como  $X_{22}$  son aciertos del modelo, mientras que  $X_{12}$  determina el error de comisión del modelo: se le denomina error pero en realidad se podría definir como hábitat potencial de la especie o hábitat idóneo, ya que son celdas que el modelo está prediciendo como idóneas pero no se ha documentado la presencia de la especie. El hecho de que la especie no esté presente podría deberse a limitación en la dispersión de la especie u a otros factores que no estén permitiendo que la especie se establezca. Por último  $X_{21}$ , muestra el error de omisión, celdas en las que se observa presencia pero el modelo predice como no idóneas. El modelo final se evaluará en base a este error, ya que determina la precisión del modelo: a menor error de omisión mayor precisión, es decir, más acierto se ha tenido al producir el mapa.

#### 4.8.3 Resultados

El modelo resultante de la aplicación del GAM mostró un valor de varianza explicada del 95,2%, es decir, el modelo compuesto por las cuatro variables actualizadas tiene la capacidad de explicar satisfactoriamente la distribución de la especie. Respecto al peso de cada variable, la variable altura intermareal es la variable más explicativa (70,1%); velocidad máxima de la corriente es la segunda variable más importante (56,6%); la variable relativa a la media granulométrica es la tercera (36,3%) y la variable que menos explica en el modelo es la variable de pendiente de la planicie intermareal (11,8%).

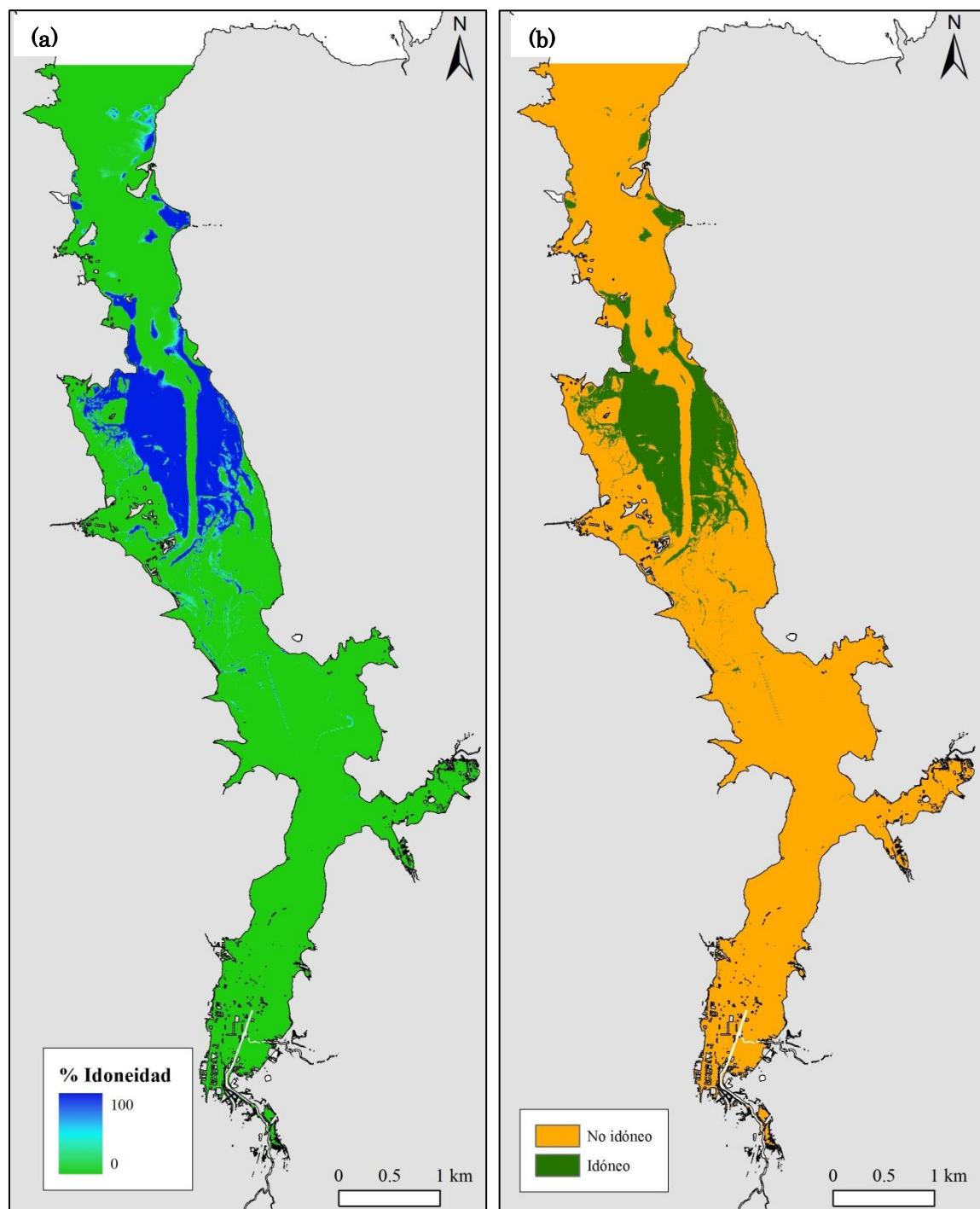
La Figura 92 muestra las curvas de respuesta para cada una de las variables. Todas las curvas representan una respuesta muy clara de la especie. En el caso de la *altura intermareal*, la curva muestra cómo la probabilidad de presencia de la especie se restringe a un determinado rango de altura, siendo el rango, aproximadamente, de 0 a 4 m. A partir de la curva de la variable *velocidad máxima de la corriente* se observa que la probabilidad de encontrar la especie comienza en condiciones de velocidad superior a cero (zonas cubiertas por agua) y disminuye radicalmente en velocidades superiores a 0,8 m/s. La respuesta a la variable *media granulométrica* también resulta muy descriptiva: en sedimentos con un tamaño medio de grano inferior de 2 phi la probabilidad de encontrar *Z. noltii* es nula. Considerando la escala phi, 2 phi se traduce en arena gruesa, es decir, arenas erosivas que no permiten el desarrollo de la especie. Mientras que la probabilidad resulta ser alta a lo largo de todo el gradiente desde 2 phi hasta 7 phi, es decir, desde arenas finas hasta limos gruesos, sedimentos más cohesivos que sí permiten el crecimiento de la especie. Por último,

la respuesta de la variable *pendiente* muestra que la probabilidad de encontrar la especie en pendientes superiores a 14% es prácticamente nula.

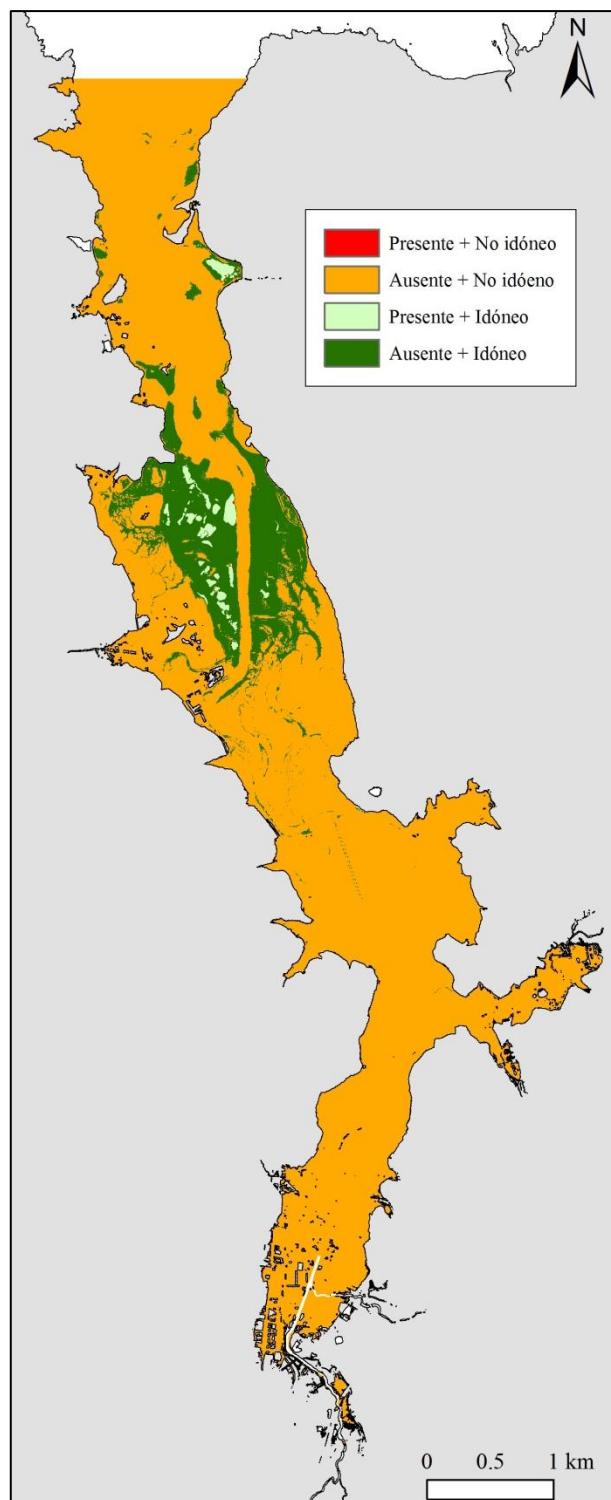


**Figura 92.** Curvas de respuesta de la especie a los rangos de cada una de las variables.

El modelo espacial obtenido para la especie se muestra en la Figura 93 en sus dos versiones: la continua (Figura 93a) y la categórica (Figura 93b). A su vez en la Figura 94 se muestra el mapa obtenido a partir de la comparación entre lo predicho y lo observado.



**Figura 93.** Mapas de idoneidad de hábitat de *Zostera noltii* en el estuario del Oka. (a) mapa continuo (0-100%) (b) mapa categórico (no idóneo-idóneo)



**Figura 94.** Mapa de evaluación del modelo.

A partir del mapa de evaluación del modelo (Figura 94) se ha obtenido la información necesaria para construir la matriz de confusión que se presenta en la Tabla 21. En dicha matriz se muestran las hectáreas ocupadas por cada una de las clases anteriormente explicadas. Posteriormente, con los datos de matriz se han calculado los errores de omisión y comisión para presencia y ausencia (Tabla 22).

**Tabla 21.** Matriz de confusión del modelo GAM. Valores en hectáreas.

		Modelo GAM	
		No idóneo	Idóneo
Observado	Ausente	89,98	14,19
	Presente	0,12	11,61

**Tabla 22.** Error de omisión y comisión del modelo GAM para cada uno de los estados observados.

	Error de Omisión	Error de Comisión
Ausencia	0,14	0,00
Presencia	0,01	0,55

#### 4.8.4 Discusión

Las nuevas variables construidas para ajustar el modelo del Oka han sido bien seleccionadas ya que en el primer ejercicio de modelización realizado se ha llegado a explicar el 95,2 % de la distribución de la especie.

La primera prueba con un modelo GAM ha obtenido resultados ecológicamente muy coherentes, la representación gráfica también muestra coherencia con la distribución conocida de la especie. Esto último se ha evaluado mediante el cálculo de los errores de omisión y comisión. El error de omisión obtenido para la presencia (0,01) de la especie indica un alto grado de ajuste del modelo a lo observado. El alto error de comisión (0,55) demuestra que hay mucho hábitat disponible para la especie que no está siendo ocupado, esas zonas se encuentran distribuidas en la zona central del estuario a ambos lados del canal, tanto en San Kristobal como en Kanala. Cabe mencionar que al norte del estuario, cerca de la línea de costa, aparecen pequeñas manchas de hábitat disponible las cuales pueden deberse a un error del modelo.

Este modelo es el primero de varios que se construirán en un futuro cercano y es una muestra alentadora, ya que con la aplicación de otras técnicas y la construcción de ensamblados se conseguirán modelos más precisos, robustos y ajustados.

## 4.9 EVOLUCIÓN RECIENTE DE POBLACIONES NATURALES

Otra de las tareas planificadas en este proyecto fue estudiar la evolución reciente de las poblaciones naturales de *Zostera noltii* mediante sensores aerotransportados. Por tanto, se procedió a la adquisición de imágenes provenientes del sensor hiperespectral *Compact Airborne Spectrographic Imager* (CASI) en la Reserva de la Biosfera de Urdaibai. Su objetivo inicial es evaluar el potencial de los datos hiperespectrales aerotransportados para la discriminación y cartografiado de las praderas marinas de *Z. noltii*. Para ello, se contrató el servicio de un vuelo con un sensor CASI al *Institut Cartogràfic de Catalunya* (ICC).

### 4.9.1 Preparación del vuelo

AZTI estableció como preferencias conseguir una resolución espacial elevada y definir unas bandas espectrales de interés para el estudio de las marismas con el sensor CASI (Figura 95). Para ello se optó por escoger una resolución espacial máxima posible con dicho sensor (2 x 2 metros) y una configuración espectral de 25 bandas. A continuación se especifican los parámetros de vuelo de Sensor CASI 550:

- Campo de visión aproximado 40,4 °
- Altura de vuelo aproximada 1495 metros
- Velocidad de vuelo 121 nudos
- Resolución espectral 25 bandas
- Píxeles por línea capturada 550 píxeles
- Ancho de pasada 1100 metros



**Figura 95.** Sensor CASI y avión Cessna Grand Caravan 208B, propiedades del ICC.

Para la configuración espectral del sensor CASI (*Compact Airborne Spectrographic Imager*), se eligieron 25 bandas con amplitudes espectrales similares. En la Tabla 23 se muestran la configuración espectral para el sensor. Para cada banda se detallan los límites espirales y la anchura de banda (en nanómetros) dentro del espectro electromagnético. La selección de las bandas se hizo acorde con la signatura espectral de *Z. noltii* y especies de algas estudiadas en otras zonas (Dekker *et al.*, 2005; Costa *et al.*, 2007; Thorhaug, 2007; Jollineau and Howarth, 2008; Phinn *et al.*, 2008). Las principales bandas seleccionadas:

1. 490-500 nm (mínimo de plantas y algas)
2. 550 nm (pico plantas verdes)
3. 680 nm (mínimo de plantas verdes)
4. 705-710 nm (*red edge*)
5. Picos de *Fucus* y *Gracilaria*: 550, 590-600 y 640-650
6. Mínimos de *Fucus* y *Gracilaria*: 570, 630, 680

**Tabla 23.** Bandas CASI seleccionadas.

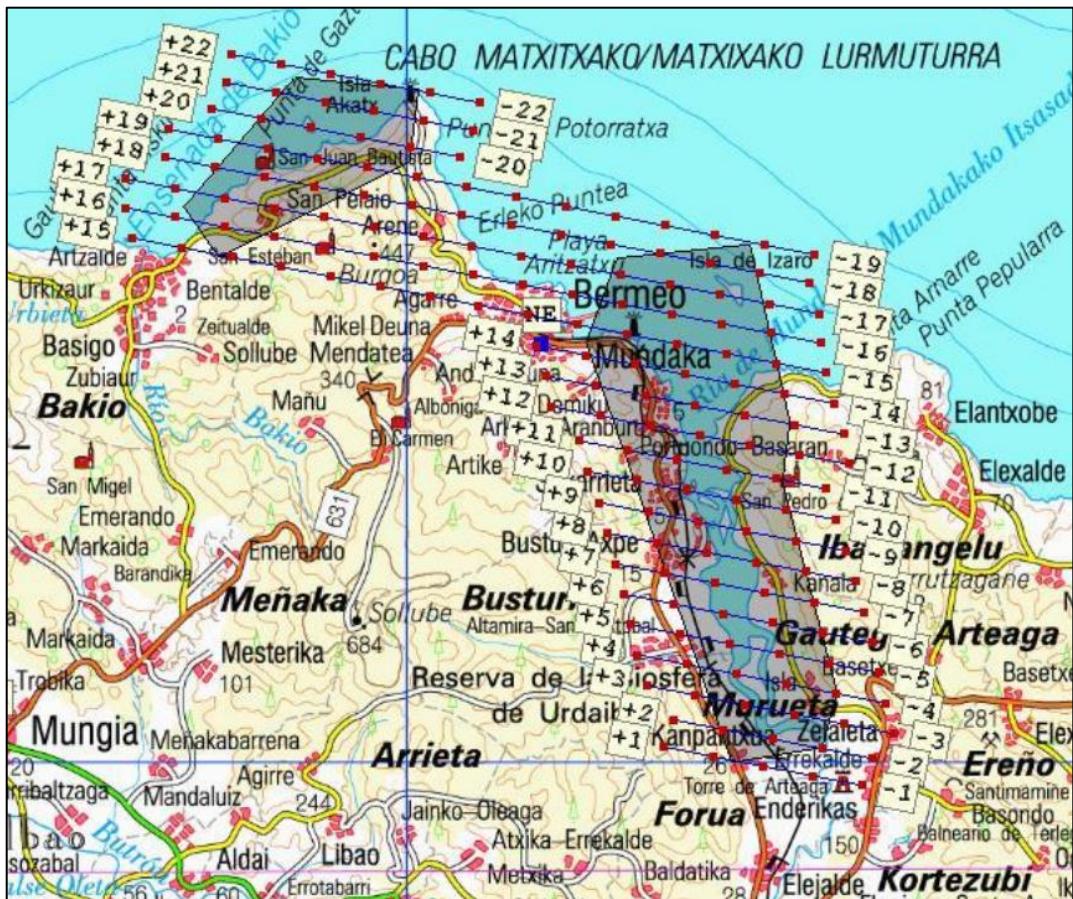
Banda	Centro (nm)	Banda	Centro (nm)
B25	948,8	B12	630,1
B24	899,2	B11	615,0
B23	858,0	B10	596,1
B22	811,3	B9	583,0
B21	784,3	B8	571,7
B20	747,8	B7	560,4
B19	736,3	B6	551,0
B18	719,2	B5	535,9
B17	705,8	B4	511,5
B16	694,4	B3	488,9
B15	679,3	B2	432,3
B14	667,9	B1	411,5
B13	645,2		

#### 4.9.2 Vuelo hiperespectral CASI y preprocesado de las imágenes

El día 3 de julio del 2012 se adquirieron las imágenes hiperespectrales con el sensor óptico aerotransportado CASI 550 en el estuario del Oka, según el plan de vuelo de la Figura 96. El plan de vuelo en la zona de trabajo fue diseñado para obtener imágenes durante la marea baja y evitando la intrusión de la iluminación solar directa. Para poder volar en estas condiciones la hora de ideal de vuelo cambiaba según el día. Se confeccionaron cuatro planes de vuelo para los días 3, 4, 5 y 6 de julio. Las condiciones meteorológicas de aquellos días fueron buenas y el mismo día 3 se sobrevoló la zona. El día 3 de julio, a partir de las 9:26

horas UTC se inició la captura de las imágenes CASI. A las 11:30 horas UTC se habían tomado las 22 imágenes.

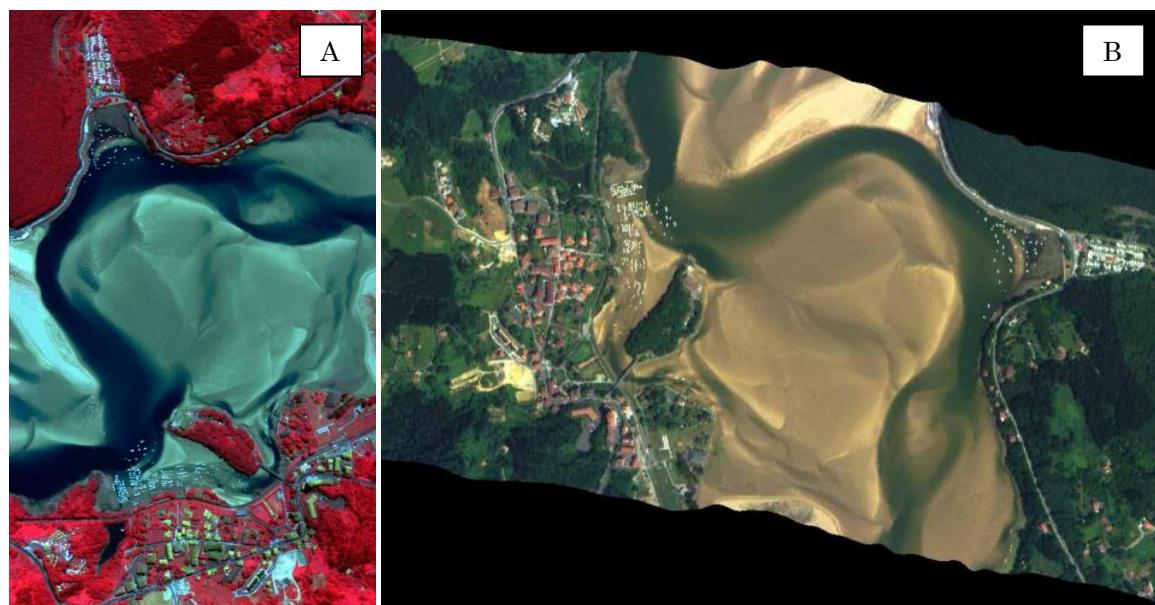
Estas imágenes fueron tomadas simultáneamente durante un vuelo conjunto con los dos sensores embarcados en el avión *Cessna Grand Caravan 208B* (Figura 95), propiedad del ICC. El vuelo fue planificado para obtener imágenes simultáneas de los dos sensores en las mejores condiciones de orientación para evitar la intrusión solar en las imágenes durante la marea baja. Una vez obtenidos los datos se realizó un control de calidad de las imágenes originales y de los datos del GPS e iniciales para validar todo el vuelo. Superado este control, las imágenes de los dos sensores han sido corregidas a diferentes niveles para mejorar el producto resultante. En concreto, para las imágenes CASI se han aplicado correcciones radiométricas derivadas de la calibración anual del sensor, y diferentes correcciones geométricas según el modelo digital del terreno. La última fase de trabajo se centra en la corrección atmosférica de las ortoimágenes CASI. Actualmente se están procesando los datos por el ICC.



**Figura 96.** Plan de vuelo.

El preprocesado de las imágenes comprende tres fases:

- Corrección radiométrica (Figura 97A)
- Corrección geométrica (Figura 97B)
- Corrección atmosférica (en proceso)



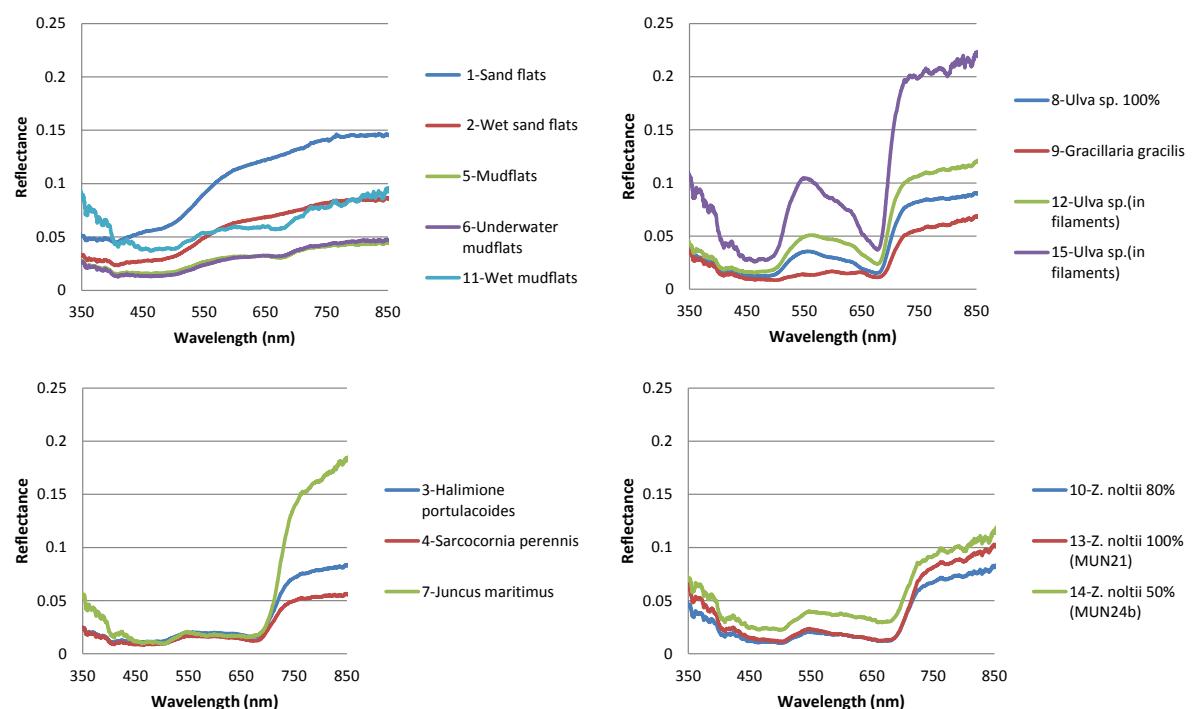
**Figura 97.** A) Subescena de la corrección radiométrica de la pasada 10 en la zona cercana a Sukarrieta (RGB: bandas 23, 16, 6); B) Muestra de la corrección geométrica (RGB: bandas 13, 6, 2).

#### 4.9.3 Medidas de campo

Simultáneamente a la adquisición de las imágenes, se realizaron un conjunto de medidas para posteriormente estudiar el potencial de discriminación de *Z. noltii* y comunidades de algas a partir de las imágenes:

- a. Medidas espectrales de campo (Figura 98.) (clases: *Z. noltii* 100% emergida, *Z. noltii* 100% sumergida, fangos, arenas, *Ulva*, *Gracilaria*, *Halimione*, fangos con algas).
- b. Densidad (número de haces) de *Zostera* emergida en un gradiente mediante trípode [4 intervalos (0-25%, 25-50, 50-75, 75-100 sobre arenas o fangos) bien representados: 8 por intervalo], y *Zostera* sumergida (ausencia y presencia en Arketas) (Figura 99). La densidad y la superficie de una hoja promedio, nos permitiría estimar el LAI (índice de área foliar: Área total de la superficie superior de las hojas dividido por área de unidad de terreno que se encuentre directamente debajo de la planta)

- c. Cobertura para las diferentes comunidades de algas y marismas y tipo suelo (arenas, fangos).
- d. Fotos con pértiga (Figura 100).
- e. Puntos GPS para definir zonas de entrenamiento para la clasificación (en zonas homogéneas de 6 x 6 m).
- f. Puntos GPS de *Zostera* (en zonas homogéneas de 4 x 4 m).



**Figura 98.** Medidas espectrales de campo con el sensor HR4000CG.



**Figura 99.** Medidas de campo con trípode.



**Figura 100.** A) Medidas de campo con pértiga y GPS. B) Fotografía obtenida mediante pértiga de 4 m de altura.

#### 4.9.4 Procesado de las imágenes e integración en un GIS

El estudio del potencial de discriminación a partir de las imágenes adquiridas y corregidas y los datos obtenidos en el campo se realizará mediante sistemas de información geográfica y métodos estadísticos de clasificación supervisada durante el año 2013.

## 5 CONCLUSIONES

En el transcurso de los distintos trabajos que se han llevado a cabo a lo largo de este año 2012 se ha ido obteniendo una serie de resultados y conclusiones fundamentales para la posterior toma de decisiones necesarias para ir avanzando en las tareas a ejecutar. Estas conclusiones, tanto intermedias como finales, son las siguientes:

- 1.** De las 4 UTs trasplantadas en **2009** en los sedimentos fangosos del Butroe, 3 han dejado de observarse durante este año 2012, probablemente afectados por la gran presencia de *Ulva* sp. en primavera. Tras 44 meses **únicamente sobrevive una UT**, con buen aspecto de hojas, buena densidad y una superficie 1,7 veces mayor a la inicial. Debe continuarse con su seguimiento.
- 2.** Tras 19 meses, el trasplante de **2011** del Butroe presenta una **superficie total** ligeramente superior a la inicial (**x1,2**), y una densidad de hojas con tendencia ligeramente descendente. Debe continuarse con su seguimiento.
- 3.** El trasplante ejecutado en 2012 se ha efectuado correctamente: se han trasladado 28 UTs del Oka al Butroe.
- 4.** Tras 8 meses, el trasplante B4 (8 UTs) de **2012** presenta una **superficie total** ligeramente superior a la inicial (**x1,2**). Debe continuarse con su seguimiento.
- 5.** Tras 8 meses, el trasplante B5 (20 UTs) de **2012** presenta una **superficie total** ligeramente inferior a la inicial (**x0,8**). Debe continuarse con su seguimiento.
- 6.** **Tras 30 meses**, aún **no se ha dado la recuperación completa** de la zona donante del trasplante de 2010 (sedimento fangoso), en el Oka. *Zostera noltii* ha comenzado a colonizar la zanja. Debe continuarse con su seguimiento.
- 7.** **Tras 8 meses**, aún **no se ha recuperado** totalmente la zona donante (sedimento arenoso) del trasplante de 2012 (28 UTs), en el Oka. En el caso de 2011, con idénticas condiciones, la plena recuperación se alcanzó en 7 meses. Durante el ejercicio de 2012 se han constatado impactos directos de embarcaciones que han podido afectar al normal desarrollo de su recuperación. Debe continuarse con su seguimiento.

**8.** La **presión o estrés** al que puede verse sometida la planta en las labores de extracción, **manipulación y trasplante no afecta** en su posterior supervivencia, tal y como demuestra la prueba realizada en estuario del Oka en 2012. Se llegó a la misma conclusión en el trasplante de 2011.

**9.** Se han encontrado **flores** de *Zostera noltii* en las praderas marinas de los estuarios vascos **entre junio y noviembre** de 2012 (ambos inclusive).

**10.** Teniendo en cuenta las fases de desarrollo de las flores y frutos, los meses que en 2012 han presentado una mayor garantía para una buena **recolección de semillas** han sido **octubre y noviembre**.

**11.** La **superficie total** ocupada por *Z. noltii* en los estuarios vascos en 2012 fue de **19,79 ha**, correspondiendo a zonas intermareales de sedimento arenoso y fangoso: 17,20 ha en el Oka, 1,97 ha en el Bidasoa y 0,62 ha en el Lea.

**12.** Las praderas marinas del País Vasco **no** se encuentran en una situación de **pérdida acelerada**: se ha perdido aproximadamente un 10%, entre 2007-2008 y 2012, pero la renovación también es **elevada** (53,1%), es decir, más de la mitad del área total resulta ser zona de cambio. El gran dinamismo que muestra la especie indica que para su conservación se deben conservar sus hábitats potenciales.

**13.** 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 **Oka-Kanala** también **ha aumentado** su superficie en 0,12 ha, y en **Oka-Arketas ha disminuido** en 1,33 ha. Por otro lado, se ha estimado una ganancia de superficie de 0,48 ha para el Lea y una pérdida de 2,3 ha para el Oka-San Kristobal, pero deben considerarse con “precaución”, debido a la poca garantía de la información de 2008.

**14.** Las praderas marinas de *Zostera noltii* establecidas en los estuarios vascos forman poblaciones **genéticamente diferenciadas** entre sí, lo que indica que el flujo genético entre ellas es bajo. La población del Bidasoa es la más diferente. También existe un elevado grado de fragmentación genética de las poblaciones de *Zostera noltii* analizadas a lo largo del litoral cantábrico.

**15.** Las praderas de *Z. noltii* están en una **situación** particularmente **vulnerable** en los estuarios vascos debido la combinación de tres hechos: poblaciones genéticamente fragmentadas, poblaciones con poca densidad y extensión reducida, y presencia en pocos estuarios.

**16.** El modelo de *Habitat Suitability* para *Zostera noltii* generado el año 2010 ha sido mejorado con datos más recientes del estuario del **Oka**. Su resultado señala que **hay mucho hábitat disponible** para la especie que no está siendo ocupado: estas zonas se encuentran distribuidas en la zona central del estuario a ambos lados del canal, tanto en San Kristobal como en Kanala.

## 6 RECOMENDACIONES

El interés sobre la conservación y estudio de las praderas marinas en el País Vasco sigue en aumento desde que, en 2008, se inició su estudio con mayor detalle. Dada su reconocida importancia al ser un elemento fundamental en el ambiente estuárico por la relevancia de las distintas funciones que desempeña y los bienes y servicios que ofrece, se considera imprescindible la continuación de los trabajos sobre el conocimiento y funcionamiento de las praderas marinas. Además, en la actualidad, la especie *Zostera noltii* está considerada dentro del grupo de *Especies, subespecies y poblaciones en peligro de extinción* en el Catálogo Vasco de Especies Amenazadas de la Fauna y Flora Silvestre y Marina (BOPV nº 37, del 23 de febrero de 2011). A continuación se realizan distintas propuestas que se consideran de gran interés para llevarse a cabo en el año 2013 (o en un futuro próximo). Algunas de ellas ya fueron propuestas en las memorias entregadas previamente, pero se vuelven a citar por no haber sido ejecutadas o completadas.

- 1.** Continuar con el seguimiento de los trasplantes realizados en 2009 en los sedimentos arenofangosos del estuario del Butroe.
- 2.** Continuar con el seguimiento de los trasplantes realizados en 2011 en los sedimentos arenofangosos del estuario del Butroe.
- 3.** Continuar con el seguimiento de los trasplantes realizados en 2012 en los sedimentos arenofangosos del estuario del Butroe.
- 4.** Continuar con el seguimiento de la alteración provocada en la zona donante del trasplante de 2010 en el estuario del Oka.
- 5.** Continuar con el seguimiento de la alteración provocada en la zona donante del trasplante de 2012 en el estuario del Oka.

- 6.** Estudiar la posibilidad de realizar nuevas actuaciones de trasplante en zonas aptas para ello: aprovechar los nuevos trasplantes para evaluar el efecto de los distintos periodos de inmersión y su adaptabilidad en un contexto de un probable futuro ascenso del nivel de mar.
- 7.** Aplicar el modelo de idoneidad de hábitat (*Habitat Suitability*) en distintos estuarios vascos para la búsqueda de nuevas zonas potenciales receptoras de trasplantes.
- 8.** Realizar pruebas, tanto en laboratorio como en campo, con semillas procedentes de las poblaciones vascas de *Zostera noltii* y evaluar su uso como alternativa de recuperación de praderas mediante siembra.
- 9.** Proteger las poblaciones actuales de *Zostera noltii* en el País Vasco y tomar las medidas pertinentes para su conservación. Si bien todas las zonas donde están establecidas estas praderas marinas en el País Vasco 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 hacer desaparecer o disminuir los efectos negativos.
- 10.** Informar, concienciar y educar a los usuarios de los estuarios donde se encuentran las praderas marinas, explicando los beneficios que aportan y el importante papel que juegan en el ecosistema estuárico. 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.
- 11.** Mantener contactos con expertos de otros grupos de investigación para intercambio de experiencias sobre fanerógamas marinas, trasplantes intermareales y, especialmente, *Zostera noltii*.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Alexandre, A., S. Cabaço, R. Santos y E.A. Serrao, 2006. Timing and success of reproductive stages in the seagrass *Zostera noltii*. Aquatic Botany, 85: 219-223.
- Araújo, M.B. y M. New, 2007. Ensemble forecasting of species distributions. Trends in Ecology & Evolution, 22: 42-47.
- Austin, M.P., 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. Ecological Modelling, 157: 101–118.
- Barillé, L., M. Robin, N. Harin, A. Bargain y P. Launeau, 2010. Increase in seagrass distribution at Bourgneuf Bay (France) detected by spatial remote sensing. Aquatic Botany, 92: 185-194.
- Belkhir, K., P. Borsa, L. Chikhi, N. Raufaste y P. Bonhomme, 2004. 1996-2004 GENETIX 4.05, logiciel sous Windows TM pour la génétique des populations. Laboratoire Génome, Populations, Interactions, CNRS UMR 5171, Université de Montpellier II, Montpellier (France). <http://www.genetix.univ-montp2.fr/genetix/genetix.htm>
- Borja, Á., 2005. The European Water Framework Directive: a challenge for nearshore, coastal and continental shelf research. Continental Shelf Research, 25: 1768-1783.
- Borja, Á., 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. Aguirrezzabalaga, I. Cruz, A. Laza, M.A. Marquiegui, J. Martínez, E. Orive, J.Mª 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.
- Busch, K.E., R.R. Golden, T.A. Parham, L.P. Karrh, M.J. Lewandowski y M.D. Naylor, 2010. Large-scale *Zostera marina* (eelgrass) restoration in Chesapeake Bay, Maryland, USA. Part I: a comparison of techniques and associated costs. Restoration Ecology, 18(4): 490-500.
- Cabaço, S. y 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 y 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 y M. Sprung, 2012. Population dynamics and production of the seagrass *Zostera noltii* in colonizing versus established meadows. Marine Ecology, 33: 280-289.
- Caballero, A., M. Marcos y G. Chust, 2009. Regional sea level change: projections and impacts in the Basque coast. 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE), 4-8 May 2009, Stresa (Italy).

- Chust, G., Á. Borja, A. del Campo, P. Liria, J. Franco, I. Muxika, R. Roa, J.G. Rodríguez, J.M. Garmendia, 2012. Inundabilidad de los estuarios y costa de Bizkaia por ascenso del nivel del mar mediante LiDAR topográfico y batimétrico: cartografía y evaluación de impactos. Informe inédito elaborado por AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua - Uraren Euskal Agentzia, 37 pp.
- Chust, G., M. Grande, I. Galparsoro, A. Uriarte y Á. Borja, 2010. Capabilities of the bathymetric Hawk eye LiDAR for coastal habitat mapping: a case study within a Basque estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 89: 200-213.
- Congalton, R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of the Environment*, 37: 35-46.
- Costa, M., E.A. Loos, A. Shaw, C. Steckler y P. Hill, 2007. Hyperspectral imagery for mapping intertidal vegetation and Roberts Bank tidal flats, British Columbia, Canada. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 33: 130-141.
- Cowen, R.K., G. Gawarkiewicz, J. Pineda, S.R. Thorrold y F.E. Werner, 2007. Population connectivity in marine systems. *Oceanography*, 20: 14-21.
- Coyer, J.A., T.B.H. Reusch, W.T. Stam, E.S Serrao, G. Pearson, G. Procaccini y J.L. Olsen, 2004. Characterization of microsatellite loci in the dwarf eelgrass *Zostera noltii* (Zosteraceae) and cross-reactivity with *Z. japonica*. *Molecular Ecology Notes*, 4: 497-499.
- Cunha, A.H., N. Marbà, M. Van Katwijk, C. Pickerell, M. Henriques, G. Bernard, A. Ferreira, S. García, S., J.M. Garmendia y P. Manent, 2012. Changing Paradigms in Seagrass Restoration. *Restoration Ecology*, 20(4): 427-430.
- Dekker, A.G., V.E. Brando y J.M. Anstee, 2005. Retrospective sea grass change detection in a shallow coastal tidal Australian lake. *Remote Sensing of Environment*, 97: 415-433.
- Evanno, G., S. Regnaut y J. Goudet, 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: a simulation study. *Molecular Ecology*, 14: 2611-2620.
- Garmendia, J.M., Á. Borja y 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., Á. Borja y J. Franco, 2010a. Trabajos de restauración de *Zostera noltii* en la costa vasca: actividades de 2009. Informe elaborado por AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua – Uraren Euskal Agentzia, Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco, 95 pp.
- Garmendia, J.M., J.G. Rodríguez, Á. Borja y J. Franco, 2010c. 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 y Á. Borja, 2010b. Trabajos de restauración de *Zostera noltii* en la costa vasca: actividades de 2010. Informe elaborado por AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua – Uraren Euskal Agentzia, Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco, 106 pp.

- Garmendia, J.M., M. Valle, G. Chust, J. Franco y Á. Borja, 2011. Trabajos de restauración de *Zostera noltii* en la costa vasca: actividades de 2011. Informe elaborado por AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua – Uraren Euskal Agentzia, Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco, 115 pp.
- Golden, R.R., K.E. Busch, L.P. Karrh, T.A. Parham, M.J. Lewandowski y M.D. Naylor, 2010. Large-scale *Zostera marina* (eelgrass) restoration in Chesapeake Bay, Maryland, USA. Part II: a comparison of restoration methods in the Patuxet and Potomac Rivers. *Restoration Ecology*, 18(4): 501-513.
- Goudet, J. 1999. PCA-Gen Version 1.2, Institute of Ecology, Biology Building, UNIL, Lausanne, Switzerland. 1999. <http://www2.unil.ch/popgen/softwares/pcagen.htm>
- Grenouillet, G., L. Buisson, N. Casajus, y S. Lek, 2011. Ensemble modelling of species distribution: the effects of geographical and environmental ranges. *Ecography*, 34: 9-17.
- Guisan, A. y N. Zimmermann, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135:147-186.
- 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.
- Hastie, T.J. y R.J. Tibshirani, 1990. Generalized Additive Models. Chapman & Hall, London.
- Hijmans, R.J., S. Phillips, J. Leathwick y J. Elith, 2012. dismo: Species distribution modelling. R package version 0.7-17. <http://CRAN.R-project.org/package=dismo>
- Hootsmans M.J.M., J.E. Veermat y W. van Vierssen, 1987. Seed-bank development, germination and early seedling survival of two seagrass species from The Netherlands: *Zostera marina* L. and *Zostera noltii* Hornem. *Aquatic Botany*, 28: 275-285.
- Hutchinson, G.E., 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology*, 22: 415-427.
- 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.
- Jensen, J.L., A.J. Bohonak y S.T. Kelley, 2005. Isolation by distance, web service. *BMC Genetics* 6: 13. v.3.23. <http://ibdws.sdsu.edu/>
- Jollineau, M.Y. y P.J. Howarth, 2008. Mapping an inland wetland complex using hyperspectral imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 29: 3609-3631.
- Leschen, A.S., K.H. Ford y N.T. Evans, 2010. Successful eelgrass (*Zostera marina*) restoration in a formerly eutrophic estuary (Boston Harbor) supports the use of a multifaceted watershed approach to mitigating eelgrass loss. *Estuaries and Coasts*, 33: 1340-1354.
- 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.

- Loques, F., G. Caye y A. Meinesz, 1988. Flowering and fruiting of *Zostera noltii* in Golfe Juan (French Mediterranean). Aquatic Botany, 32: 341-352.
- Loques, F., G. Caye y A. Meinesz, 1991. Germination in the marine phanerogam *Zostera noltii* Hornemann at Golfe Juan, French Mediterranean. Aquatic Botany, 38(4): 249-260.
- Marion, S.R. y R.J. Orth, 2010. Innovative techniques for large-scale seagrass restoration using *Zostera marina* (eelgrass) seeds. Restoration Ecology, 18(4): 514-526.
- Marmion, M., M. Parviainen, M. Luoto, R.K. Heikkinen y W. Thuiller, 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. Diversity and Distributions, 15: 59-69.
- Orth, R.J. y 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 y D.B. Parrish, 2012. Seed addition facilitates eelgrass recovery in a coastal bay system. Marine Ecology Progress Series, 448: 177-195.
- Otxoa, E., Oyanarte, T., Patino, S., Valencia, J., Miguel, E., Prieto, A. y J. Elorza, 2007. Cartografiado a escala 1:5000 de las poblaciones vizcaínas 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.
- Phinn, S., C. Roelfsema, A. Dekker, V. Brando y J. Anstee, 2008. Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: an assessment of satellite multispectral and airborne hyper-spectral imaging systems in Moreton Bay (Australia). Remote Sensing of Environment, 112: 3413-3425.
- Pickerell, C.H., S. Schott y S. Wyllie-Echeverria, 2005. Buoy-deployed seeding: demonstration of a new eelgrass (*Zostera marina* L.) planting method. Ecological Engineering, 25: 127-136.
- Plus, M., S. Dalloyau, G. Trut, I. Auby, X. de Montaudouin, É. Emery, C. Noël y 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.
- Pritchard, J.K., M. Stephens y P. J. Donnelly, 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. Genetics, 155: 945-959.
- 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.
- Short, F.T., E.W. Koch, J.C. Creed, K.M. Magalhaes, E. Fernández y 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 Dpto. de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz. 100 pp.

- Talavera, S., 2010. *Zostera L.* en Castroviejo, S., Aedo, C., Laínz, M., Muñoz Garmendia, F., Nieto Feliner, G., Paiva, J. & Benedí, C. (eds.). Flora iberica 17: 109-113. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid. <http://www.floraiberica.org/> [consultado el 05/09/2012]
- Tanner, C., S. Hunter, J. Reel, T. Parham, M. Naylor, L. Karrh, K. Busch, R.R. Golden, M. Lewandowski, N. Rybicki y E. Schenk, 2010. Evaluating a large-scale eelgrass restoration project in the Chesapeake Bay. *Restoration Ecology*, 18(4): 538-548.
- Thorhaug, A., A.D. Richardson y G.P. Berlyn, 2007. Spectral reflectance of the seagrasses: *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme* and five marine algae. *International Journal of Remote Sensing*, 28: 1487-1501.
- Tullrot, 2009. Background document for *Zostera* beds, seagrass beds. Biodiversity Series. Publication Number 426/2009. OSPAR Commission, London, United Kingdom, 37 pp.
- Valle, M., Á. Borja, G. Chust, I. Galparsoro y 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.
- van Katwijk, M.M. y L.J.M. Wijgergangs, 2004. Effects of locally varying exposure, sediment type and low-tide water cover on *Zostera marina* recruitment from seed. *Aquatic Botany*, 80: 1-12.
- 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.
- Wood, S.N., 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC.
- Zipperle, A.M., J.A. Coyer, K. Reise, W.T. Stam y J.L. Olsen, 2009. Evidence for persistent seed banks in dwarf eelgrass *Zostera noltii* in the German Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 380: 73-80.

## 8 AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer:

Al personal de AZTI-Tecnalia que ha participado en las distintas fases del presente trabajo: Iker Urtizberea, Ekaitz Erauskin, Lander Larrañaga, Iñaki Oyarzabal, Iñigo Onandia (labores de trasplante); Joana Larreta, Beatriz Beldarrain, Deniz Kukul y Marivi Lucero (análisis sedimentológicos); Carlos Erauskin (labores de coordinación).

Al Parque Ecológico de Plaiaundi, a la Comandancia de Marina de Baiona (Francia) y al Patronato de Urdaibai por autorizar y facilitar los muestreos en las marismas de Txingudi, en Hendaia (Bidasoa) y dentro de la Reserva de la Biosfera, respectivamente.

A Amador Prieto por habernos proporcionado información cartográfica correspondiente al trabajo de Otxoa *et al.* (2007).

A Onno Diekmann (CCMAR-CIMAR, Universidad de Algarve, Faro, Portugal) por realizar el análisis genético y aportar amablemente la información genética correspondiente a muestras de Vigo (Galicia).

## 9 PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

Como consecuencia de los trabajos realizados en relación a *Zostera noltii* en el País Vasco se han elaborado y efectuado las siguientes comunicaciones y documentos:

### ➤COMUNICACIONES A CONGRESOS O REUNIONES TEMÁTICAS (7)

#### A.-PANELES o POSTERS (1):

1.- "Diversity of European seagrass indicators. Patterns within and across regions". Marbá, N., Krause-Jensen, D., Alcoverro, T., Birk, S., Pedersen, A., Neto, J.M., Orfanidis, S., Garmendia, J.M., Muxika, I., Borja, Á. & Dencheva, K. "**WISER Final Conference (Water bodies in Europe Integrative Systems to assess Ecological status and Recovery). Current questions in water management**", Tallinn (Estonia), 25-26 enero de 2012.

#### B.-ORALES (6):

1.- "Recovery of *Zostera noltii* donor areas, after extraction for restoration purposes, at the Basque Country (Spain)". Garmendia, J.M., Valle, M., Borja, Á., Chust, G. & Franco, J. "**XIII International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay (ISOBAY)**", Santander, 11-13 abril de 2012.

2.- "Estuarine connectivity: assessing species vulnerability to global change". Chust, G., Albaina, A., Aranburu, A., Borja, Á., Diekmann, O.E., Estonba, A., Franco, J., Garmendia, J.M., Iriondo, M., Rendo, F., Rodríguez, J.G., Ruiz-Larrañaga, O., Muxika, I. & Valle, M. **2nd International Symposium on "Effects of Climate Change on the World's Oceans"**, Yeosu (Korea), 15-19 mayo de 2012.

3.- "Restauración de praderas de *Zostera* en la Comunidad Autónoma Vasca". Garmendia, J.M., Valle, M., Borja, Á., Chust, G. & Franco, J. **Jornadas abiertas "Las praderas marinas en el litoral español: Conservación, uso y gestión"** en el marco del proyecto Life +Posidonia Andalucía, Málaga, 16-17 mayo de 2012.

4.- "Comunidades Autónomas. Experiencias en la gestión y manejo de hábitats: País Vasco". Garmendia, J.M. **Jornadas abiertas "Las praderas marinas en el litoral español: Conservación, uso y gestión"** en el marco del proyecto Life +Posidonia Andalucía, Málaga, 16-17 mayo de 2012.

5.- "Modelling spatial and temporal variability of intertidal *Zostera marina* on the Ems estuary, Dutch Wadden Sea". Valle, M., Benito, B.M., van Katwijk, M., de Jong, D., Borja, Á. & Chust, G. "**XVII Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina (SIEBM)**", Donostia, 11-14 septiembre de 2012.

6.- "Hábitat marino de interés europeo: las praderas marinas de *Zostera noltii* en el País Vasco". Garmendia, J.M., Galparsoro, I., Valle, M., Chust, G., Borja, Á. & Franco, J. **Jornadas abiertas "Hábitats de interés europeo: su evaluación y seguimiento en la CAPV"** organizado por Ihobe, Hazi, Gobierno Vasco y Diputaciones Forales de Araba, Bizkaia y Gipuzkoa, Arkaute (Araba), 8-9 noviembre de 2012.

### ➤PUBLICACIONES (1)

1.- Cunha, A.H., N. Marbà, M. Van Katwijk, C. Pickerell, M. Henriques, G. Bernard, A. Ferreira, S. García, S., J.M. Garmendia y P. Manent. 2012. "Changing Paradigms in Seagrass Restoration". *Restoration Ecology*, **20(4)**: 427-430.

 Bay of Biscay 

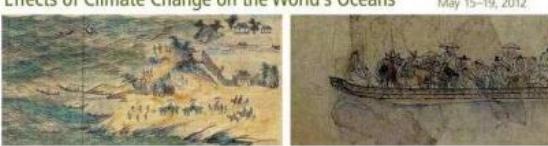
**ISOBAY  
XIII International Symposium on Oceanography  
of the Bay of Biscay.  
11-13 April 2012. Santander, Spain.**

## Recovery of *Zostera noltii* donor areas, after extraction for restoration purposes, at the Basque Country (Spain)

J.M. GARMENDIA, M. VALLE, Á. BORJA, G. CHUST and J. FRANCO  
AZTI-Tecnalia (Basque Country – Spain)  
jgarmendia@azti.es



  
Second International Symposium  
Effects of Climate Change on the World's Oceans  
Yeosu, Korea  
May 15-19, 2012.



### Estuarine connectivity: Assessing species vulnerability to global change

**Guillem Chust**<sup>1</sup>, Aitor Albaina<sup>2</sup>, Aizkorri Aranburu<sup>1</sup>, Ángel Borja<sup>1</sup>, Onno E. Diekmann<sup>3</sup>, Andone Estonba<sup>2</sup>, Javier Franco<sup>1</sup>, Joxe M. Garmendia<sup>1</sup>, Mikel Iriondo<sup>2</sup>, Fernando Rendo<sup>2</sup>, J. Germán Rodríguez<sup>1</sup>, Otsanda Ruiz-Larrañaga<sup>2</sup>, Iñigo Muxika<sup>1</sup> and Mireia Valle<sup>1</sup>

(1) AZTI-Tecnalia, Marine Research Division, Pasaiako, Spain  
(2) Laboratory of Genetics, University of the Basque Country (UPV/EHU), Leioa, Spain  
(3) CCMAR-CIMAR, University of Algarve, Faro, Portugal

**azti**  
tecnalia

Las praderas marinas en el litoral español: conservación, uso y gestión.

## Restauración de praderas de *Zostera* en la Comunidad Autónoma Vasca

J.M. GARMENDIA, M. VALLE, Á. BORJA, G. CHUST, J. FRANCO  
AZTI-Tecnalia  
jgarmendia@azti.es



**azti**  
tecnalia

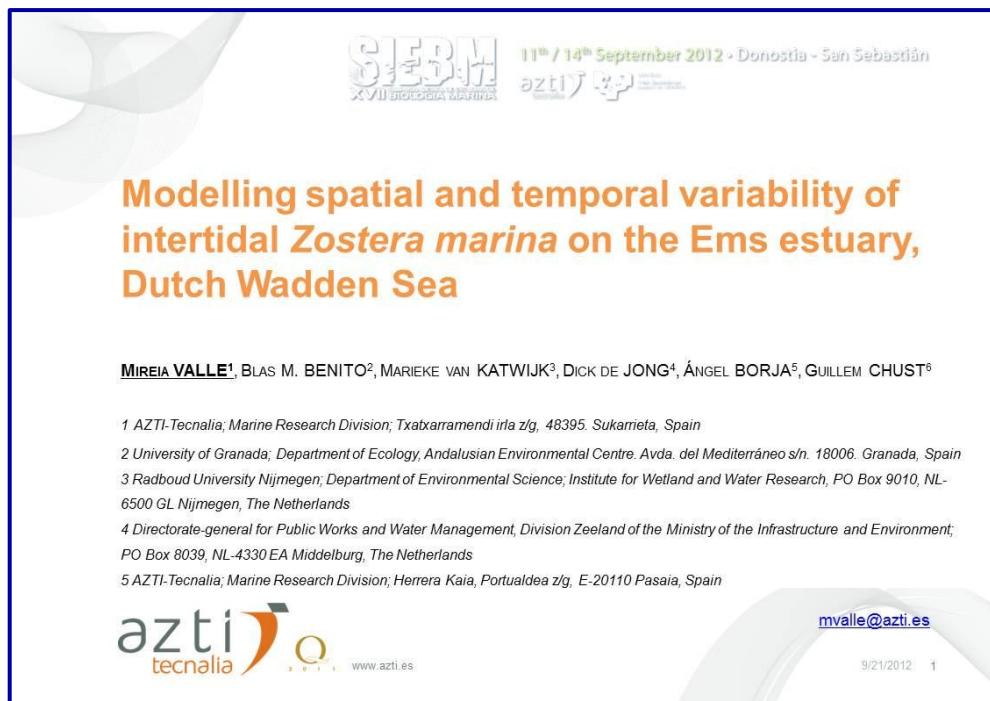
Las praderas marinas en el litoral español: conservación, uso y gestión.

## Comunidades Autónomas: experiencias en la gestión y manejo de hábitats. País Vasco



Joxe Mikel GARMENDIA  
AZTI-Tecnalia  
jgarmendia@azti.es





**Modelling spatial and temporal variability of intertidal *Zostera marina* on the Ems estuary, Dutch Wadden Sea**

MIREIA VALLE<sup>1</sup>, BLAS M. BENITO<sup>2</sup>, MARIEKE VAN KATWIJK<sup>3</sup>, DICK DE JONG<sup>4</sup>, ÁNGEL BORJA<sup>5</sup>, GUILLEM CHUST<sup>6</sup>

<sup>1</sup> AZTI-Tecnalia; Marine Research Division; Txabarramendi irla z/g, 48395. Sukarrieta, Spain  
<sup>2</sup> University of Granada; Department of Ecology, Andalusian Environmental Centre. Avda. del Mediterráneo s/n. 18006. Granada, Spain  
<sup>3</sup> Radboud University Nijmegen; Department of Environmental Science, Institute for Wetland and Water Research, PO Box 9010, NL-6500 GL Nijmegen, The Netherlands  
<sup>4</sup> Directorate-general for Public Works and Water Management, Division Zeeland of the Ministry of the Infrastructure and Environment; PO Box 8039, NL-4330 EA Middelburg, The Netherlands  
<sup>5</sup> AZTI-Tecnalia; Marine Research Division; Herrera Kaia, Portualdea z/g, E-20110 Pasaia, Spain

**azti** tecnalia [www.azti.es](http://www.azti.es) [mvalle@azti.es](mailto:mvalle@azti.es) 9/21/2012 1



**Interes europarreko habitat  
itsastarra: *Zostera noltii*  
itsas belardiak Euskal Herrian**

**Hábitat Marino de interés europeo:  
las praderas marinas de  
*Zostera noltii* en el País Vasco**

J.M. GARMENDIA, I. GALPASORO, M. VALLE, G. CHUST, Á. BORJA, J. FRANCO  
AZTI-TECNALIA

**azti** tecnalia [www.azti.es](http://www.azti.es) **ura** ur agerentzia agencia vasca del agua [www.ura.eus](http://www.ura.eus) 11/20/2011 1

	REC	rec 878	B	Dispatch: April 4, 2012	Journal: REC	CE: <i>protectionism</i>
	Journal Name	Manuscript No.		Author Received:	No of pages: 4	TS: <i>sadam</i>

## 1 OPINION ARTICLE

2  
3 **Changing Paradigms in Seagrass Restoration**4  
5 Alexandra H. Cunha,<sup>1,2</sup> Núria N. Marbá,<sup>3,4</sup> Marieke van Katwijk,<sup>5</sup> Christopher Pickerell,<sup>6</sup> Miguel  
6 Henriques,<sup>7</sup> Guillaume Bernard,<sup>8</sup> Adelaide Ferreira,<sup>9</sup> Silvia Garcia,<sup>10</sup> Joxe M. Garmendia,<sup>11</sup> and  
7 Pablo Manent<sup>12</sup>8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
Abstract

Sharing experiences and results among scientists and managers working on seagrass restoration was the main objective of the first European Seagrass Restoration Workshop that gathered researchers from around Europe. The meeting was the first forum in Europe that allowed for scientists, NGOs, and managers to interact and share their experiences relating to seagrass restoration and management. The results show that none of the seagrass restoration programs developed in Europe by the participants during the last 10 years was successful. Furthermore, an informal review of data published in seagrass restoration success, showed that the results reported were biased because they were mostly based on a very short monitoring

period (i.e. <1 year). Numerous decision trees, guidelines, and restoration models have been developed to aid seagrass restoration management, but the results of this workshop point toward a new paradigm in seagrass restoration where efforts should shift to give priority to natural restoration potential, with an emphasis on the fact that restoration should never be considered the first alternative when planning for the mitigation of coastal development projects or to justify mitigation as a compensation measure for economic activities.

**Key words:** European seagrasses, habitat mitigation, restoration guidelines, seagrass conservation, seagrass loss, seagrass transplantation.

## Introduction

Continual loss of seagrasses has resulted in research progressively focused on restoration and mitigation. The ability to successfully mitigate seagrass loss through restoration and/or transplantation is environmentally and economically imperative given that seagrasses provide numerous ecosystem functions (Costanza et al. 1997; Duarte et al. 2008). Concern over decreasing trends in seagrass habitat cover and distribution in European countries as well in the rest of the world (Duarte et al. 2009; Waycott et al. 2009; Cunha et al. 2011) triggered the development of many seagrass restoration programs around

the European coast. Seagrass restoration is seen as an important means to recuperate damaged areas and so, seagrass habitat restoration has been the focus of many research groups working in Portugal (CCMAR with the LIFE Biomares in the Arrábida coast), in Spain (Oceana-Madrid; AZTI-Tecnalia, in the Basque Country; IMEDEA-CSIC in the Balearics, and ICCM Instituto Canario de Ciencias Marinas in the Canary Islands), in the Netherlands (Radboud University) and France (GIPREB Cours Mirabeau, Berre-l'Étang). The workshop with 30 participants, was held in Portinho da Arrábida, Portugal, on the 30 September and 1 October 2010, and was organized under the Biomares Project (LIFE06 NAT/P/192).

## Results

The results of the workshop revealed that seagrass restoration success in all/most of the European projects presented during the workshop was very low. In general, results varied spatially and temporally at multiple scales. Within-site variability of planting success was often related to differences in physical factors (e.g. depth, exposure, and sediment texture gradients among other factors), while success rates between sites was often linked to climate/weather issues, herbivory, macroalgae, or exposure to name a few significant factors. With regard to success rates over time, it was also apparent that restoration success or failure could be linked to between-year differences in the above factors (i.e. a stressor was absent 1 year and

<sup>1</sup>CCMAR (Centro de Ciências do Mar), Edifício 7, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

<sup>2</sup>Address correspondence to A. H. Cunha, email: acunha@ualg.pt

<sup>3</sup>IMEDEA (Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados), Illes Balears, Spain

<sup>4</sup>CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), Illes Balears, Spain

<sup>5</sup>Radboud University, Institute for Water and Wetland Research, Nijmegen, The Netherlands

<sup>6</sup>Cornell University, Extension Service, Southold, NY, USA

<sup>7</sup>PNA (Parque Natural da Arrábida), Setúbal, Portugal

<sup>8</sup>GIPREB (Gestion Intégrée pour la Prospective et la Réhabilitation de l'Etang de Berre) Cours Mirabeau, Berre-l'Étang, France

<sup>9</sup>IMAR (Instituto do Mar), Lisbon University, Cascais, Portugal

<sup>10</sup>OCEANA (Protecting the World's Oceans Association), Madrid, Spain

<sup>11</sup>AZTI—Tecnalia (Centro Tecnológico de Investigación Alimentaria y Marina), Basque Country, Spain

<sup>12</sup>ICCM (Instituto Canario de Ciencias Marinas), Gran Canaria, Spain

<sup>13</sup>© 2012 Society for Ecological Restoration International

doi:10.1111/j.1526-100X.2012.00878.x