

## Trabajos de restauración de *Zostera noltii* en la costa vasca: actividades de 2013

Informe para:



Agencia Vasca del Agua - Uraren Euskal Agentzia -

Pasaia, 20 de diciembre de 2013

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>Tipo documento</b>   | Informe de actividades de 2013   |
| <b>Título documento</b> | Trabajos de restauración de <i>Zostera noltii</i> en la costa vasca: actividades de 2013 |
| <b>Fecha</b>            | 20/12/2013   |
| <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

|                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| <b>Responsable proyecto</b> | Dr. Joxe Mikel Garmendia |
|-----------------------------|--------------------------|

|                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| <b>Revisado por</b> | Dr. Javier Franco |
| <b>Fecha</b>        | 20-12-2013        |

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

Garmendia, J.M., M. Valle, G. Chust, J. Franco y Á. Borja, 2013. Trabajos de restauración de *Zostera noltii* en la costa vasca: actividades de 2013. Informe elaborado por AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua – Uraren Euskal Agentzia, 194 pp.

## ÍNDICE

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1</b>  | <b>ANTECEDENTES.....</b>                                      | <b>6</b>  |
| <b>2</b>  | <b>OBJETIVOS .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>3</b>  | <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                      | <b>11</b> |
| <b>4</b>  | <b>TAREAS REALIZADAS.....</b>                                 | <b>13</b> |
| 4.1       | SEGUIMIENTO DE TRASPLANTES DEL BUTROE.....                    | 13        |
| 4.1.1     | <i>Trasplante 1 (2009): zona receptora B2 .....</i>           | <i>13</i> |
| 4.1.1.1   | Seguimiento del trasplante.....                               | 13        |
| 4.1.1.2   | Discusión.....  | 17        |
| 4.1.2     | <i>Trasplante 3 (2011): zona receptora B3 .....</i>           | <i>21</i> |
| 4.1.2.1   | Seguimiento del trasplante.....                               | 21        |
| 4.1.2.2   | Discusión.....  | 26        |
| 4.1.3     | <i>Trasplante 4 (2012): zonas receptoras B4 y B5 .....</i>    | <i>27</i> |
| 4.1.3.1   | Seguimiento de los trasplantes .....                          | 27        |
| 4.1.3.1.1 | Zona receptora B4.....  | 27        |
| 4.1.3.1.2 | Zona receptora B5.....  | 31        |
| 4.1.3.2   | Discusión.....  | 34        |
| 4.2       | RECUPERACIÓN DE LA ZONA DONANTE .....                         | 36        |
| 4.2.1     | <i>Oka (San Kristobal): trasplante de 2010.....</i>           | <i>37</i> |
| 4.2.2     | <i>Oka (Arketas): trasplante de 2012 .....</i>                | <i>40</i> |
| 4.2.2.1   | Seguimiento de la zona alterada.....                          | 40        |
| 4.2.2.2   | Seguimiento de los controles.....                             | 44        |
| 4.2.2.3   | Densidad de <i>Zostera</i> .....                              | 46        |
| 4.2.2.4   | Densidad de embarcaciones .....                               | 48        |
| 4.2.2.5   | Resumen y conclusiones .....                                  | 50        |
| 4.3       | PRUEBAS CON SEMILLAS .....                                    | 52        |
| 4.3.1     | <i>Pruebas de campo en 2012.....</i>                          | <i>53</i> |
| 4.3.1.1   | Material y métodos .....                                      | 53        |
| 4.3.1.2   | Resultados .....  | 53        |
| 4.3.2     | <i>Pruebas de germinación de semillas en laboratorio.....</i> | <i>56</i> |
| 4.3.2.1   | Material y métodos .....                                      | 56        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 4.3.2.2   | Resultados.....   | 60         |
| 4.3.2.3   | Discusión.....  | 62         |
| 4.3.3     | <i>Pruebas de obtención de plántulas en laboratorio .....</i>   | <b>63</b>  |
| 4.3.3.1   | Material y métodos .....  | 63         |
| 4.3.3.2   | Resultados.....   | 64         |
| 4.3.3.3   | Discusión.....  | 67         |
| 4.4       | <b>EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL MARISQUEO SOBRE LAS PRADERAS MARINAS .....</b>                                   | <b>69</b>  |
| 4.4.1     | <i>Introducción .....</i>   | <b>69</b>  |
| 4.4.2     | <i>Objetivos.....</i>   | <b>72</b>  |
| 4.4.3     | <i>Mariscadores.....</i>  | <b>72</b>  |
| 4.4.3.1   | Material y métodos .....  | 73         |
| 4.4.3.2   | Resultados.....   | 73         |
| 4.4.3.2.1 | Encuestas .....   | 74         |
| 4.4.3.2.2 | Salidas con mariscador profesional (almeja).....  | 78         |
| 4.4.3.2.3 | Salidas con mariscador profesional (cebo vivo).....   | 83         |
| 4.4.3.2.4 | Salidas con mariscador deportivo.....   | 85         |
| 4.4.4     | <i>Experimentos.....</i>  | <b>85</b>  |
| 4.4.4.1   | Fundamento .....  | 86         |
| 4.4.4.2   | Material y métodos .....  | 88         |
| 4.4.4.3   | Resultados.....   | 105        |
| 4.4.5     | <i>Consulta bibliográfica .....</i>   | <b>116</b> |
| 4.4.6     | <i>Material y métodos.....</i>  | <b>120</b> |
| 4.4.7     | <i>Resultados.....</i>  | <b>122</b> |
| 4.4.8     | <i>Discusión .....</i>  | <b>123</b> |
| 4.5       | <b>CARTOGRAFIADO DE <i>ZOSTERA NOLTII</i> MEDIANTE IMÁGENES HIPERESPECTRALES CASI AEROTRANSPORTADAS .....</b> | <b>128</b> |
| 4.5.1     | <i>Preparación del vuelo.....</i>   | <b>128</b> |
| 4.5.2     | <i>Vuelo hiperespectral CASI y preprocesado de las imágenes .....</i>   | <b>130</b> |
| 4.5.3     | <i>Medidas de campo.....</i>  | <b>132</b> |
| 4.5.4     | <i>Procesado de las imágenes e integración en un GIS .....</i>  | <b>136</b> |
| 4.5.4.1   | Metodología: Discriminación de <i>Z. noltii</i> a diferentes densidades de recubrimiento... 137               |            |
| 4.5.4.2   | Metodología: Clasificación supervisada de los hábitats intermareales .....                                    | 139        |
| 4.5.4.3   | Resultados: Discriminación de <i>Z. noltii</i> a diferentes densidades de recubrimiento.....                  | 142        |
| 4.5.4.4   | Resultados: Clasificación supervisada de los hábitats intermareales .....                                     | 143        |
| 4.5.4.5   | Conclusiones.....   | 151        |



|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>5</b>  | <b>CONCLUSIONES .....</b>                | <b>152</b> |
| 5.1       | CONCLUSIONES DE 2013.....                | 152        |
| 5.2       | RESUMEN DE CONCLUSIONES (2008-2013)..... | 154        |
| <b>6</b>  | <b>RECOMENDACIONES .....</b>             | <b>158</b> |
| <b>7</b>  | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                | <b>159</b> |
| <b>8</b>  | <b>AGRADECIMIENTOS .....</b>             | <b>166</b> |
| <b>9</b>  | <b>PRODUCCIÓN CIENTÍFICA.....</b>        | <b>167</b> |
| <b>10</b> | <b>ANEXOS.....</b>                       | <b>173</b> |
| <b>11</b> | <b>MAPAS .....</b>                       | <b>184</b> |

## 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*.

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 considerar en el establecimiento de la calidad ecológica de la aguas estuáricas y costeras (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*.

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.ccmr.ualg.pt/biomares/index\\_en.html](http://www.ccmr.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 estuárico, 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).

Como consecuencia de la importancia que alcanzó este apartado dentro del proyecto de la Red de Seguimiento de la Calidad de las Aguas, en el año 2012 el capítulo sobre praderas

marinas adquirió entidad propia y fue aprobado como un proyecto independiente con una duración inicial de dos años, con el nombre de *Trabajos de restauración de Zostera*.

En el año 2012 se continuó el seguimiento de los trasplantes efectuados previamente en 2009 y 2011; se ejecutó un nuevo trasplante (en el Butroe) y se inició su seguimiento; se observó la recuperación de las poblaciones donantes de los trasplantes de 2010 y 2012; se realizó un análisis genético comparativo de muestras procedentes de distintas poblaciones de *Zostera noltii* del Golfo de Bizkaia; se llevó a cabo una cartografía de detalle sobre la presencia de praderas marinas en los estuarios vascos; se efectuaron nuevos análisis sobre la idoneidad de hábitat mediante el modelo GAM (Modelo Aditivo Generalizado); se obtuvieron imágenes hiperespectrales del Oka mediante un vuelo con sensor CASI; y se comenzó a recoger información sobre semillas (presencia, disponibilidad, etc.).

El 17 de diciembre de 2012, en la reunión mantenida entre miembros de URA y AZTI, se acordó incluir entre las futuras tareas la evaluación de algunas de las presiones a las que se ven sometidas las praderas marinas en el País Vasco, con el objeto de recabar información detallada y poder proponer alguna solución. Entre las presiones más urgentes a tratar se consideraron la presencia del fondeadero de Arketas y la alteración provocada por los mariscadores en la zona de Axpe, ambas pertenecientes al estuario del Oka donde se concentra en la actualidad más del 85% de la pradera marina del País Vasco. Por tanto, el contenido del presente informe es el resultado de las labores realizadas en el año 2013 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* mediante la ejecución de trasplantes y la aplicación de 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. Evaluación del impacto provocado por la presencia humana sobre las praderas marinas, incidiendo especialmente sobre el marisqueo.

En el año 2013, segundo año del proyecto, se ha continuado profundizando en el conocimiento sobre las poblaciones de *Zostera noltii* en los estuarios del País Vasco. Para ello, se han ejecutado las siguientes tareas:

- ❖ Continuación del seguimiento de los trasplantes realizados en el estuario del Butroe desde el año 2009. Su objetivo final es comprobar la viabilidad de los trasplantes en el sedimento fangoso.
- ❖ Evaluación del impacto provocado sobre las poblaciones donantes de *Zostera noltii* debido a la extracción de Unidades de Trasplante (UT) en los proyectos de trasplante, tanto de 2010 como de 2012. Su objetivo final es saber el tiempo que transcurre hasta que una zona donante recupera la situación previa a la donación.
- ❖ Evaluación del impacto generado por el marisqueo sobre las praderas de *Zostera noltii*, mediante la observación de distintas modalidades de marisqueo y ejecución de experimentos dirigidos a evaluar el efecto del pisoteo y del agujereo del sedimento.

- ❖ 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, 2012). 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 2012 (Garmendia *et al.*, 2012), en el capítulo 6 de Recomendaciones, se propusieron distintas tareas o labores que se podrían abordar en fases futuras. A lo largo del año 2013 solamente se han podido llevar a cabo algunas de ellas, quedando el resto a la espera de una mejor situación socio-económica que pueda posibilitar y permitir su desarrollo.

Siguiendo las recomendaciones de Cunha *et al.* (2012) se ha continuado con el seguimiento a medio plazo del desarrollo de los trasplantes realizados en 2009, 2011 y 2012, así como de la evolución de las poblaciones donantes del 2010 y 2012. En este sentido, tras un cumplir un ciclo anual, las visitas han sido más espaciadas en el tiempo.

La aplicación de modelos de idoneidad de hábitats en distintos estuarios y la ejecución de nuevos trasplantes exploratorios han quedado aplazadas debido a la necesidad de priorizar tareas con los limitados medios disponibles. Otra línea interesante como es la de las semillas y su utilidad en la restauración, también ha quedado aparcada por el mismo motivo.

La novedad de este año ha sido el análisis de los impactos directos más relevantes que han sido identificados en las praderas vascas: los fondeos de embarcaciones deportivas y la actividad marisquera.

A continuación se resumen las tareas realizadas en el año 2013:

- ✦ 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 continuado con el seguimiento de los trasplantes realizados en sedimentos fango-arenosos del estuario del Butroe en el año 2011 (12 UTs).
- ✦ Se ha continuado con el seguimiento de los trasplantes realizados en sedimentos fango-arenosos del estuario del Butroe en el año 2012 (8 y 20 UTs).
- ✦ Se ha continuado el seguimiento de las zonas donantes de *Zostera noltii* del trasplante de 2010 y del 2012.
- ✦ Se han efectuado experimentos de germinación con semillas de *Zostera noltii*.
- ✦ Se ha analizado la situación del fondeadero de Arketas en el estuario del Oka y su efecto sobre la pradera marina.
- ✦ Se ha estudiado el efecto del marisqueo sobre las praderas marinas mediante experimentos y análisis de la situación actual en el estuario del Oka.
- ✦ Se han analizado los datos e imágenes obtenidos en el vuelo efectuado sobre el estuario del Oka en el año 2012.
- ✦ 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 2013. Cada una de las tareas será abordada de manera independiente en distintos apartados.



## 4 TAREAS REALIZADAS

### 4.1 SEGUIMIENTO DE TRASPLANTES DEL BUTROE

#### 4.1.1 Trasplante 1 (2009): zona receptora B2

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.

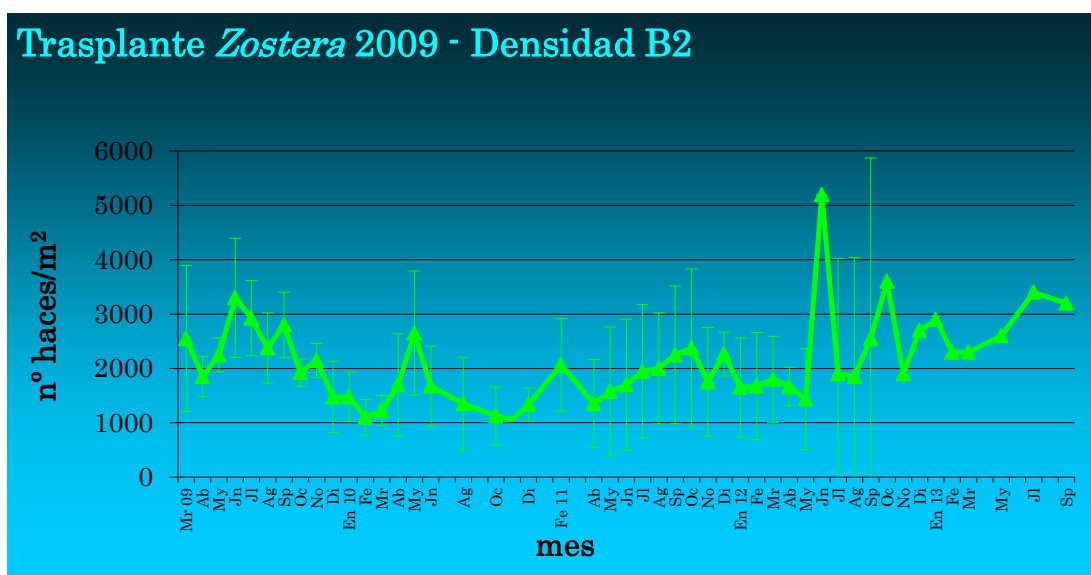
En los informes de 2010, 2011 y 2012 se ofrecen los resultados del seguimiento llevado a cabo a lo largo de esos años (Garmendia *et al.*, 2010b, 2011, 2012).

Durante el año 2013 se ha continuado realizando el seguimiento con la misma metodología empleada desde el inicio: visitas mensuales/bimensuales para la obtención de fotografías, medidas de temperatura y potencial redox, y cálculo de la densidad de haces. En el presente capítulo, se muestran los resultados correspondientes al desarrollo experimentado por las UTs trasplantadas hasta el momento, es decir, desde su trasplante en marzo de 2009 hasta septiembre de 2013: 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.

##### 4.1.1.1 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: (a) 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  $m^{-2}$ ; (b) en el año 2010 se intuye un periodo de transición donde la densidad se estabiliza en valores algo superiores a 1.000 haces  $m^{-2}$  (con la excepción de un fuerte brote en abril-mayo); (c) en 2011 comienza una progresiva y lenta recuperación, aumentando la densidad hasta valores cercanos a 2.000 haces  $m^{-2}$ ; en el periodo invernal

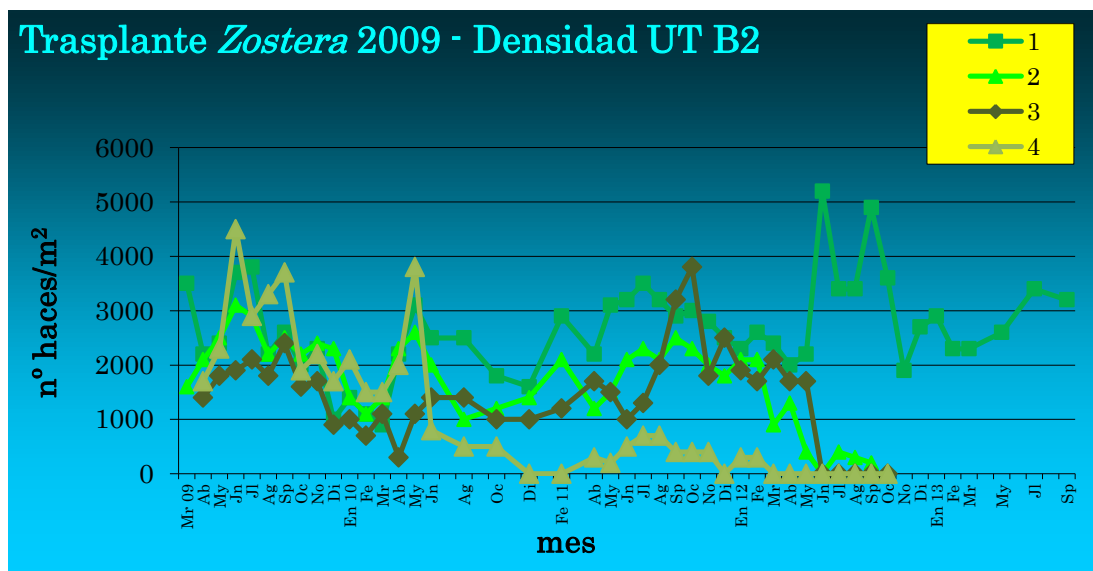
dicha recuperación se interrumpe y se observa una disminución de la densidad hasta finales de la primavera del año siguiente. Esto último puede estar relacionado con los episodios de sedimentación que se observa en invierno y la importante aparición de algas de primavera; y (d) a partir de junio de 2012 dos UTs bajan claramente sus densidades (reflejado en las desviaciones típicas): a partir de ahí los valores representados corresponden a dos UTs y a partir de octubre de 2012 solamente a una UT, dado que el resto ha desaparecido.



**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.

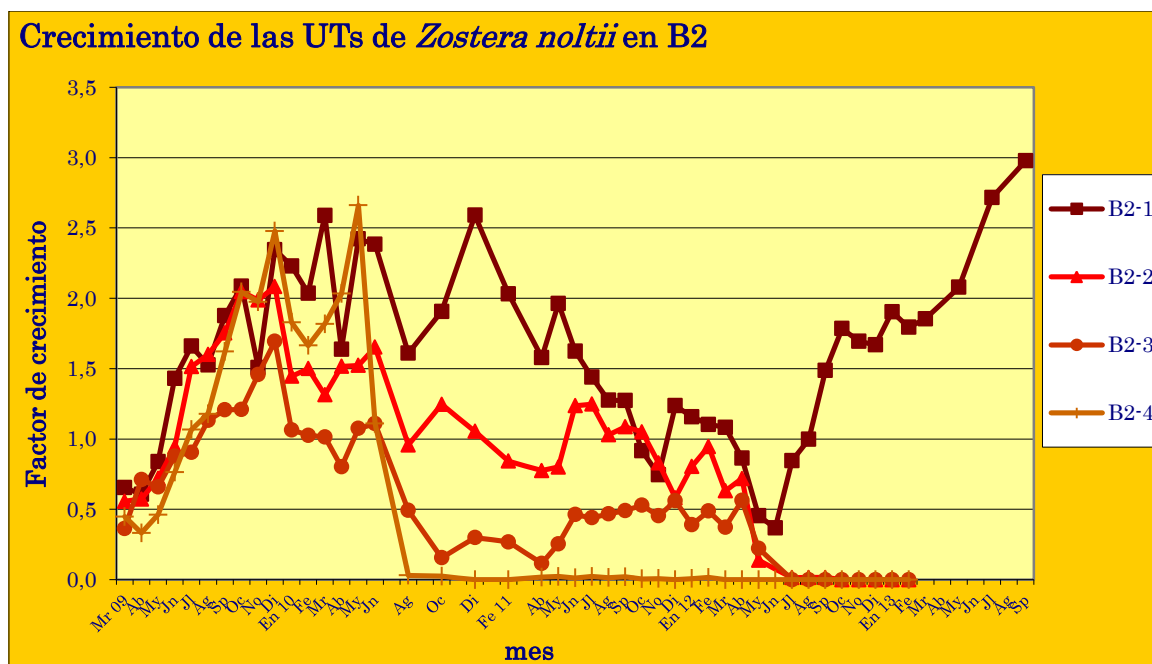
En la Figura 2 se muestran las densidades estimadas para cada una de las UTs de la zona fangosa B2. En esta figura pueden intuirse cuatro etapas: (a) en la primera, que abarca desde el inicio hasta marzo de 2010, todas las UTs parecen comportarse de una manera similar, mostrando sus valores dentro de un rango relativamente estrecho. (b) 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. (c) En el transcurso de 2012 (tercera etapa) otras dos UTs van desapareciendo, probablemente por el efecto de los enterramientos sufridos en invierno y, principalmente, por la importante presencia del alga

*Ulva* sp. que en primavera afectó directamente a estas UTs. (d) Finalmente, en la actualidad, únicamente sobrevive una UT (B2-1), pero lo hace con una buena densidad de hojas y mostrando un aspecto saludable.



**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 x 28 cm = 1204 cm²). Los cálculos de superficie ocupada se realizan mediante el programa de tratamiento de imágenes ImageJ 1.42q anteriormente mencionado.



**Figura 3.** Incremento (factor de crecimiento) de la superficie de cada una de las UTs trasplantadas de *Zostera noltii* en B2 (sedimento fangoso del estuario del Butroe).

El desarrollo inicial de la superficie en todas las UTs de esta zona fangosa sigue un patrón parecido, especialmente en B2-1, B2-2 y B2-4 (crecimiento muy lento y progresivo hasta marzo-mayo de 2010, donde llegan a doblar su superficie). Sin embargo, B2-3 muestra un desarrollo más limitado ya desde los primeros meses esta UT sufre el efecto directo del alga *Ulva* sp. De hecho, se ve parcialmente cubierta por ella cuando, anualmente en primavera, esta alga cubre gran parte de la zona intermareal; por ello, probablemente ésta haya sido la razón por la que no se desarrolló del mismo modo que el resto de las UTs. Más adelante, en junio de 2010 y coincidiendo con la riada citada anteriormente, B2-4 sufre un drástico retroceso y prácticamente desaparece (Figura 3). A partir de la segunda mitad de 2010 hasta mayo de 2012, la UT B2-3 se recupera ligeramente y se mantiene estable, mientras que, coincidiendo con frecuentes desplazamientos de sedimento, enterramiento parcial de las hojas y aparición de una extensa capa del alga *Ulva* sp., B2-1 y B2-2 disminuyen paulatinamente sus superficies hasta casi igualar sus áreas de ocupación con la de B2-3. Sin embargo, en la segunda mitad de 2012, las UTs B2-2 y B2-3 no se recuperan y desaparecen, mientras que B2-1 vuelve a crecer hasta casi triplicar 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 la zona fangosa B2 del estuario del Butroe. Mes= meses transcurridos; n= nº de UTs. Las celdas sombreadas indican la desaparición de alguna UT.

| Mes | Fecha        | media | d.t. | n | Mes | Fecha      | media | d.t. | n |
|-----|--------------|-------|------|---|-----|------------|-------|------|---|
| 0,5 | Abril 2009   | 0,51  | 0,13 | 4 | 28  | Julio      | 0,79  | 0,67 | 4 |
| 1   | Abril        | 0,56  | 0,16 | 4 | 29  | Agosto     | 0,70  | 0,57 | 4 |
| 2   | Mayo         | 0,67  | 0,16 | 4 | 30  | Septiembre | 0,72  | 0,57 | 4 |
| 3   | Junio        | 1,00  | 0,29 | 4 | 31  | Octubre    | 0,62  | 0,47 | 4 |
| 4   | Julio        | 1,29  | 0,36 | 4 | 32  | Noviembre  | 0,51  | 0,37 | 4 |
| 5   | Agosto       | 1,36  | 0,24 | 4 | 33  | Diciembre  | 0,79  | 0,38 | 3 |
| 6   | Septiembre   | 1,61  | 0,29 | 4 | 34  | Enero 2012 | 0,59  | 0,50 | 4 |
| 7   | Octubre      | 1,85  | 0,43 | 4 | 35  | Febrero    | 0,64  | 0,49 | 4 |
| 8   | Noviembre    | 1,73  | 0,29 | 4 | 36  | Marzo      | 0,70  | 0,36 | 3 |
| 9   | Diciembre    | 2,15  | 0,35 | 4 | 37  | Abril      | 0,72  | 0,15 | 3 |
| 10  | Enero 2010   | 1,64  | 0,50 | 4 | 38  | Mayo       | 0,27  | 0,16 | 3 |
| 11  | Febrero      | 1,56  | 0,42 | 4 | 39  | Junio      | 0,37  |      | 1 |
| 12  | Marzo        | 1,68  | 0,69 | 4 | 40  | Julio      | 0,43  | 0,59 | 2 |
| 13  | Abril        | 1,50  | 0,51 | 4 | 41  | Agosto     | 0,51  | 0,69 | 2 |
| 14  | Mayo         | 1,92  | 0,75 | 4 | 42  | Septiembre | 0,75  | 1,04 | 2 |
| 15  | Junio        | 1,56  | 0,60 | 4 | 43  | Octubre    | 1,78  |      | 1 |
| 17  | Agosto       | 0,77  | 0,67 | 4 | 44  | Noviembre  | 1,69  |      | 1 |
| 19  | Octubre      | 0,83  | 0,90 | 4 | 45  | Diciembre  | 1,67  |      | 1 |
| 21  | Diciembre    | 1,31  | 1,17 | 3 | 46  | Enero 2013 | 1,9   |      | 1 |
| 23  | Febrero 2011 | 1,05  | 0,90 | 3 | 47  | Febrero    | 1,79  |      | 1 |
| 25  | Abril        | 0,62  | 0,72 | 4 | 48  | Marzo      | 1,85  |      | 1 |
| 26  | Mayo         | 0,76  | 0,87 | 4 | 50  | Mayo       | 2,08  |      | 1 |
| 27  | Junio        | 0,83  | 0,73 | 4 | 52  | Julio      | 2,72  |      | 1 |
|     |              |       |      |   | 54  | Septiembre | 2,98  |      | 1 |

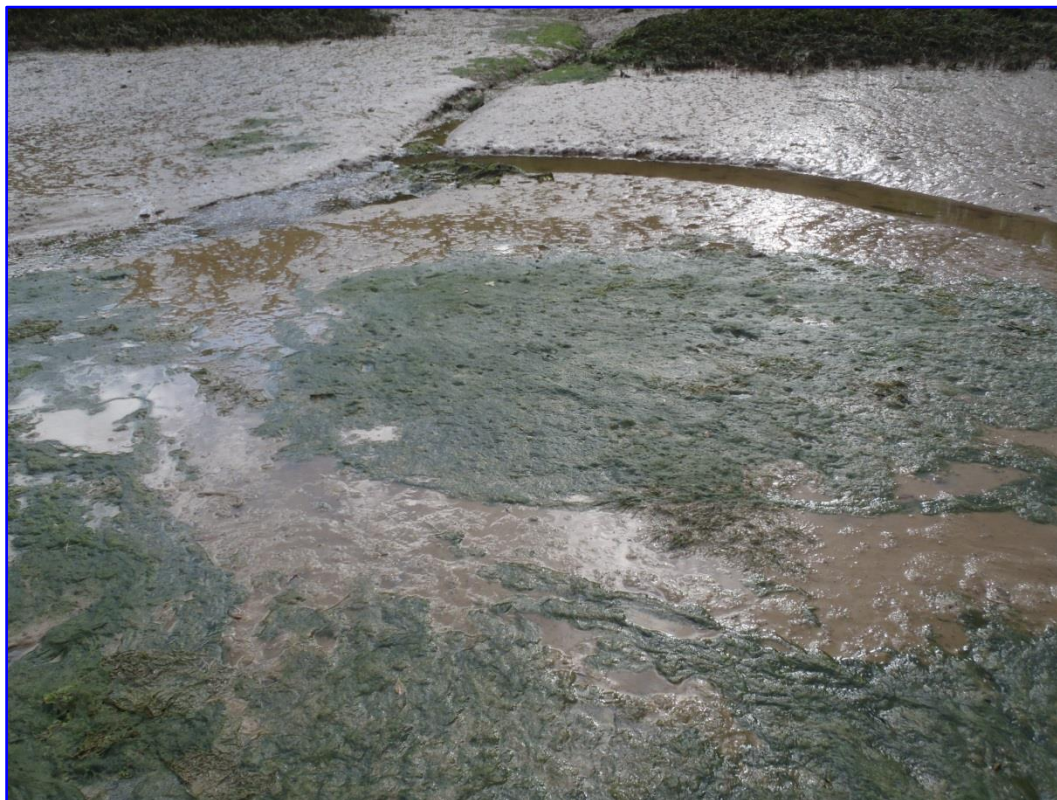
En definitiva, de las cuatro UTs trasplantadas inicialmente, se puede considerar que solamente sobrevive una, y actualmente presenta un buen aspecto (B2-1).

#### 4.1.1.2 Discusión

A lo largo de este año 2013 se han repetido los fenómenos de sedimentación detectados y mencionados en informes previos (Garmendia *et al.*, 2010b, 2011, 2012), 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 2013 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 2013, la aparición de esta alga se ha producido entre

los meses de abril y mayo, formando una gruesa capa sobre una amplia superficie de la zona intermareal (Figura 5). Esta capa ya no se aprecia en el mes de julio.

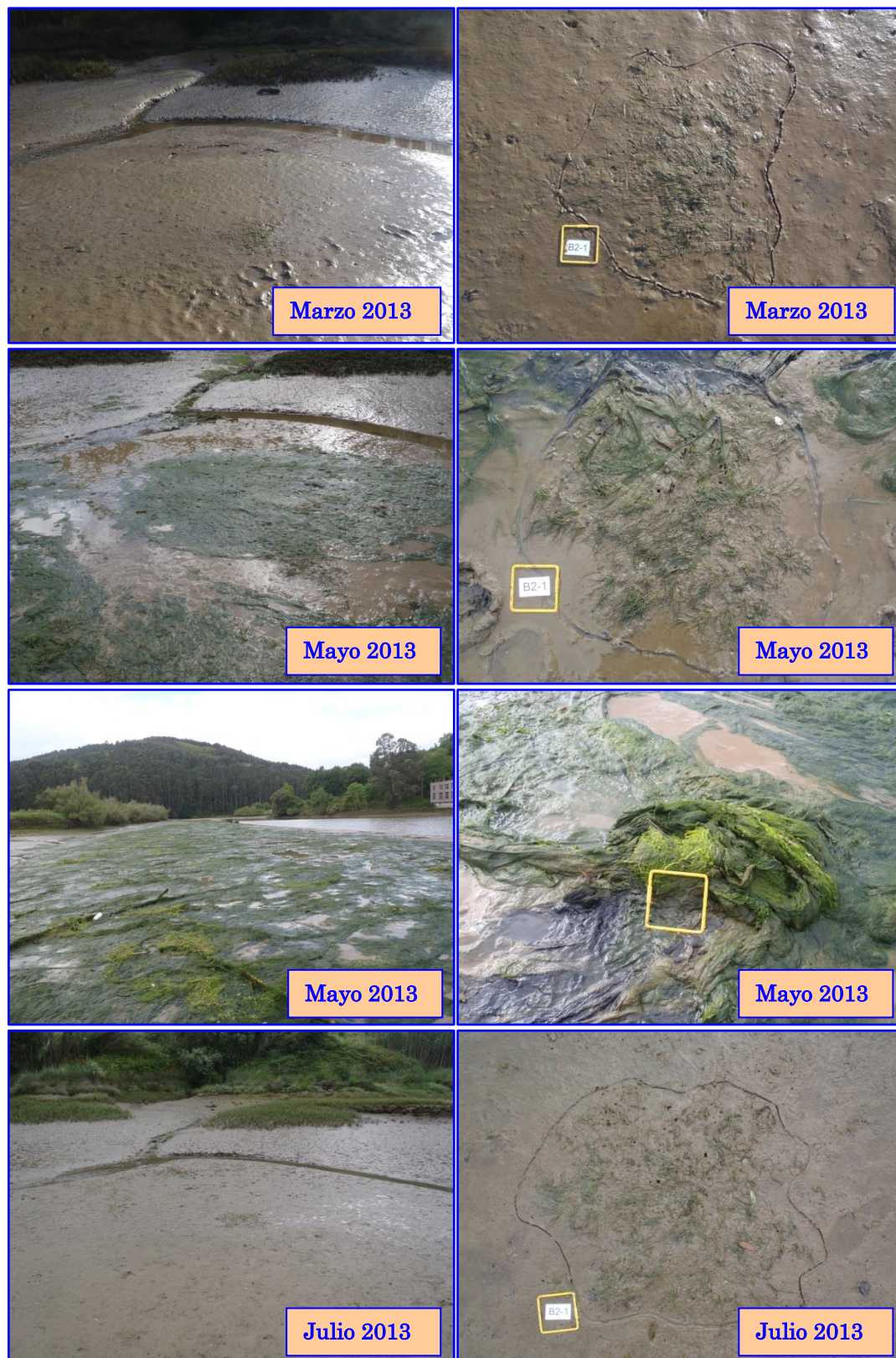


**Figura 4.** La zona B2 donde se encuentran las UTs trasplantadas en 2009 se encuentra cubierta por el alga *Ulva* sp. en mayo de 2013.

Tras 54 meses, en septiembre de 2013, una UT (B2-1) presenta un buen aspecto de sus hojas y una buena densidad, con una superficie 3 veces mayor que la inicial.

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).





**Figura 5.** Presencia de *Ulva* sp. en 2013 en la zona intermareal del Butroe donde se están realizando los trasplantes de *Zostera noltii*.



**Figura 5 (continuación).** Presencia de *Ulva* sp. en 2013 en la zona intermareal del Butroe donde se están realizando los trasplantes de *Zostera noltii*.



### 4.1.2 Trasplante 3 (2011): zona receptora B3

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.

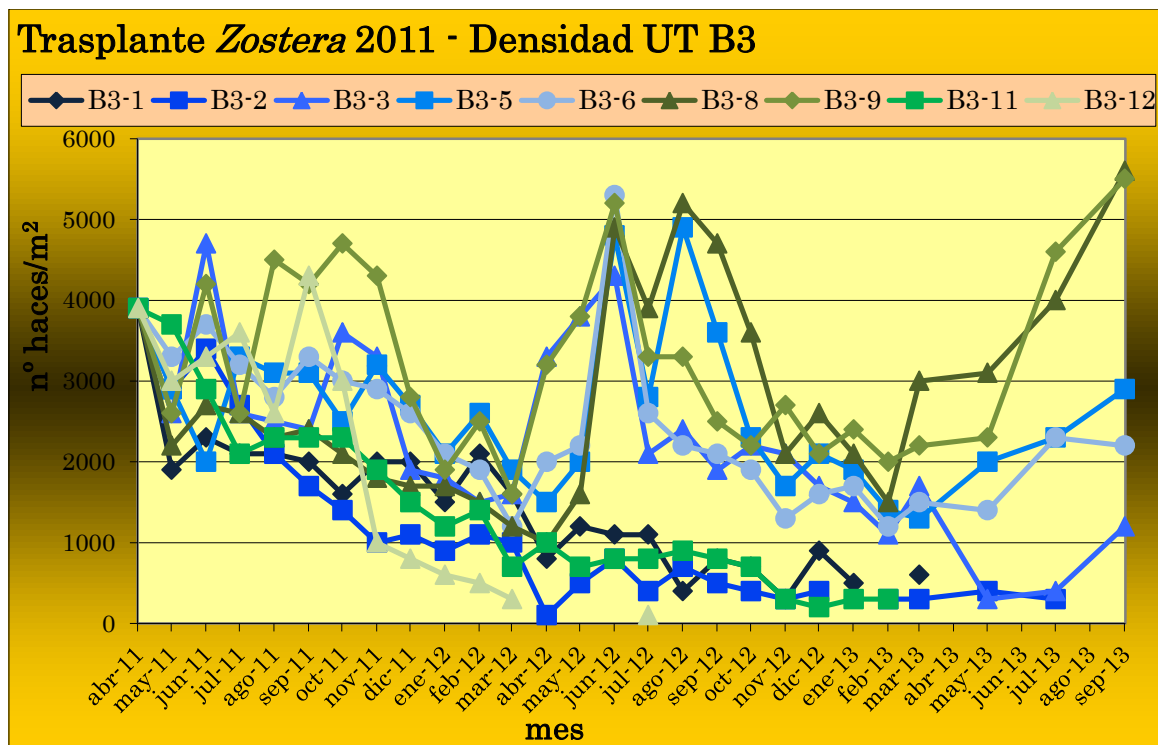
En los informes de 2011 y 2012 se ofrecen los resultados del seguimiento llevado a cabo a lo largo de esos años (Garmendia *et al.*, 2011, 2012).

Durante el año 2013 se ha continuado realizando el seguimiento con la misma metodología empleada desde el inicio: visitas mensuales/bimensuales para la obtención de fotografías, medidas de temperatura y potencial redox, y cálculo de la densidad de haces. En el presente capítulo, se muestran los resultados correspondientes al desarrollo experimentado por las UTs hasta el momento, es decir, desde su trasplante en abril de 2011 hasta septiembre de 2013.

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 en cada UT y en el conjunto de todas ellas.

#### 4.1.2.1 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, desapareciendo la 12 en 2012 y las 1, 2 y 11 en 2013. El resto de las UTs presentan densidades más elevadas y fluctuantes, con una mejor correspondencia con las fluctuaciones observadas en las poblaciones naturales (compárese con la Figura 7).



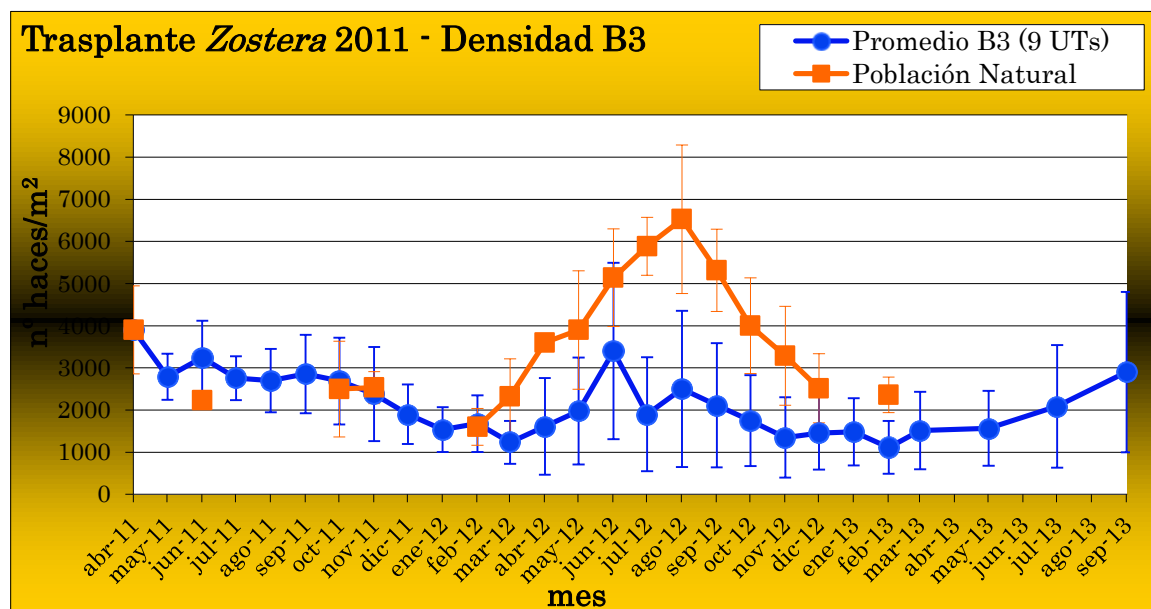
**Figura 6.** Evolución de la densidad de haces en cada una de las UTs trasplantadas en 2011 en la zona B3 del Butroe.

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. Hay que señalar que, debido a la desaparición de las UT 12 durante el año 2012 y 1, 2 y 11 en 2013, con el objeto de mantener el número de réplicas inicial (9), en mayo se comenzó a tomar medidas de densidad en las áreas correspondientes a las UT 4, 7 y 10. Estas medidas no han sido representadas en la Figura 6 pero sí han sido consideradas para la Figura 7.

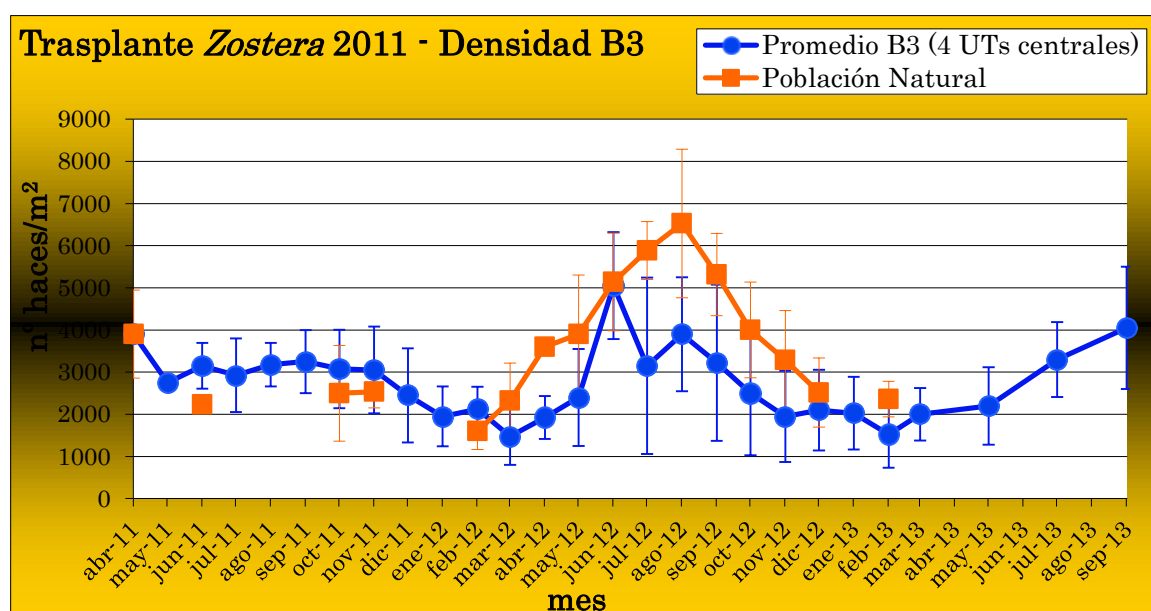
En la Figura 8, tras eliminarse los valores de las UTs de borde (1, 2, 3, 11 y 12), aquellas que han mostrado unos valores muy bajos e incluso han desaparecido, se observa que las densidades calculadas para las UTs centrales así como su evolución temporal se acercan más a las de la población natural.

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).



**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 natural de la zona donante del Oka. Las barras representan la desviación típica.

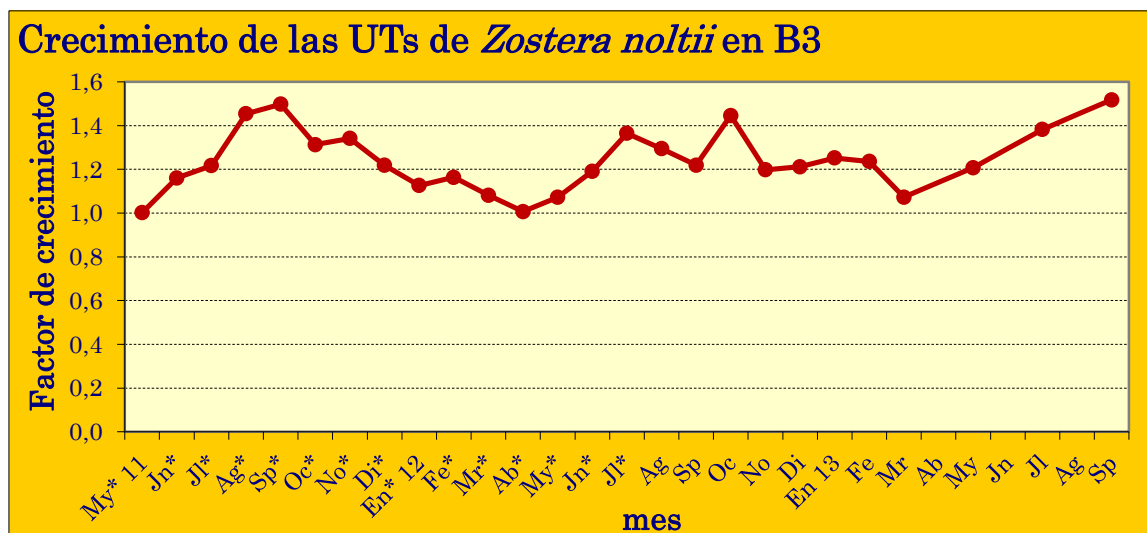


**Figura 8.** Evolución del promedio de la densidad de haces en las 4 UTs centrales trasplantadas en 2011 a la zona B3 del Butroe y en la población natural de la zona donante del Oka. Las barras representan la desviación típica.

**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 | 16  | Agosto     | 15944                 | 1,29 | 12 |
| 2   | Junio      | 10719                 | 1,16 | 9 | 17  | Septiembre | 15013                 | 1,22 | 12 |
| 3   | Julio      | 11240                 | 1,22 | 9 | 18  | Octubre    | 17802                 | 1,45 | 12 |
| 4   | Agosto     | 13426                 | 1,45 | 9 | 19  | Noviembre  | 14753                 | 1,20 | 12 |
| 5   | Septiembre | 13834                 | 1,50 | 9 | 20  | Diciembre  | 14924                 | 1,21 | 12 |
| 6   | Octubre    | 12126                 | 1,31 | 9 | 21  | Enero 2013 | 15414                 | 1,25 | 12 |
| 7   | Noviembre  | 12390                 | 1,34 | 9 | 22  | Febrero    | 15221                 | 1,24 | 12 |
| 8   | Diciembre  | 11254                 | 1,22 | 9 | 23  | Marzo      | 13213                 | 1,07 | 12 |
| 9   | Enero 2012 | 10405                 | 1,13 | 9 | 24  | Abril      |                       |      | 12 |
| 10  | Febrero    | 10748                 | 1,16 | 9 | 25  | Mayo       | 14869                 | 1,21 | 12 |
| 11  | Marzo      | 9989                  | 1,08 | 9 | 26  | Junio      |                       |      | 12 |
| 12  | Abril      | 9303                  | 1,01 | 9 | 27  | Julio      | 17024                 | 1,38 | 12 |
| 13  | Mayo       | 9902                  | 1,07 | 9 | 28  | Agosto     |                       |      | 12 |
| 14  | Junio      | 11004                 | 1,19 | 9 | 29  | Septiembre | 18687                 | 1,52 | 12 |
| 15  | Julio      | 12601                 | 1,36 | 9 |     |            |                       |      |    |

En general, la superficie total se mantiene cercana a los valores iniciales. Durante estos 29 meses se observa un crecimiento de la superficie total en los meses de verano y una disminución de su extensión en invierno (Figura 9).



**Figura 9.** 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 10 se muestran algunas fotografías generales de la zona B3 a lo largo del año 2013. En éstas puede observarse el aspecto de los trasplantes, el desarrollo del canal secundario que divide la zona trasplantada y la aparición y acumulación de *Ulva* sp. en primavera.



**Figura 10.** Evolución en 2013 de la zona B3 del Butroe (trasplante de 2011).

#### 4.1.2.2 *Discusión*

Desde una visión general, las unidades trasplantadas a esta zona han mostrado un comportamiento similar durante estos dos primeros años. Se aprecia una fluctuación estacional, mostrando los valores más elevados tanto de densidad como de ocupación superficial entre julio y octubre, y los valores más bajos entre febrero y abril. A pesar de que la dinámica de la densidad simula a la de una población natural, lo hace en unos registros inferiores. Parece que estos trasplantes aún no adquieren la suficiente energía como para desarrollarse en el mismo rango de valores de una pradera natural. En este sentido, la ocupación superficial tampoco muestra un desarrollo rápido. Algunas UTs han crecido de manera relevante, pero esto no se ve reflejado en el cómputo general ya que otras UTs (las del borde de la zona) han ido desapareciendo, probablemente como consecuencia de las diferentes presiones a las que se ve sometida: aportes de material sedimentario fino en invierno, aparición de cubierta algal en primavera y el efecto de un canal secundario que divide el parche, entre otras. Estas circunstancias entorpecen la adaptación de los trasplantes a sus nuevas condiciones y ralentizan el esperado desarrollo y establecimiento de una nueva pradera. Sin embargo, la supervivencia tras más de dos años, el buen aspecto de algunas UTs y el lento crecimiento de los trasplantes en su conjunto aún nos ofrecen una imagen esperanzadora. 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.



### 4.1.3 Trasplante 4 (2012): zonas receptoras B4 y B5

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 2012 (Garmendia *et al.*, 2012). En dicho informe se exponen además los resultados obtenidos tras el seguimiento realizado durante los primeros meses post-trasplante.

Durante el año 2013 se ha continuado realizando el seguimiento con la misma metodología empleada desde el inicio: visitas mensuales/bimensuales para la obtención de fotografías, medidas de temperatura y potencial redox, y cálculo de la densidad de haces. En el presente capítulo, se presentan los resultados correspondientes al desarrollo de las UTs hasta el momento, es decir, desde su trasplante en marzo de 2012 hasta noviembre de 2013.

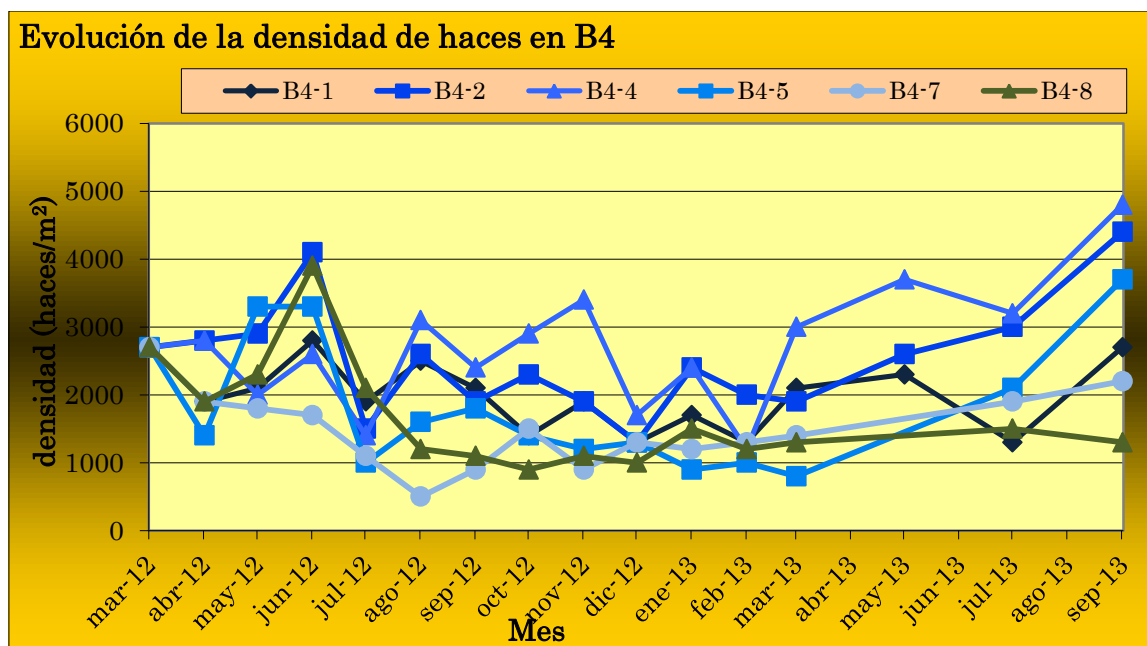
A continuación se presentan los resultados obtenidos en la mencionada zona, haciendo especial hincapié a la evolución del crecimiento horizontal, factor de crecimiento y densidad de haces experimentada por cada UT.

#### 4.1.3.1 Seguimiento de los trasplantes

##### 4.1.3.1.1 Zona receptora B4

A partir de la realización de los trasplantes en marzo de 2012, esta zona receptora de 8 UTs ha sido visitada con una periodicidad (bi)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 11 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.

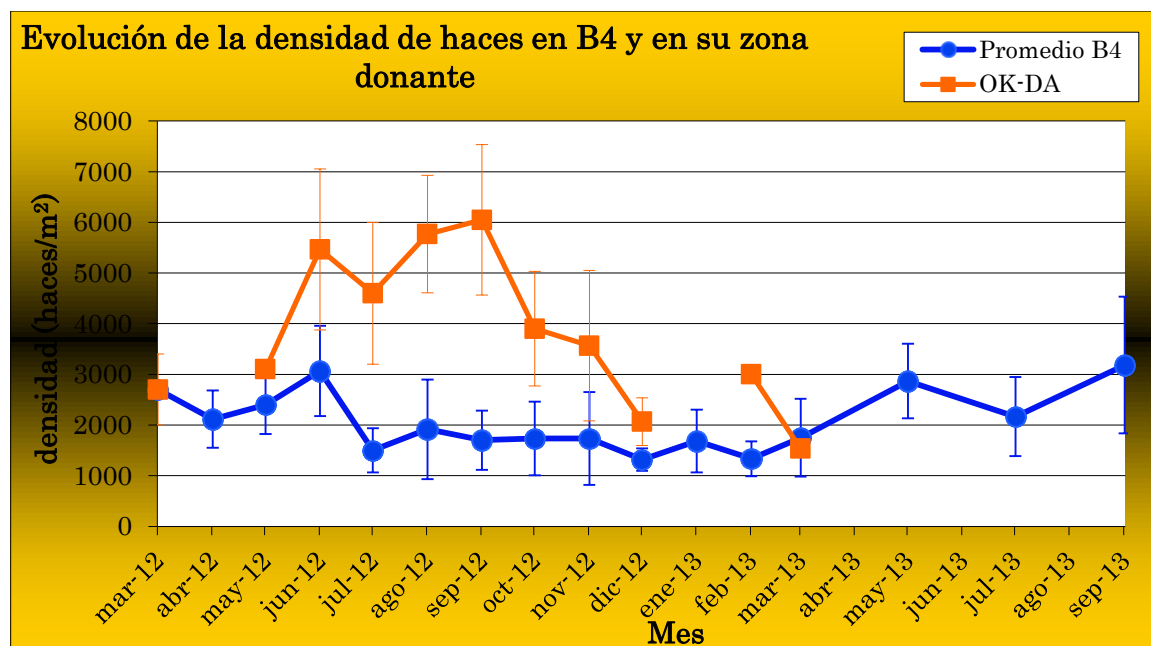


**Figura 11.** Evolución de la densidad de haces en cada una de las UTs de la zona B4 del Butroe en el trasplante de 2012.

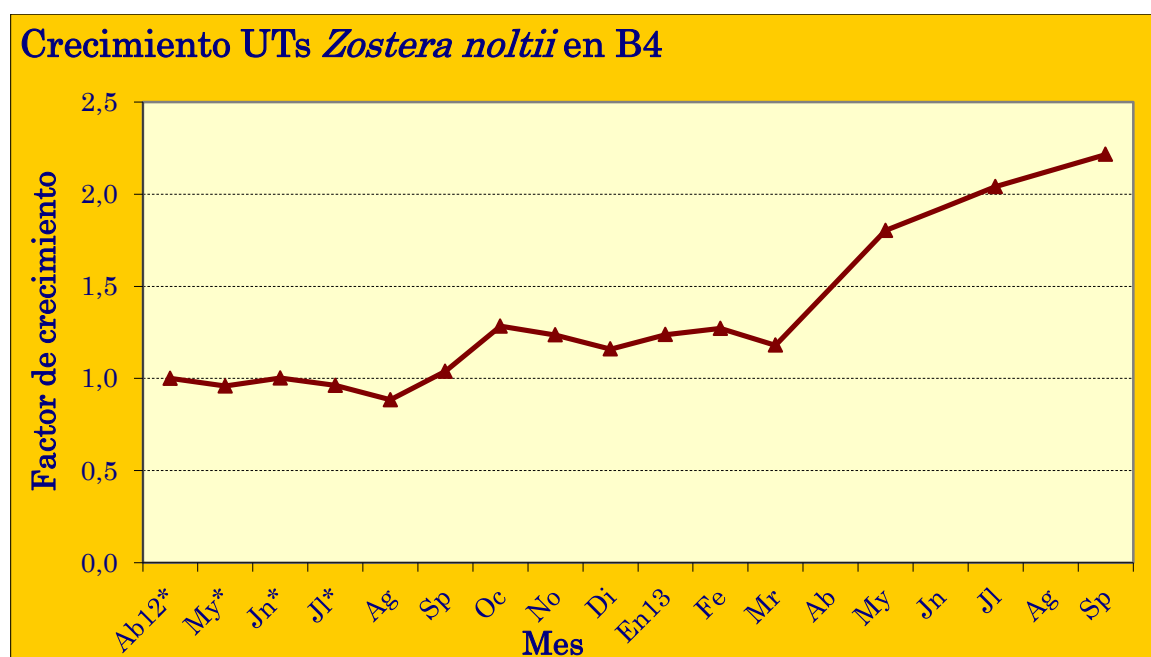
Atendiendo a los valores promedio (Figura 12) de estas 6 UTs, la tendencia general indica un descenso inicial y un mantenimiento en valores inferiores a los observados en la población donante, con un posterior incremento de la densidad en verano.

En la Figura 13, donde se representa el factor por el cual se ha visto multiplicada el área total trasplantada, se observa un crecimiento lento y de manera escalonada de la ocupación superficial: tras un mantenimiento inicial de las UTs trasplantadas durante unos siete meses, se observa un ligero incremento del área y mantenimiento durante otros siete meses, y un importante aumento en verano de 2013. En los meses iniciales el cálculo de la superficie total se realizó en base a la superficie total de 6 UTs (señalado con asterisco), pero con el desarrollo y fusión de las UTs la identificación de manera individualizada de éstas resulta imposible y, a partir de agosto, se calculó la superficie total de las 8 UTs. En realidad, algunas UTs iniciales desaparecen, pero la superficie total del parche aumenta gracias a la ocupación de la superficie entre UTs. Este cambio de área ocupada da una sensación de movimiento o desplazamiento de la pradera.

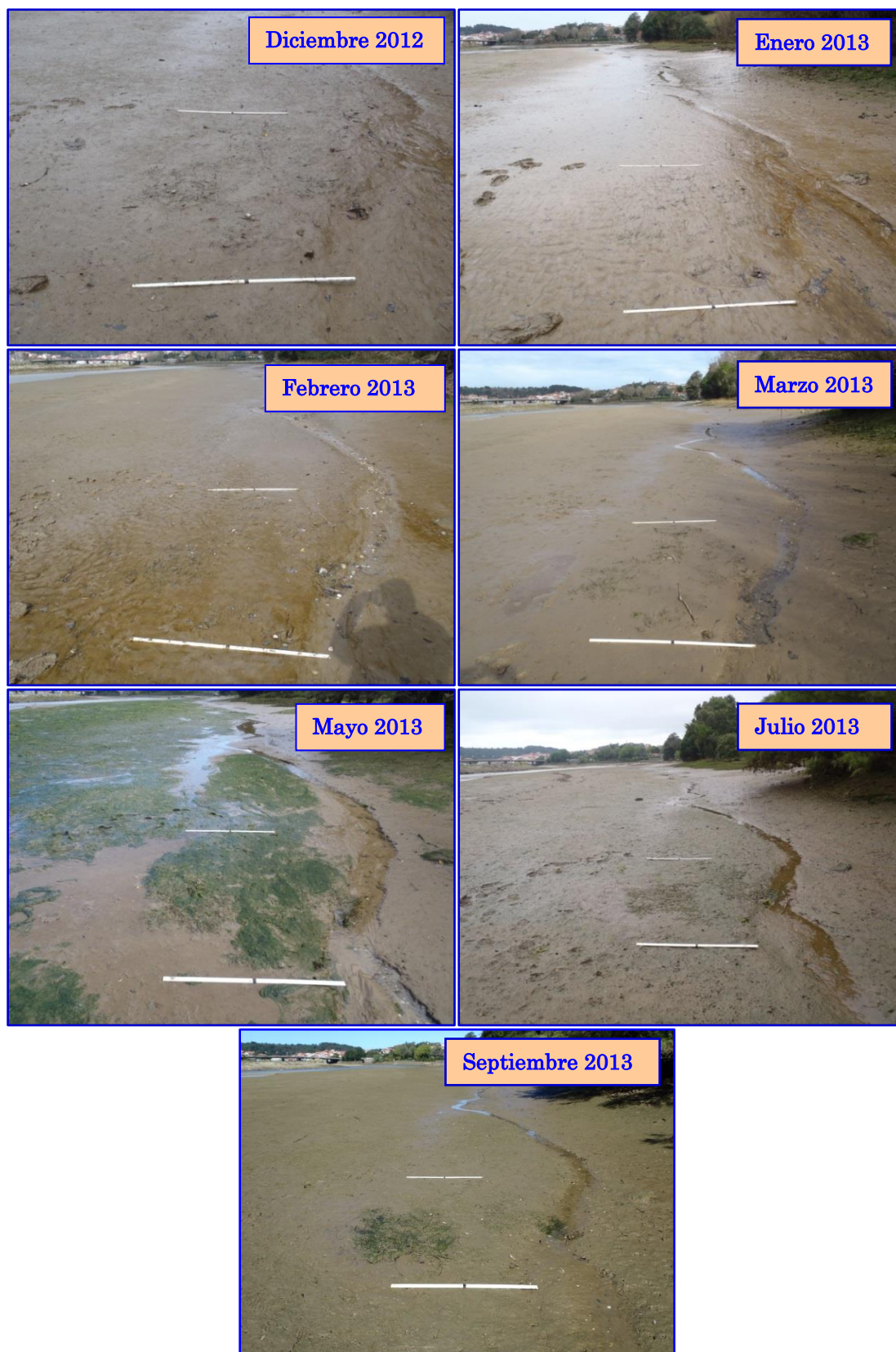




**Figura 12.** Evolución del promedio de la densidad de haces en 6 de las 8 UTs de la zona B4 del Butroe en el trasplante de 2012 y en la población donante del Oka (OK-DA). Las barras representan la desviación típica.



**Figura 13.** 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).



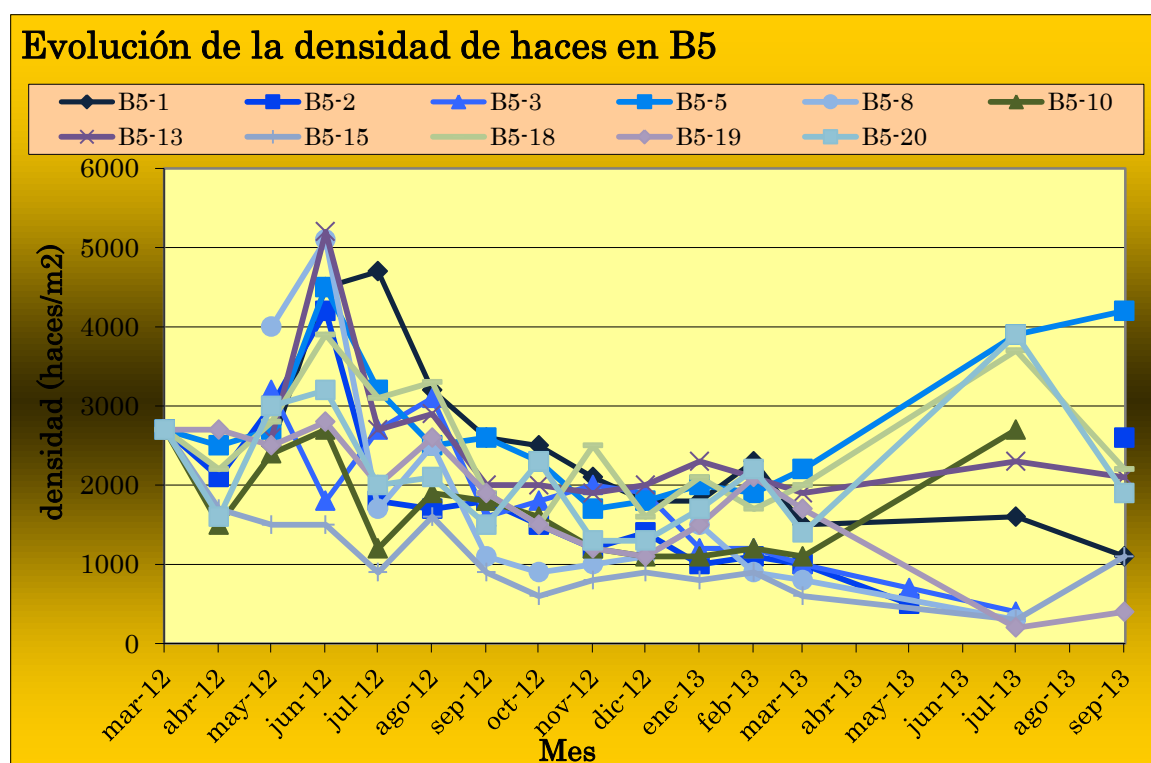
**Figura 14.** Evolución en 2013 de la zona B4 del Butroe (trasplante de 2012).

#### 4.1.3.1.2 Zona receptora B5

A partir de la realización de los trasplantes en marzo de 2012, esta zona receptora de 20 UTs ha sido visitada con una periodicidad (bi)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.

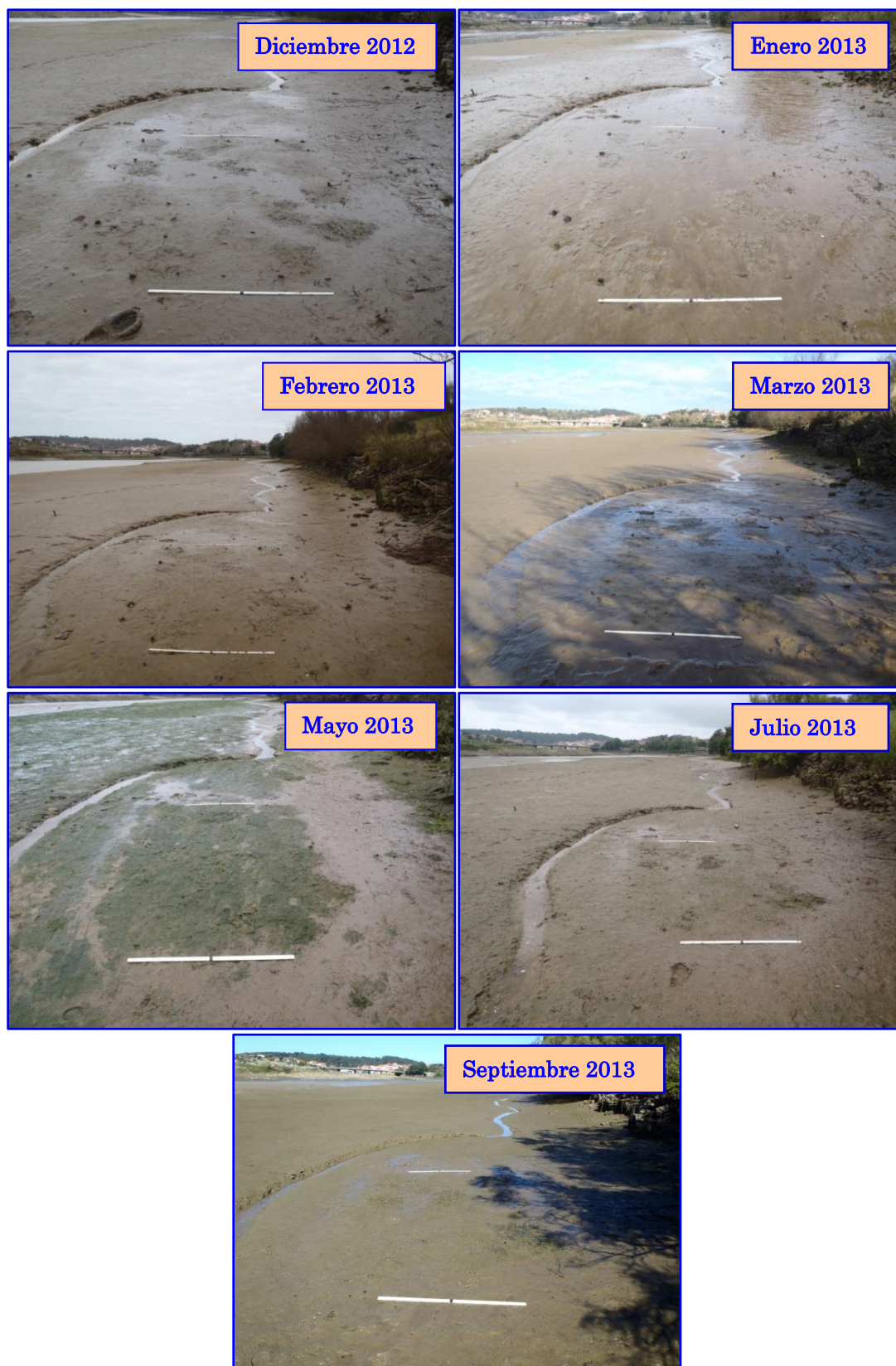
En la Figura 15 se representa la evolución de las densidades de haces calculadas para las 11 UTs. Tras fluctuar sus densidades durante el primer año de manera más o menos similar, a partir de marzo de 2013 se aprecian tres grupos de UT: las que muestran elevadas densidades (5, 8 y 18), las que muestran bajas densidades (2, 3, 19 y 20) y tienden a la desaparición, y las que muestran valores intermedios (1, 10 y 13).

En mayo de 2013 la mayoría de las UTs correspondientes a este trasplante se encontraban cubiertas por una capa de algas verdes lo que imposibilitó el cálculo de la densidad de hojas (Figura 16).



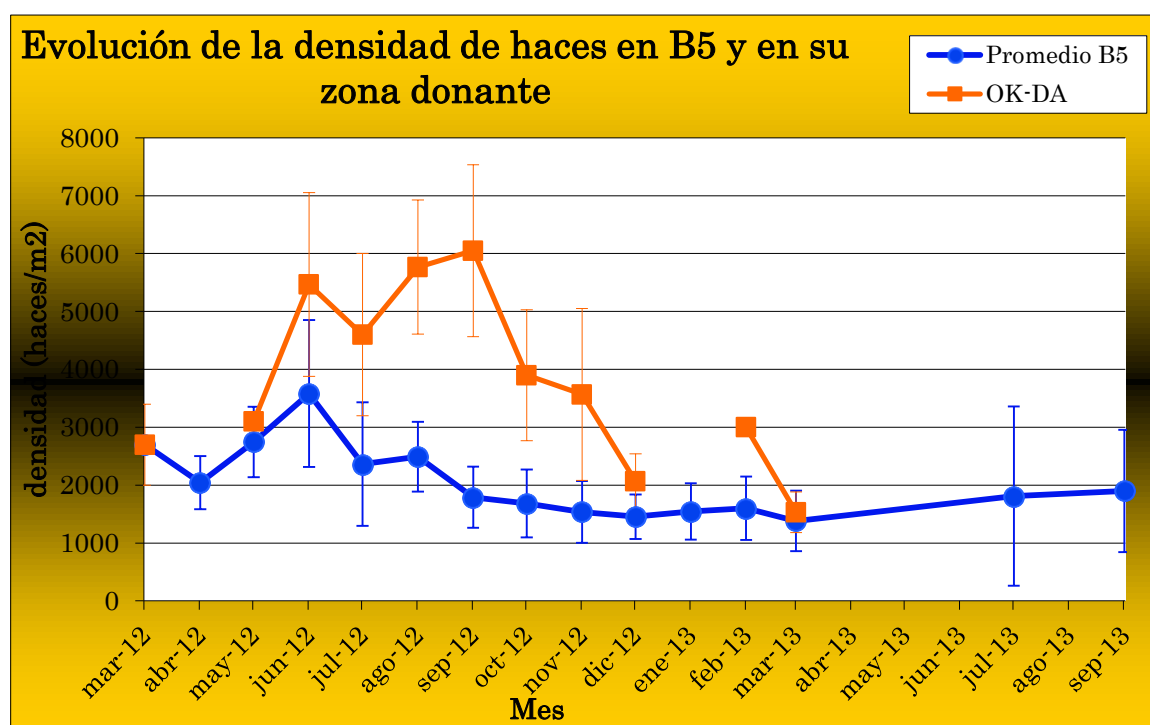
**Figura 15.** Evolución de la densidad de haces en cada una de las UTs de la zona B5 del Butroe en el trasplante de 2012.





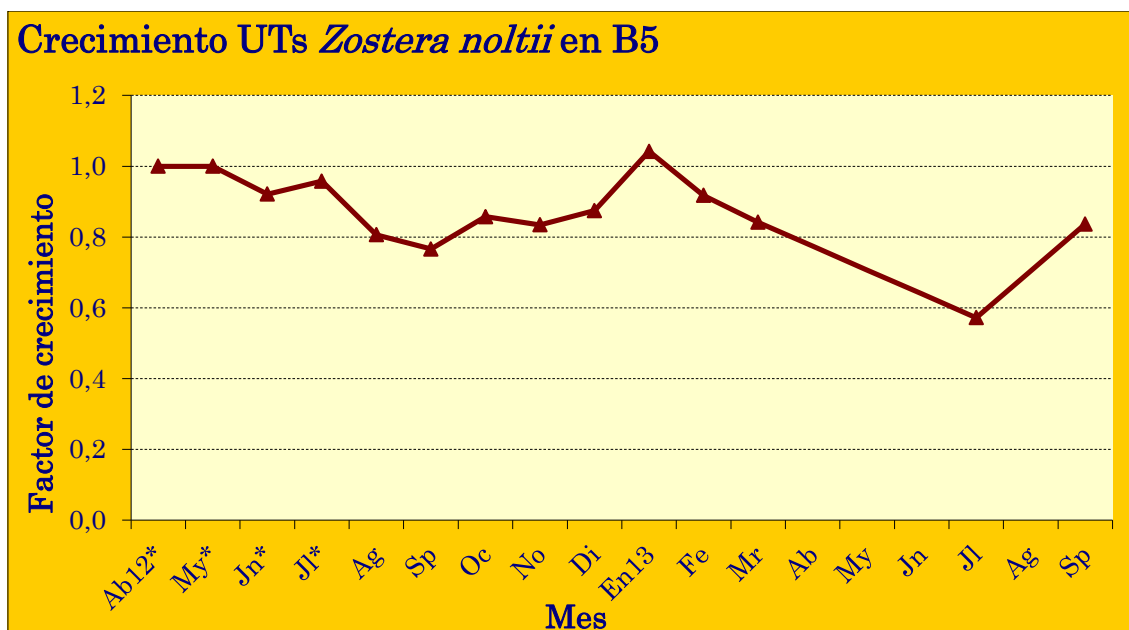
**Figura 16.** Evolución en 2013 de la zona B5 del Butroe (trasplante de 2012).

Teniendo en cuenta los valores promedio (Figura 17) de estas 11 UTs, tras un incremento inicial, la tendencia general indica una posterior disminución progresiva de la densidad, y una estabilización invernal de sus registros. En verano de 2013 no se observa la esperada recuperación. En mayo de 2013 no se dispone de datos debido a la mencionada elevada presencia de algas verdes en la zona. A partir de julio de 2013, no se encuentra la UT 2 por lo que, para mantener el mismo número de réplicas (11), se calculó la densidad de la UT 17.



**Figura 17.** 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 y en la población donante del Oka (OK-DA). Las barras representan la desviación típica.

Respecto al crecimiento horizontal, tras la disminución y recuperación del área total ocupada observada en el año 2012, en el año 2013 se ha visto una acusada disminución de su superficie hasta ocupar casi la mitad de la superficie trasplantada (Figura 18). Parece evidente el efecto de la presencia del alga en mayo. A pesar de ello, en septiembre se ha observado una recuperación.



**Figura 18.** 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).

#### 4.1.3.2 Discusión

Teniendo en cuenta la experiencia propia con los trasplantes de 2009 y 2011, aún es pronto para obtener conclusiones definitivas. Además, esta idea se ve reforzada con las distintas tendencias observadas en los dos trasplantes de 2012: mientras que en B4 la situación de los parches trasplantados comienza a mejorar a partir del primer año, en B5 se aprecia justo la tendencia contraria. Este hecho confirma la necesidad de esperar el transcurso de varios ciclos anuales (Leschen *et al.*, 2010; Tanner *et al.*, 2010; Cunha *et al.*, 2012) para ofrecer a las plantas un tiempo prudencial para su adaptación a las nuevas condiciones ambientales.

Aunque, como se ha mencionado, aún es pronto y se requiere de un seguimiento más prolongado, los trasplantes intermedios (de 8 y 12 UTs) parecen mostrar unos resultados más exitosos que los pequeños (4 UTs) y los grandes (20 UTs).

Otro evento que contribuye a la dispar evolución de los parches trasplantados es la ocupación diferencial de las algas verdes que se desarrollan de manera espectacular en primavera. Todos los años se produce una gran producción de algas verdes que se depositan sobre el sedimento, pudiendo cubrir completa o parcialmente las unidades trasplantadas. Estas algas no se distribuyen de manera uniforme por todo el fondo, ni lo hacen con el mismo

grosor. Por ello, algunas áreas quedan cubiertas con gruesas capas y otras quedan libres o bajo delgadas capas de algas. Como resultado, algunas UTs se ven afectadas y otras no. En función de la magnitud del daño producido, la UT podrá lograr recuperarse o no.

Además, a pesar de que su aparición anual es recurrente y conocida, esta presión es muy variable y sus consecuencias pueden ser diferentes, es decir, suele variar tanto la cantidad como el espacio de ocupación. Por ello, la afección de esta presión es, hasta el momento, impredecible.

Por ello, la elevada presencia de algas que pueden perjudicar a las fanerógamas marinas privándoles de oxígeno y luz, es un dato a tener en cuenta a la hora de evaluar el desarrollo y evolución de las praderas marinas. Esta presión se considera especialmente influyente en las etapas iniciales de colonización de nuevas zonas, cuando los parches son de pequeño tamaño y su capacidad de recuperación es limitada. No obstante, el efecto de esta elevada producción de algas verdes puede perfectamente ser contrarrestado teniendo en cuenta lo observado en el estuario del Oka. En este estuario, donde se encuentra la mayor extensión de pradera marina del País Vasco, también es recurrente esta elevada presencia de algas verdes en primavera y, sin embargo, esta pradera se ha mantenido durante muchos años. Quizás, el hecho de ocupar una extensa superficie le confiere una capacidad de recuperar de manera eficaz aquellas superficies que hayan podido verse afectadas de manera importante. Por tanto, si bien es cierto que las praderas marinas pueden coexistir con elevadas producciones puntuales de algas verdes, es un evento que resulta especialmente preocupante en las primeras fases del establecimiento y desarrollo de una nueva población (sea de manera natural o sea mediante una actuación de trasplante).

En definitiva, debe proseguirse con el seguimiento de todos estos trasplantes durante los años venideros.

## 4.2 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 19).



**Figura 19.** Estuario del Oka, con las zonas donantes resaltadas en naranja: 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, y tampoco lo ha hecho para finales del año 2012 (Garmendia *et al.*, 2012). Por otro lado, durante el año 2012 se inició el seguimiento de la recuperación de la zona donante del trasplante de 2012, pero tras 8 meses aún no se había recuperado (Garmendia *et al.*, 2012). Por tanto, en el presente capítulo se continúa con el seguimiento de ambas alteraciones.

#### 4.2.1 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 y 2012 se prosiguió con el seguimiento pero no se alcanzó la recuperación total (Garmendia *et al.*, 2011, 2012), por lo que en 2013 se ha continuado con él, siguiendo la misma metodología (visitas periódicas con toma de fotografías y control de hojas de *Z. noltii* dentro de la zanja). Este año, debido a la lentitud de la recuperación, las visitas se han efectuado de manera más espaciada en el tiempo.

En el informe de 2012 se incluyeron las visitas realizadas hasta noviembre de 2012. En el presente informe se continúa con las visitas a partir de dicha fecha: desde entonces, se ha visitado la zona en marzo y octubre de 2013 (Figura 20).



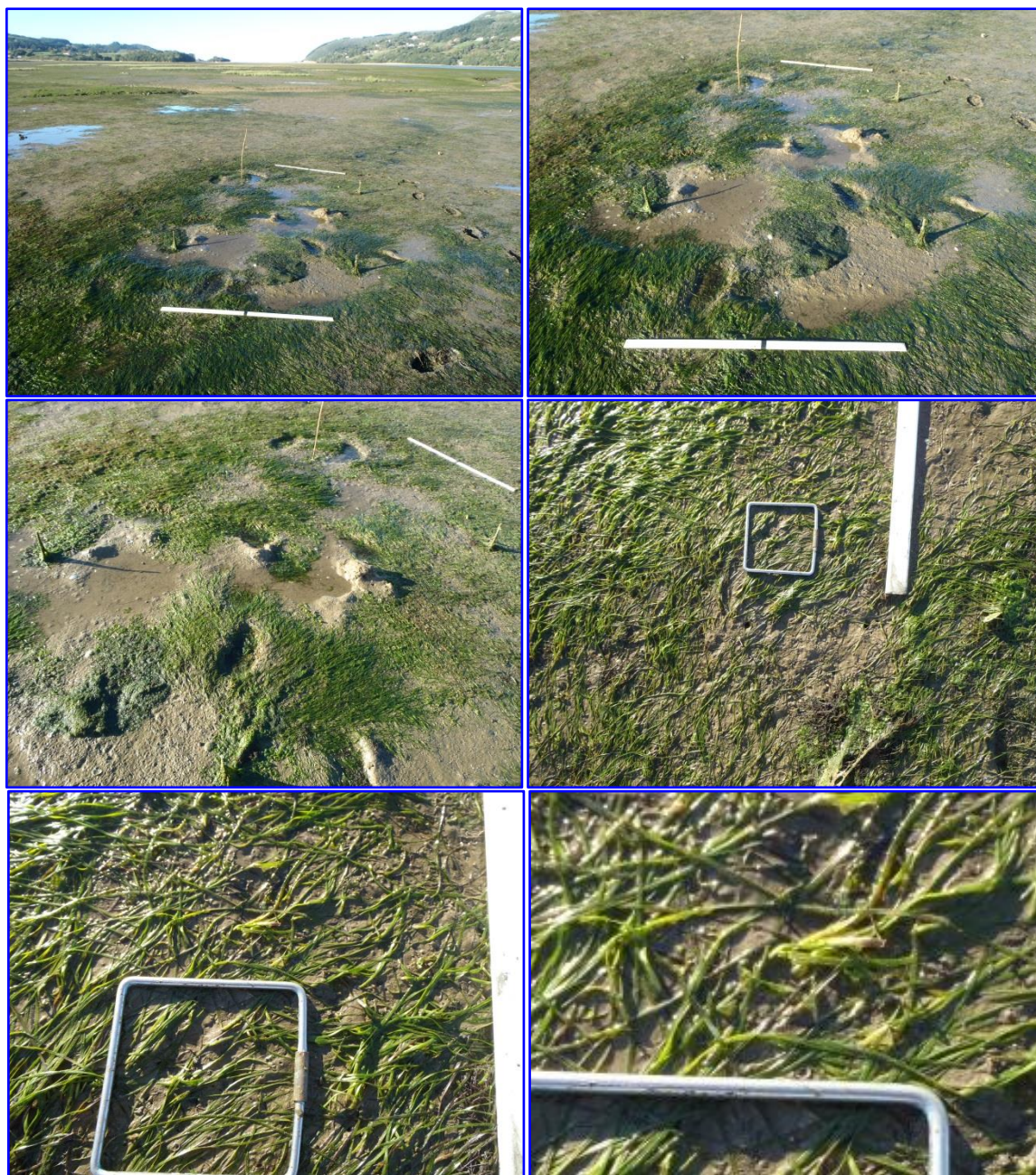
**Figura 20.** Estado de la zona donante de 2010 durante las visitas de marzo y octubre de 2013.

En marzo apenas se apreciaba ocupación de la zona por *Zostera*, y los alrededores parecían encontrarse despobladas de esta planta, al menos en su parte aérea o superficial. No obstante, este es un escenario bastante habitual en la época invernal teniendo en cuenta las adversas condiciones y la ralentización del crecimiento de esta planta. Sin embargo, en octubre, tras la época veraniega donde se da un importante crecimiento de la vegetación, el paisaje es completamente distinto: la zanja se encuentra prácticamente ocupada por *Zostera*, con algunas matas muy densas. Es cierto que aún hay calvas desocupadas, pero es el aspecto que adquiere la pradera en este entorno, con una ocupación heterogénea del terreno. Este drástico cambio refleja el gran dinamismo que presenta esta planta y muestra la elevada variabilidad del paisaje entre el invierno y el verano.

Además, en octubre se han visto señales de pisadas humanas (probablemente de mariscadores) dentro de la parcela (Figura 21), lo cual también ha podido influir negativamente en su recuperación. Por otro lado, también se han observado flores lo cual refleja el crecimiento de la pradera y su actividad colonizadora del entorno.

Por tanto, tras 43 meses, se puede considerar completamente recuperada la zona alterada.





**Figura 21.** Zona donante de 2010 en octubre de 2013. En las fotografías superiores se aprecian pisadas humanas dentro de la zanja donante. En las fotografías inferiores, justo sobre el cuadrado pueden distinguirse flores de *Zostera noltii*.

## 4.2.2 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 19). 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. 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.

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) para favorecer 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 23).

Para evaluar el posible efecto de la propia labor de extracción se realizaron tres controles: OK-C1, OK-C2, OK-C3 (para más detalles, véase Garmendia *et al.* (2012)).

### 4.2.2.1 Seguimiento de la zona alterada

Con la finalidad de evaluar el tiempo necesario para la recuperación de esta perturbación, se realizaron visitas de inspección mensuales para observar el estado de la zona alterada, obtener fotografías y tomar medidas de la densidad de la población natural de *Zostera noltii*.

En enero de 2013 no pudieron tomarse datos ni fotografías de los puntos debido a las adversas condiciones meteorológicas reinantes durante las semanas previas al muestreo: el caudal del río era de tal magnitud que en la bajamar viva de este mes las zonas a estudiar no quedaron al descubierto (Figura 22).

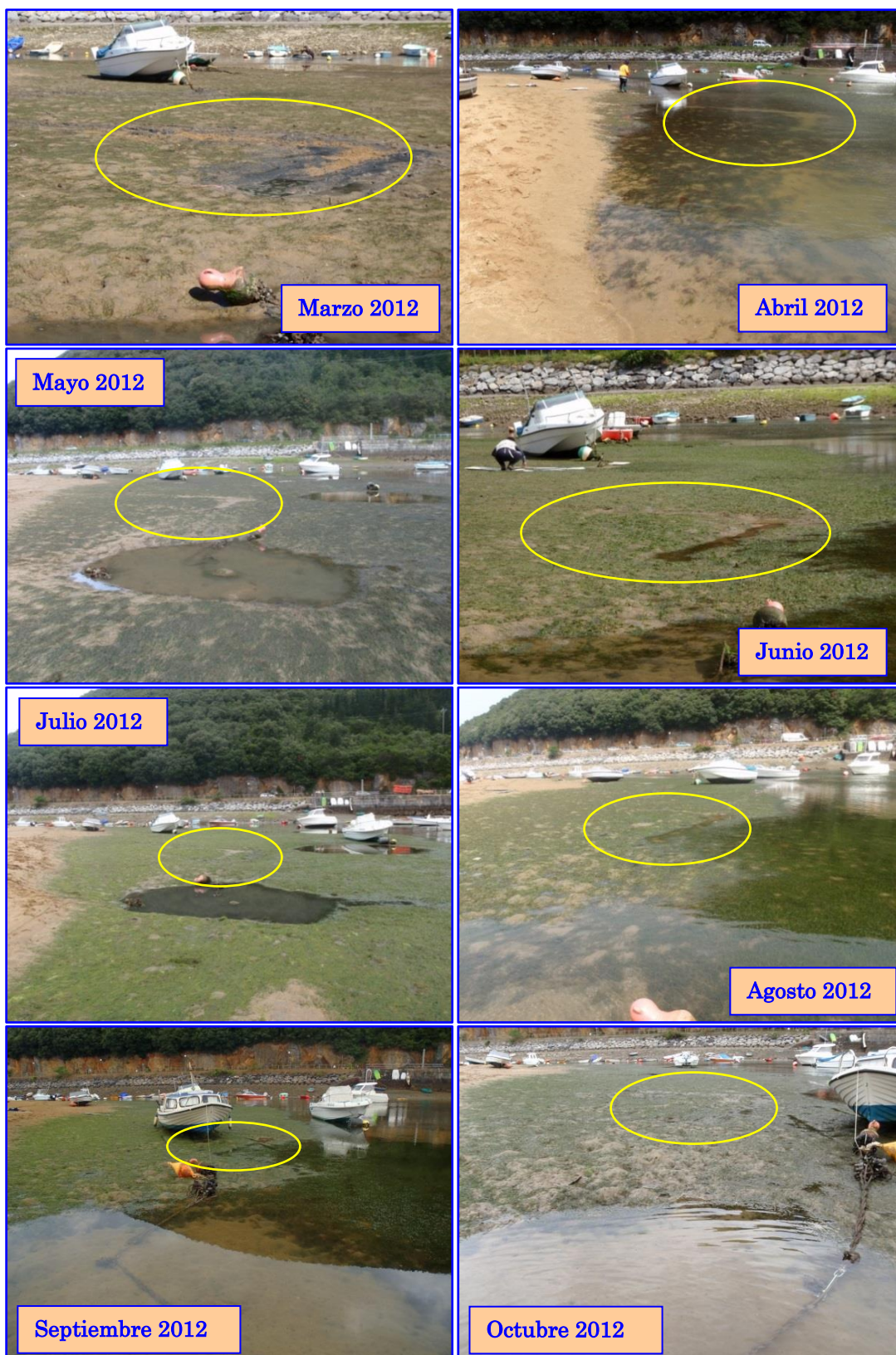




**Figura 22.** Arketas, población donante. Bajamar viva de enero 2013. Los puntos de estudio no quedaron al descubierto.

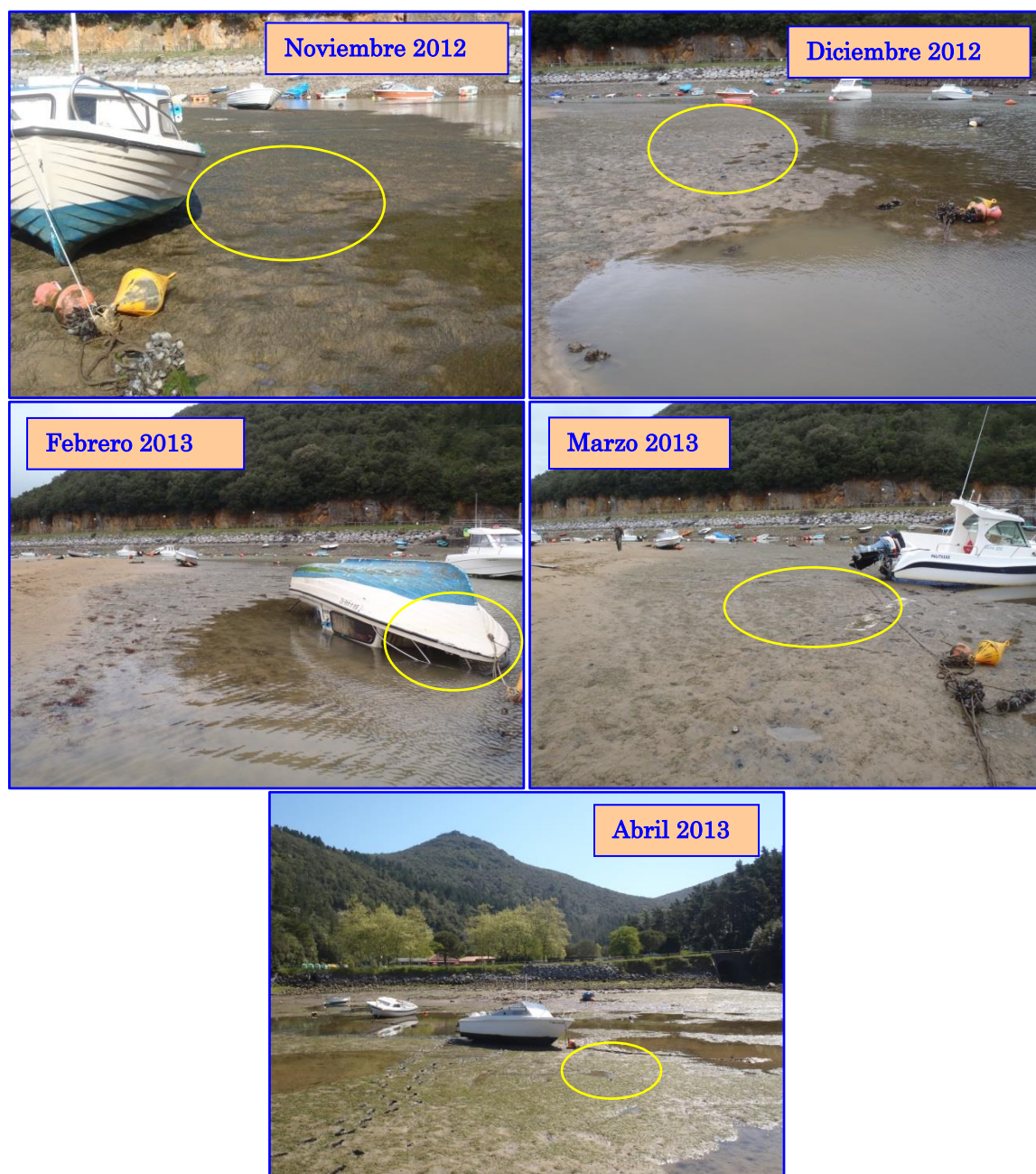
En la Figura 23 puede observarse la evolución de la zanja desde marzo de 2012 hasta abril de 2013 (13 meses). *Zostera noltii* ha ido recolonizando la zanja y en la última visita únicamente queda una “calva” en el ángulo formado por los dos “brazos” de la zanja.

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 ha sido ligeramente superior. No obstante, la recuperación se ha visto afectada 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 (véanse los meses de septiembre, noviembre, febrero y marzo de la Figura 23).



**Figura 23.** Zanja en la zona donante tras la extracción de las 28 UTs. En círculo amarillo se señala la zona de la zanja.

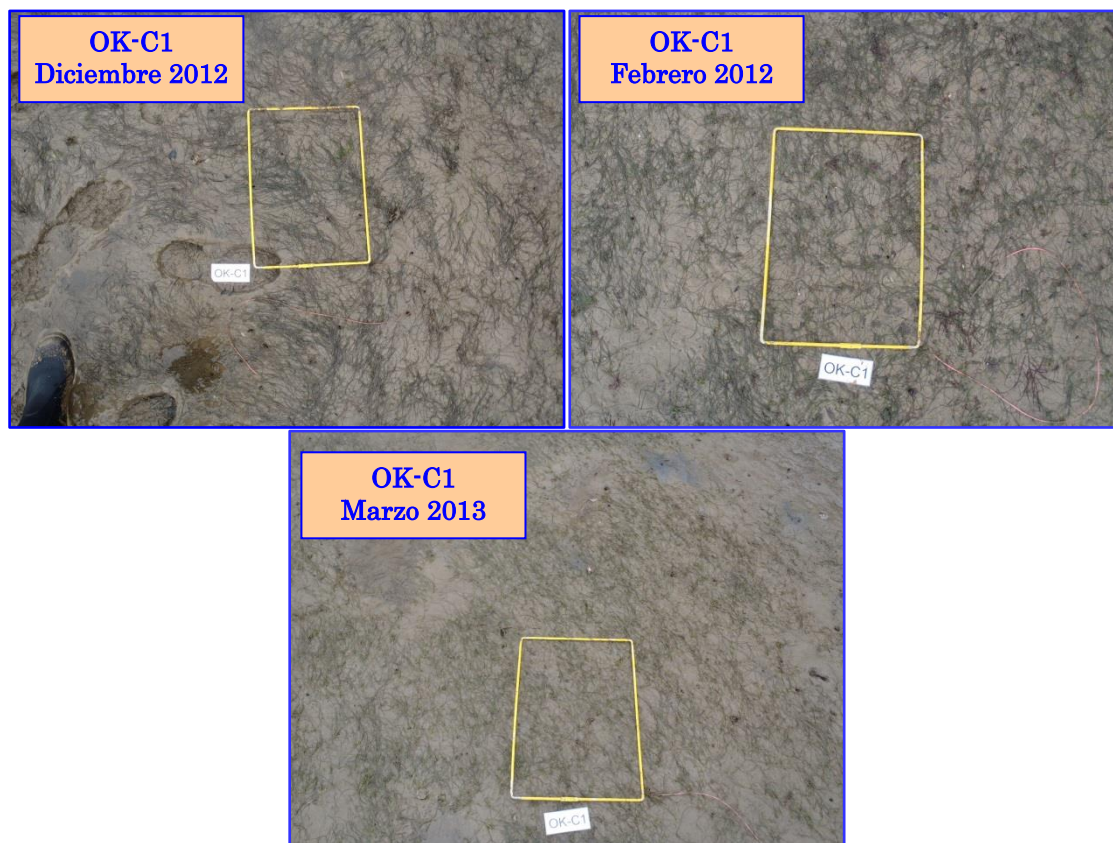




**Figura 23 (continuación).** Zanja en la zona donante tras la extracción de las 28 UTs. En círculo amarillo se señala la zona de la zanja: en las primeras fotografías se aprecia la alteración en forma de "L", que va desapareciendo hasta quedar en la última fotografía como única señal de alteración el charco que corresponde al vértice de la zanja.

#### 4.2.2.2 Seguimiento de los controles

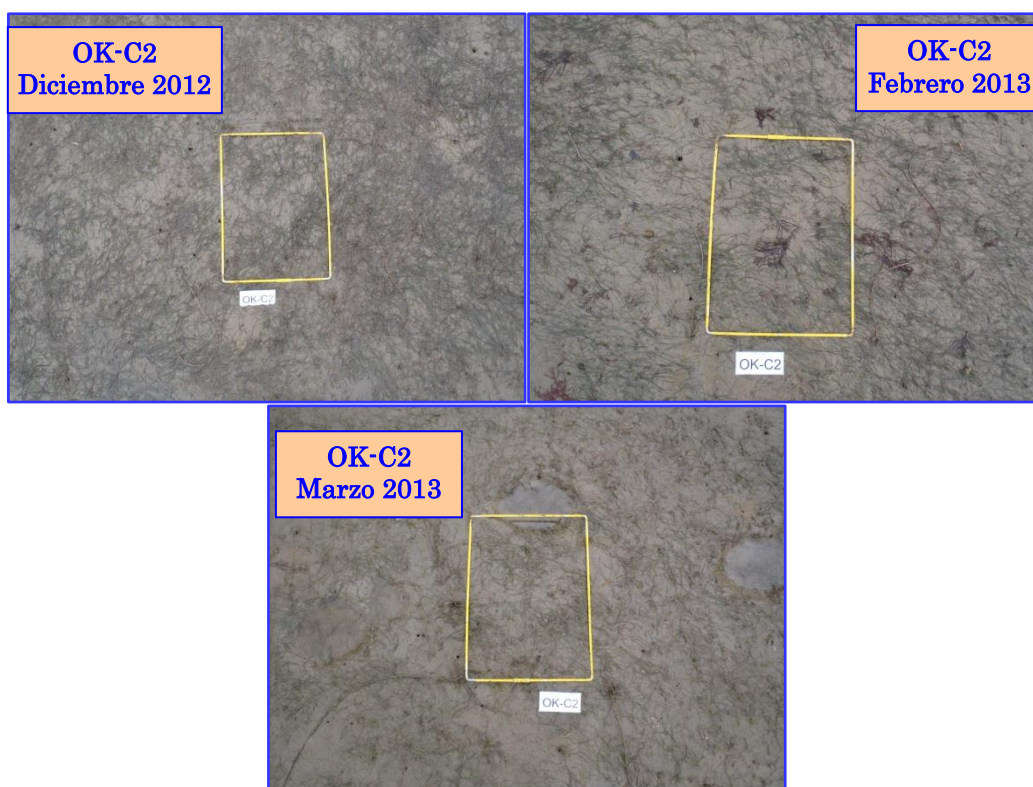
A partir de la extracción de UTs (marzo 2012) se realizaron visitas mensuales a la zona donante, donde se realizaron fotografías. A continuación se muestran las correspondientes a los últimos meses del seguimiento (Figura 24, Figura 25 y Figura 26): las correspondientes a los meses iniciales se encuentran en Garmendia *et al.* (2012).



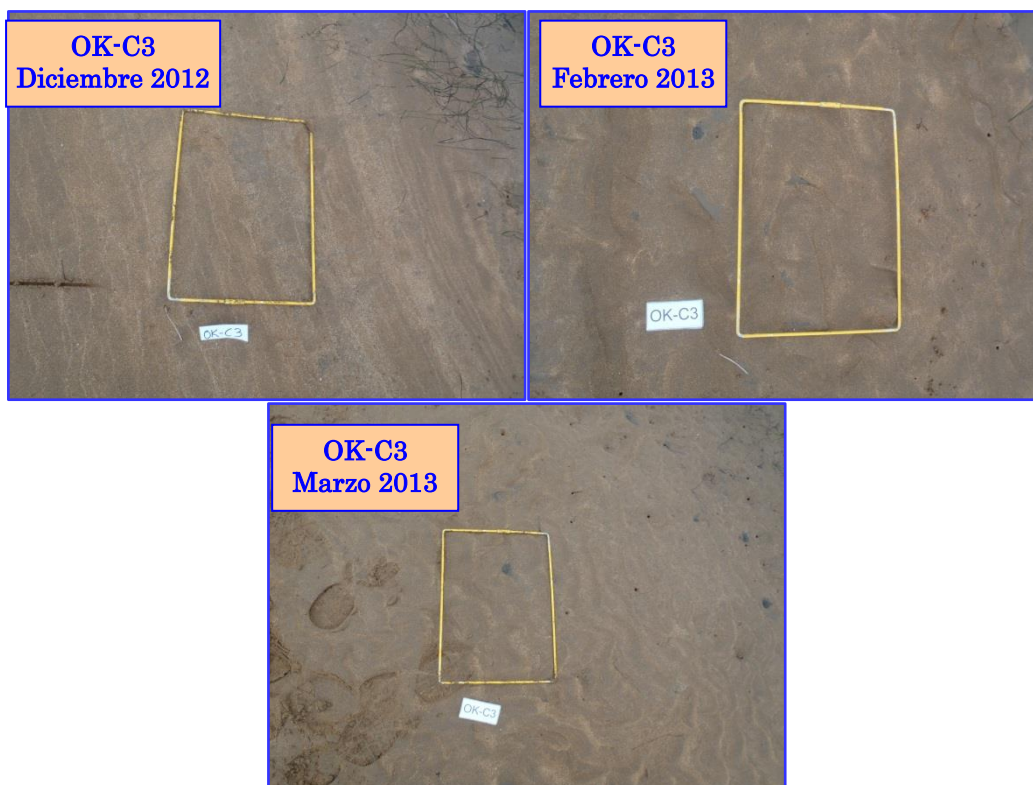
**Figura 24.** Parche control OK-C1 durante los meses posteriores a la actuación de extracción.

Durante estos trece meses de seguimiento los controles 1 y 2 no han mostrado señales de alteración y se han desarrollado del mismo modo que su entorno. Por tanto, tal y como se adelantaba en la memoria de las actividades del año 2012 (Garmendia *et al.*, 2012), 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.





**Figura 25.** Parche control OK-C2 durante los meses posteriores a la actuación de extracción.



**Figura 26.** Parche control OK-C3 durante los meses posteriores a la actuación de extracción.

Sin embargo, el control 3 no se ha podido desarrollar correctamente porque se ha visto afectado por los aportes de arena desde el inicio, y ya en el tercer mes (junio 2012) se encontraba completamente enterrado. La desaparición de este control no tiene ninguna relación con la extracción y 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.

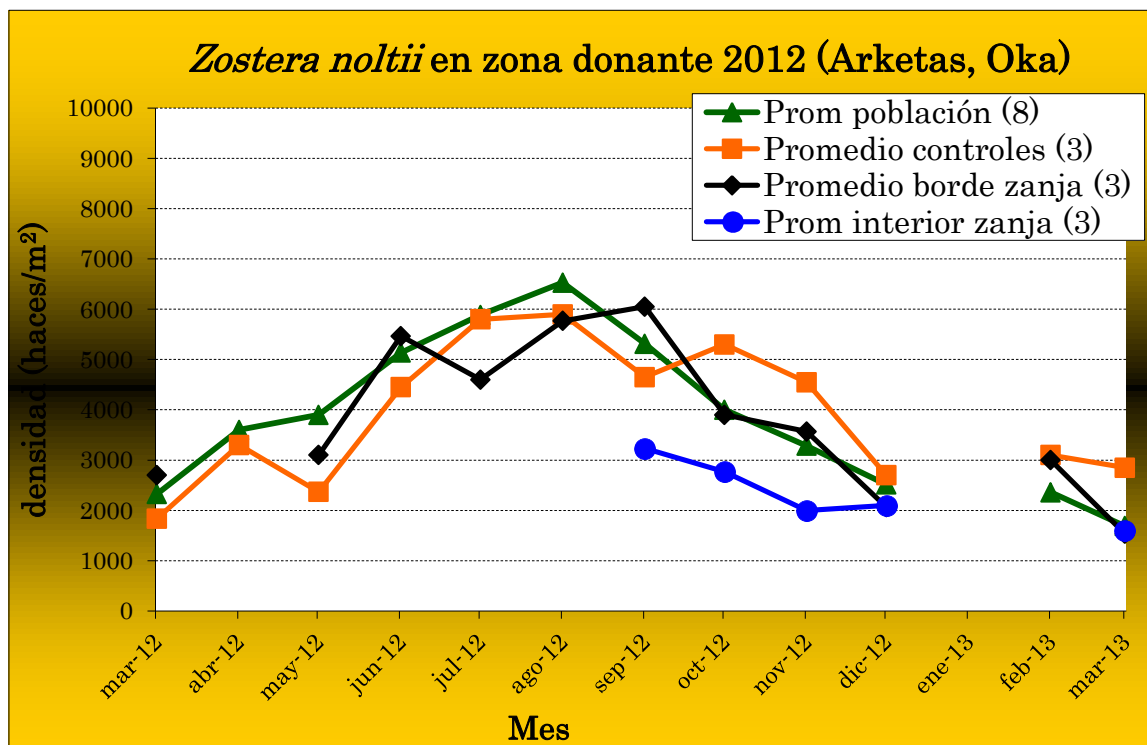
Por tanto, al igual que ocurrió en el trasplante de 2011 (Garmendia *et al.*, 2011), en ninguna de las visitas se ha observado diferencia de comportamiento entre los parches control y las plantas de su alrededor, por lo que se concluye que no se han visto afectados por su extracción y plantación. Así, se puede rechazar la hipótesis de que el desarrollo negativo de los parches trasplantados a otra zona se deba al estrés provocado por su manipulación durante las labores de extracción y plantación.

#### 4.2.2.3 Densidad de *Zostera*

La Tabla 3 y Figura 27 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 3.** 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; sum. sumergido. En el encabezado de los promedios, 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 | dic-12 | ene-13 | feb-13 | mar-13 |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| OKC-1                    | 1800   | 3400   | 2700   | 4000   | 5000   | 5300   | 4700   | 5400    | 5100   | 2900   | 3400   | 3500   |        |
| OKC-2                    | 1300   | 3200   | 2900   | 4900   | 6600   | 6500   | 4600   | 5200    | 4000   | 2500   | 2800   | 2200   |        |
| OKC-3                    | 2400   | 3300   | 1500   | ent.   | ent.   | ent.   | ent.   | ent.    | ent.   | ent.   | ent.   | ent.   |        |
| Prom. controles (3)      | 1833   | 3300   | 2367   | 4450   | 5800   | 5900   | 4650   | 5300    | 4550   | 2700   | 3100   | 2850   |        |
| d.e.                     | 551    | 100    | 757    | 636    | 1131   | 849    | 71     | 141     | 778    | 283    | 424    | 919    |        |
| OKD1-N                   | 3200   | 3600   | 4200   | 6800   | 5100   | 6300   | 3700   | 4800    | 2800   | 2200   | 1900   | 1500   |        |
| OKD1-S                   | 3500   |        | 3500   | 4800   | 5800   | 8300   | 6000   | 3300    | 3100   | 3400   | 2700   | 2200   |        |
| OKD1-E                   | 2500   |        | 4100   | 7100   | 6600   | 6200   | 6400   | 5100    | 4200   | 3200   | 2700   | 2500   |        |
| OKD1-W                   | 2200   |        | 5500   | 4900   | 5500   | 4800   | 5000   | 2500    | 3600   | 2800   | 2600   | 1200   |        |
| OKD2-N                   | 2700   |        | 1600   | 4400   | 6400   | 3900   | 4700   | 2700    | 1100   | 1100   | sum.   | 1100   |        |
| OKD2-S                   | 800    |        | 5300   | 4800   | 6700   | 7600   | 5100   | 5100    | 4800   | 3000   | 1900   | 1100   |        |
| OKD2-E                   | 2300   |        | 4800   | 4200   | 5100   | 8600   | 6300   | 4500    | 3400   | 1900   | sum.   | 2200   |        |
| OKD2-W                   | 1400   |        | 2200   | 4100   | ent.   | b.b.   | ent.   | ent.    | ent.   | ent.   | ent.   | ent.   |        |
| Prom. población (8)      | 2325   | 3600   | 3900   | 5138   | 5886   | 6529   | 5314   | 4000    | 3286   | 2514   | 2360   | 1686   |        |
| d.e.                     | 888    |        | 1404   | 1159   | 687    | 1762   | 979    | 1136    | 1175   | 821    | 422    | 598    |        |
| OK-DA                    | 1900   |        | 3200   | 4600   | 4000   | 7100   | b.b.   | no enc. | 5200   | 2600   | 3000   | 1500   |        |
| OK-DB                    | 3200   |        | 3000   | 7300   | 3600   | 5000   | 5000   | 4700    | 3200   | 1700   |        | 1900   |        |
| OK-DD                    | 3000   |        | 3100   | 4500   | 6200   | 5200   | 7100   | 3100    | 2300   | 1900   |        | 1200   |        |
| Prom. borde zanja (3)    | 2700   |        | 3100   | 5467   | 4600   | 5767   | 6050   | 3900    | 3567   | 2067   | 3000   | 1533   |        |
| d.e.                     | 700    |        | 100    | 1589   | 1400   | 1159   | 1485   | 1131    | 1484   | 473    |        | 351    |        |
| Int-A                    |        |        |        |        |        |        | 4300   | 2900    | 2300   | 2200   | b.b.   | 2300   |        |
| Int-B                    |        |        |        |        |        |        | 3100   | 2300    | 2200   | 2900   | b.b.   | 1000   |        |
| Int-D                    |        |        |        |        |        |        | 2300   | 3100    | 1500   | 1200   | b.b.   | 1500   |        |
| Prom. interior zanja (3) |        |        |        |        |        |        | 3233   | 2767    | 2000   | 2100   |        | 1600   |        |
| d.e.                     |        |        |        |        |        |        | 1007   | 416     | 436    | 854    |        | 656    |        |



**Figura 27.** 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 3.

Tal y como se refleja en la Figura 27, a partir de diciembre, a los nueve meses de la extracción, los promedios obtenidos en la población, en el borde e interior de la zanja se aproximan mucho, siendo algo superiores los registros de los controles.

#### 4.2.2.4 Densidad de embarcaciones

Las embarcaciones fondeadas en esta zona constituyen una amenaza real debido al impacto directo e indirecto que provocan sobre las praderas marinas. La presencia y densidad de estas embarcaciones es un indicador de la presión a la que puede verse sometida la pradera de esta zona: a mayor densidad de embarcaciones existe una mayor presión, tanto por la consecuente afluencia humana como por el impacto físico de las embarcaciones sobre la planta marina. En el caso de este fondeadero, las embarcaciones sin motor se encuentran en su mayoría amarradas a la orilla y no impactan sobre la pradera cuando baja la marea

(Figura 28). Sin embargo, las embarcaciones con motor suelen encontrarse amarradas a boyas en el centro de la ensenada, justo sobre la pradera y, debido al impacto directo de sus quillas y hélices, son las que mayor daño provocan cuando baja la marea.

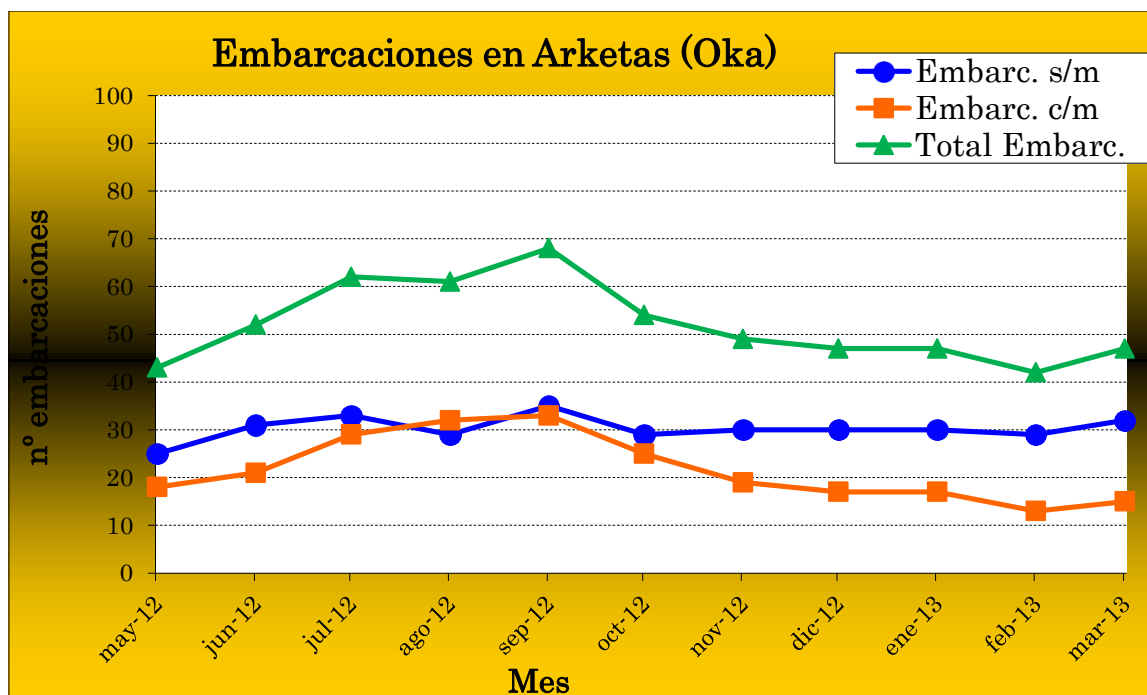


**Figura 28.** Embarcaciones amarradas en la zona de la pradera marina de la ensenada de Arketas.

La Figura 29 refleja la evolución del número de embarcaciones fondeadas dentro de la ensenada:

- a lo largo de todo el año hay más embarcaciones sin motor que con motor, excepto en verano cuando se igualan los números.
- mientras la flota sin motor permanece más o menos estable a lo largo del año, en verano se ve un incremento de barcos con motor, y por tanto, aumenta la potencialidad de la alteración de este origen.





**Figura 29.** Presencia de embarcaciones (Embarc.) amarradas en la zona de la pradera marina de Arketas (Oka). s/m sin motor; c/m con motor.

#### 4.2.2.5 Resumen y conclusiones

A partir del seguimiento de la zona alterada realizada durante 1 año, se ha visto que la zanja (2,87 m<sup>2</sup>) prácticamente ha desaparecido (a partir de unos pocos metros no se aprecia señal de alteración), y solamente queda una pequeña calva (inferior a 0,25 m<sup>2</sup>) sin cubrir por la pradera que solo es perceptible a muy poca distancia.

Los controles de la metodología, que han sido observados durante 1 año, no han mostrado señales de declive y se han encontrado integrados en su entorno. Por ello, se concluye que la metodología empleada y la extracción en sí no reflejan una presión añadida para el posterior desarrollo de la pradera.

Las medidas de densidad de haces contabilizadas para los distintos puntos de la pradera obtenidas durante un año muestran una evolución comparable en la población natural, controles de metodología y en el borde de la zanja, con máximos en verano (aprox. 6.000 haces/m<sup>2</sup> en agosto 2012) y mínimos en invierno (poco más de 2.000 haces/m<sup>2</sup> en marzo y diciembre 2012). A partir de septiembre (6 meses tras la extracción) comienzan a registrarse haces en el interior de la zanja, alcanzándose densidades semejantes a las naturales en diciembre (9 meses tras la extracción) y confirmándose dichos valores en marzo 2013.

En el seguimiento de las embarcaciones fondeadas en la ensenada de Arketas llevada a cabo durante 11 meses, se observan más embarcaciones sin motor que con motor, las embarcaciones con motor aumentan su número en la época estival mientras que las de sin motor mantienen sus cantidades, y las de motor constituyen una mayor amenaza ya que fondean normalmente en el centro de la ensenada, justo encima de la pradera. Esta amenaza sobre la pradera marina se ha visto constatada en los muestreos efectuados en bajamar, con el encuentro de embarcaciones posadas sobre la pradera marina y de señales producidas por el rozamiento de quillas y sistemas de fondeo.

Además, en los muestreos de algunos meses se han encontrado embarcaciones justo sobre la zanja provocada por la extracción de UTs (por ejemplo en noviembre 2012, marzo 2013). Este hecho ha provocado una perturbación añadida sobre la zona ya alterada, influyendo indudablemente en su desarrollo normal. Por tanto, la recuperación de la zanja se ha visto interrumpida o, al menos, retrasada por esta circunstancia.

Por todo ello, puede concluirse que:

- Los controles no se han visto afectados por su manipulación (extracción y plantado): **la metodología de trasplante empleada no introduce un estrés añadido.**
- . Se han observado embarcaciones apoyadas sobre la pradera marina y daños físicos derivados del uso de la zona como fondeadero: **el fondeo de embarcaciones sobre la pradera marina representa una constante amenaza.**
- La zanja provocada por la extracción de 28 UTs no se aprecia tras 12 meses y se encuentra integrada en el entorno: **la pradera prácticamente se ha recuperado del impacto sufrido, y de los 2,87 m<sup>2</sup> despoblados en marzo 2012, tras un año, solamente queda por colonizar menos de 0,25 m<sup>2</sup>.**
- En algunos muestreos se han encontrado embarcaciones justo encima de la zona alterada por la extracción: **la recuperación de la pradera se ha visto retrasada por la presencia de embarcaciones.**
- En verano aumenta el número de embarcaciones a motor, precisamente las que se fondean en el centro de la ensenada, justo encima de la pradera: **la presión del uso como fondeadero aumenta en verano.**

### 4.3 PRUEBAS CON SEMILLAS

Otro de los objetivos fijados dentro de este proyecto es el estudio de las semillas de *Zostera noltii* para su uso en la recuperación de praderas como alternativa a los trasplantes. Para ello, en verano de 2012 se recogieron semillas tanto en el estuario del Bidasoa como en el del Oka. De este modo, el material de partida para todos los experimentos realizados en este apartado corresponde a estas semillas recogidas durante el verano de 2012, que se han conservado refrigeradas en agua marina a 4 °C hasta su utilización. Son semillas de distintos colores (blancas, verdes, distintas tonalidades de marrón) que probablemente reflejan un diferente grado de maduración (Figura 30).



**Figura 30.** Semillas de distintos colores recogidas en verano de 2012.

Con el objetivo general de conseguir convertir estas semillas en plantas viables en el campo, se presentan unas cuestiones a aclarar:

- ¿Todas estas semillas son viables? Influye su color (o grado de desarrollo)?
- ¿Es suficiente con plantar directamente las semillas en el sedimento? ¿O hay que “despertarlas” previamente en laboratorio (primeras fases de la germinación)?

Para solventar estas dudas, se plantearon una serie de experimentos a llevar a cabo en laboratorio, y se iniciaron algunos de ellos con el fin de germinar semillas y obtener plántulas. Pero los recortes posteriores y los reajustes presupuestarios obligaron a abortar dichos experimentos y redefinir las tareas de este proyecto. Por tanto, en este apartado



solamente se realizaron algunas pruebas de germinación en laboratorio y siembras de semillas germinadas y sin germinar en el medio natural.

Las semillas plantadas en el Butroe han provenido siempre del Oka (Axpe y Arketas), y las plantadas en Plaiaundi (Bidasoa) de Puerto Kaneta (Bidasoa).

### 4.3.1 Pruebas de campo en 2012

#### 4.3.1.1 Material y métodos

Esta prueba que se describe en el informe correspondiente a 2012 (Garmendia *et al.*, 2012) consistía en introducir algunas flores dentro de bolsas de red y colocarlas en el campo, en un medio adecuado. La hipótesis que se acepta es que dichas flores producirán semillas que, una vez maduras, caerán de las flores y traspasarán la red para llegar al sedimento donde podrán generar nuevos individuos (Pickerell *et al.*, 2005; Busch *et al.*, 2010; Golden *et al.*, 2010; Marion y Orth, 2010). Las bolsas colocadas en agosto de 2012 en el estuario del Butroe y en agosto, septiembre y octubre de 2012 en el estuario del Bidasoa fueron vaciadas y/o retiradas en noviembre de 2012.

A lo largo del año 2013 se han visitado estos puntos para comprobar el resultado de estas pruebas y ver si crece alguna planta. En las diferentes visitas realizadas al Bidasoa, se han observado marcas de pisadas de aves en las cercanías y pequeñas roturas en la red de protección de las cajas, probablemente producidas por picotazos de aves.

#### 4.3.1.2 Resultados

No se ha observado la presencia de ninguna planta o plántula en las zonas de siembra (Figura 31, Figura 32 y Figura 33), por lo que se deduce que las semillas no han avanzado en su estado de desarrollo.

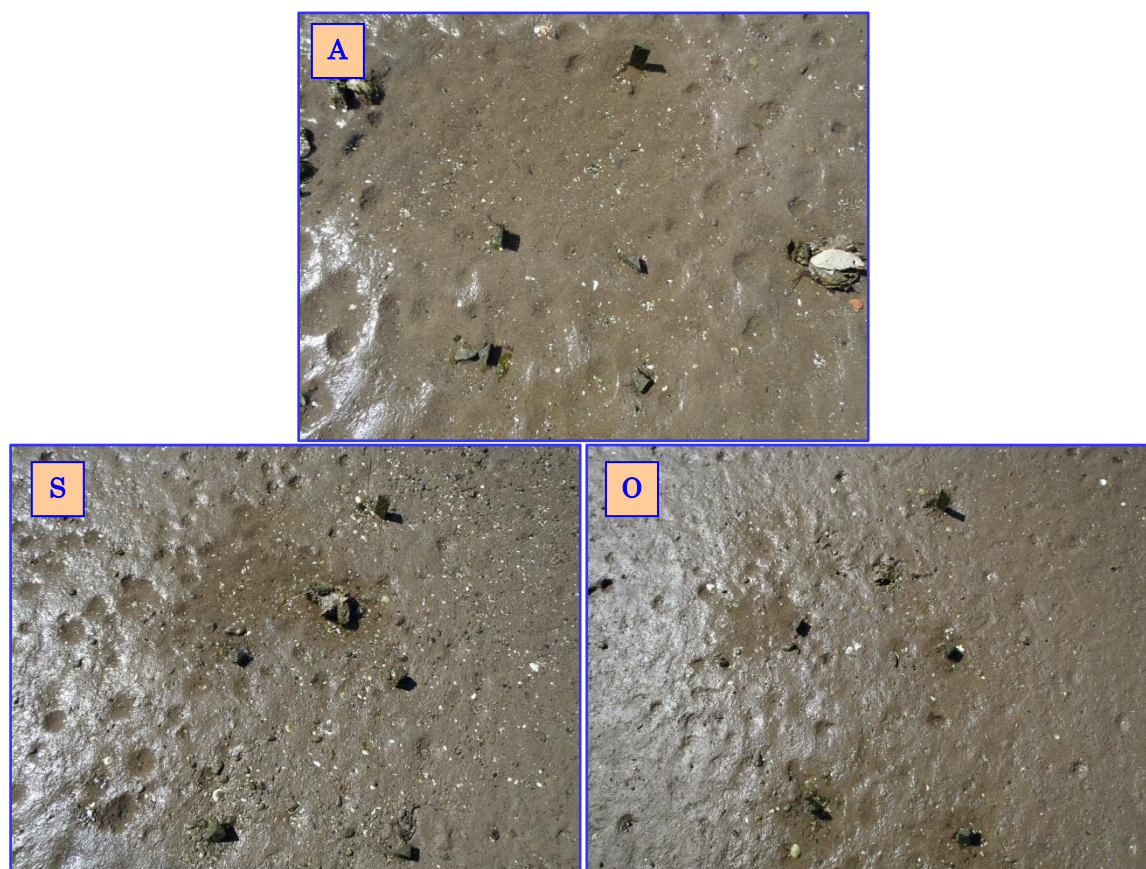


**Figura 31.** Butroe. Aspecto a lo largo de 2013 de la zona donde se dejaron flores en agosto 2012.





**Figura 32.** Bidasoa (Plaiaundi), febrero 2013. Las tres cajas alineadas en la marisma, y aspecto de cada zona con y sin cajas (A-Caja colocada en agosto; S-Caja colocada en septiembre; O-Caja colocada en octubre).



**Figura 33.** Bidasoa (Plaiaundi), abril 2013. Aspecto de las zonas correspondientes a cada caja (A-Caja colocada en agosto; S-Caja colocada en septiembre; O-Caja colocada en octubre).

### 4.3.2 Pruebas de germinación de semillas en laboratorio

#### 4.3.2.1 Material y métodos

A partir de las semillas de distinto color que se recogieron en verano de 2012, se pretende saber si el color (grado de desarrollo) influye en el éxito de germinación. Loques *et al.* (1990) hablan de algo parecido, siendo viables todos los oscuros, algunos claros y ninguno blanco.

La hipótesis de partida es que el color de las semillas (grado de maduración) influye en el porcentaje de germinación.

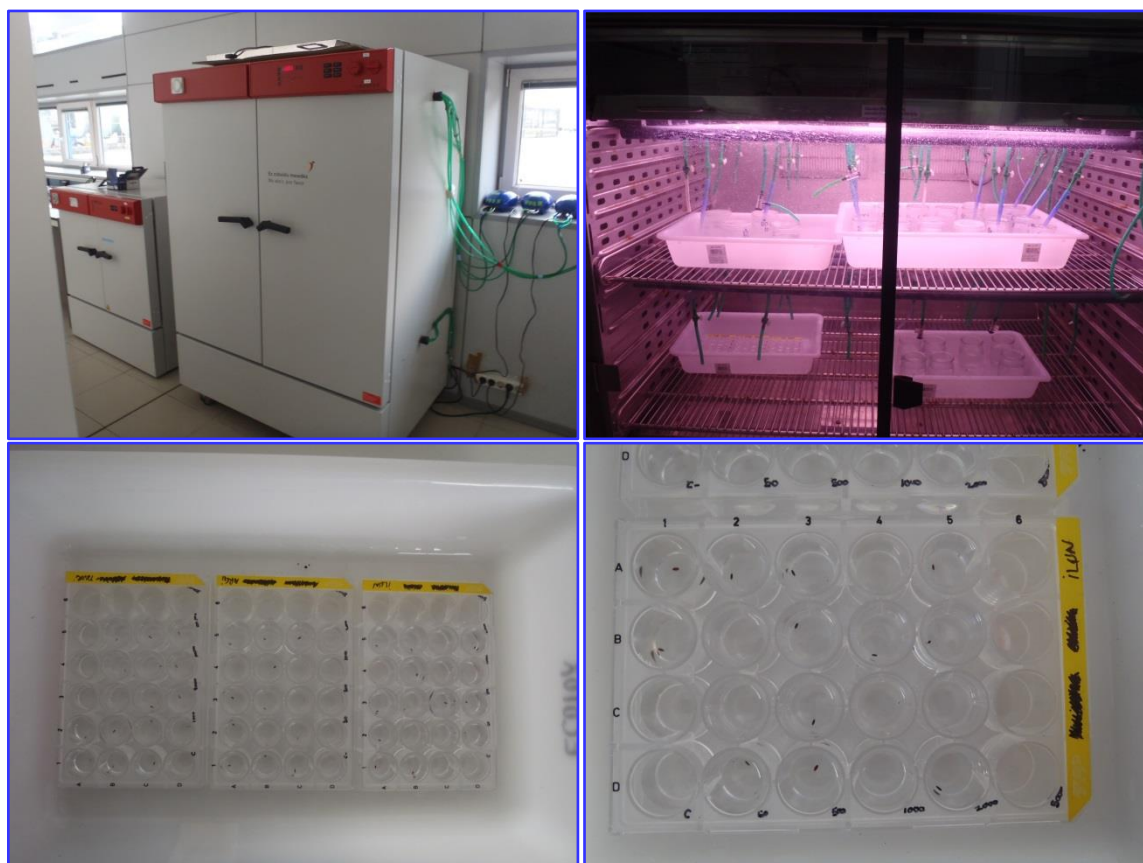
El interés que tiene esta prueba es que, habiendo comprobado si todas estas semillas son viables o no, es decir, si el color refleja en cierto modo su viabilidad, se podrá concluir si



en las futuras recolecciones de semillas merecerá la pena esforzarse en recoger semillas de todos los colores o si debe limitarse a un color específico.

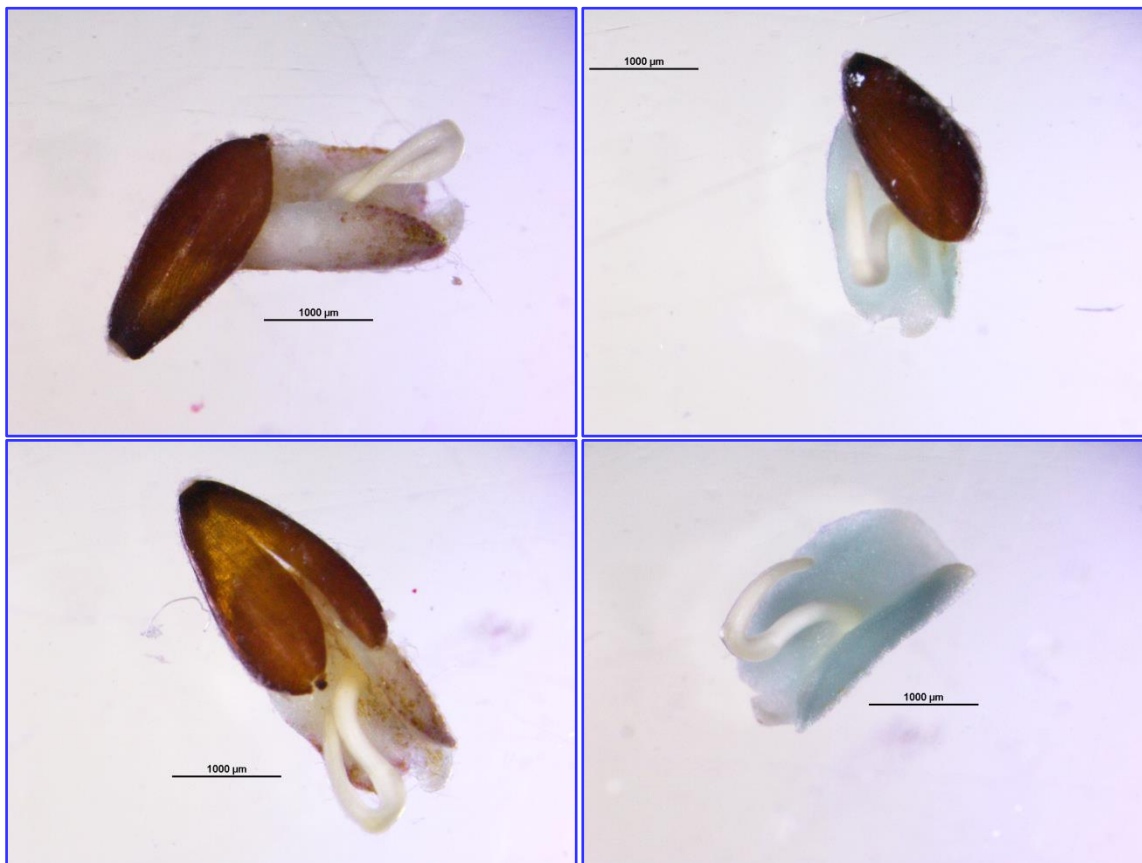
Para este experimento se ha iniciado con 60 semillas de dos estuarios (30 del Oka y 30 del Bidasoa) y con distinto grado de desarrollo: 10 blancas, 10 verde/marrón claro y 10 marrón oscuro.

Basado en los trabajos de Loques *et al.* (1990) y Alexandre *et al.* (2006) se diseñó el siguiente experimento de laboratorio: mantener 10 semillas de cada tipo (3 colores) en recipientes individualizados con agua en condiciones controladas (salinidad 1 psu, temperatura 22 °C, fotoperiodo 12/12 h luz/oscuridad) hasta que germinen. Este experimento comenzó el 20 de febrero y finalizó el 3 de mayo de 2013, a los 72 días.



**Figura 34.** Cámara incubadora para controlar las condiciones de crecimiento y semillas distribuidas en pocillos individualizados.

Cada día se observaron estas semillas y se registró el número de germinaciones. Una semilla era considerada germinada cuando presentaba un corte longitudinal por donde comenzaba a emerger el cotiledón.

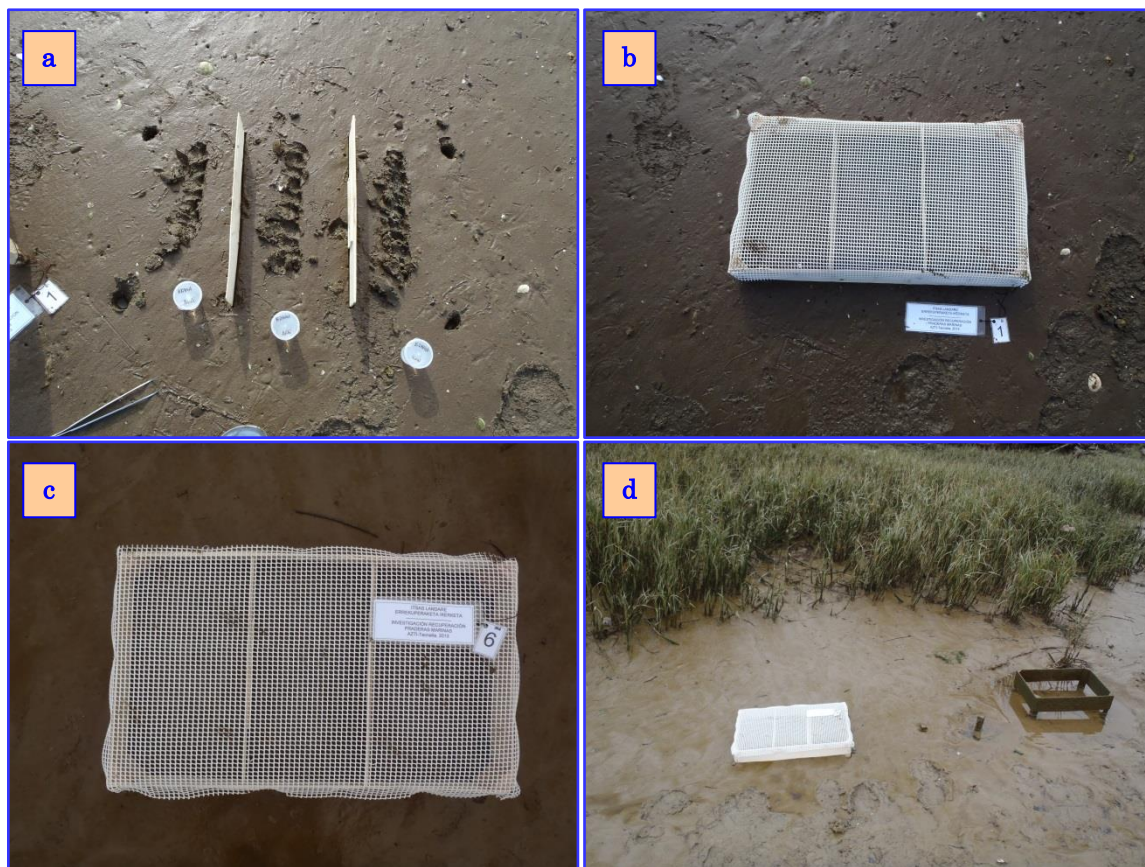


**Figura 35.** Semillas germinadas. Se observa el corte longitudinal generado de manera espontánea y la emersión del cotiledón.

Coincidiendo con el inicio del experimento, en los estuarios del Butroe (14 de febrero) y del Bidasoa (16 de febrero) se plantaron 10 semillas sin germinar de cada color (enterradas a 0,5 cm de profundidad). Para protegerlas y asegurar que no fueran arrastradas por la corriente, la zona se rodeó con una caja con la parte superior cubierta por una red (Figura 36).

Además, se aprovecharon las semillas germinadas en laboratorio y también fueron plantadas en el campo, protegiéndose con una caja (Figura 37): 8 semillas en el Bidasoa (9 de marzo) y 13 semillas en el Butroe (11 de marzo).





**Figura 36.** Febrero 2013. Plantación de 10 semillas de cada color, separadas por tablillas de madera y protegidas por una caja con red. Las dos fotografías superiores (a, b) corresponden al Bidasoa y las dos inferiores (c, d) al Butroe.



**Figura 37.** Butroe, Marzo 2013. Plantación de las semillas germinadas en laboratorio y protegidas por una caja con red.



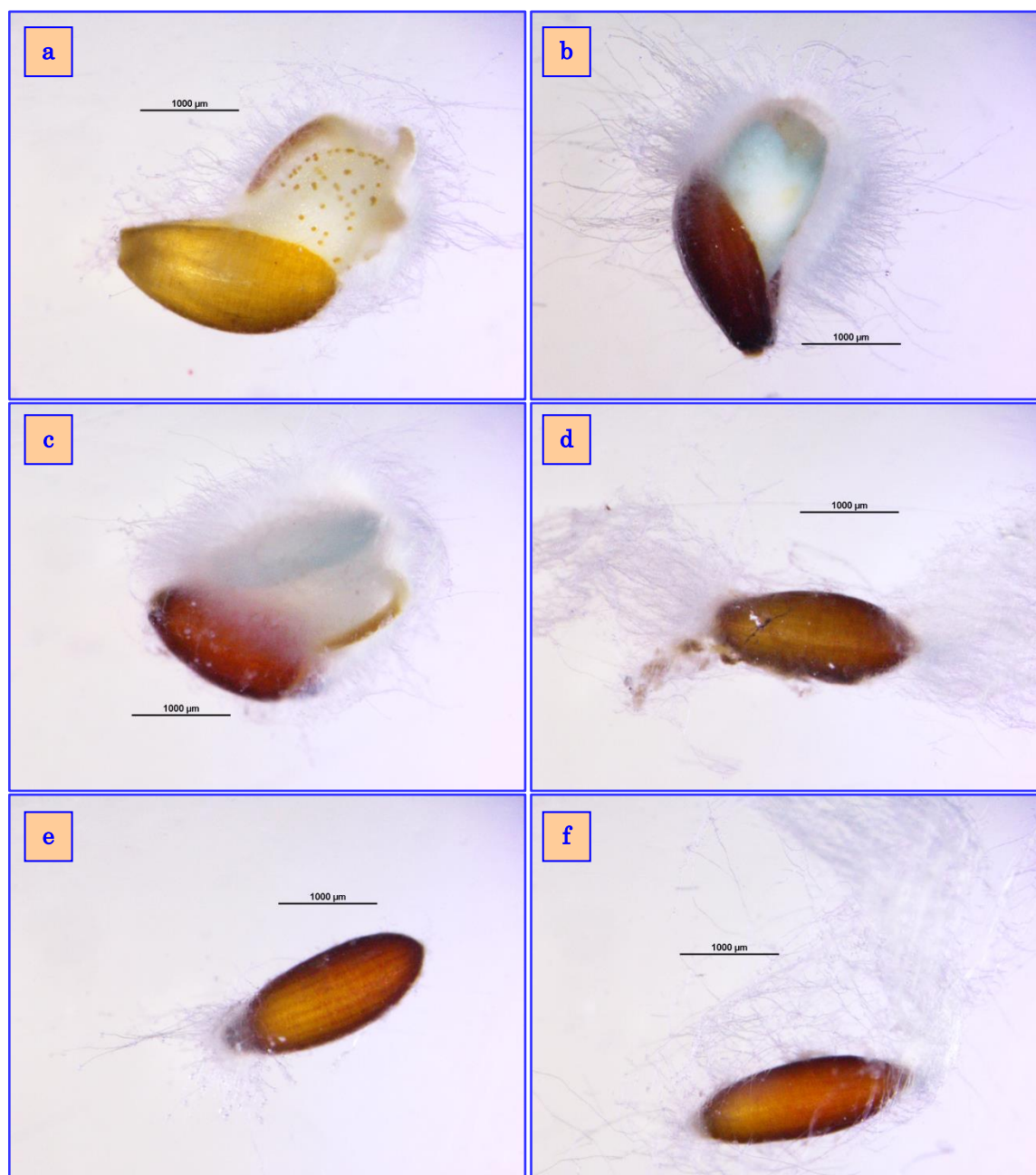
**Figura 38.** Marzo 2013. Zonas del Butroe (a) y Bidasoa (b) con material procedente de los experimentos. Naranja: colocación de bolsas con flores; Verde: semillas de distinto color sin germinar; Blanco: semillas germinadas en laboratorio.

#### 4.3.2.2 Resultados

Tal y como se observa en la Tabla 4, el experimento duró 72 días. En todo el conjunto del experimento, germinaron 4 semillas blancas (el 20%), todas ellas del Bidasoa; 9 marrón claras (45%), 2 del Bidasoa y 7 del Oka; y 12 marrón oscuras (60%), 4 del Bidasoa y 8 del Oka.

**Tabla 4.** Experimento de germinación de semillas blancas, marrón claras y marrón oscuras. Número, porcentaje y porcentaje acumulado de semillas germinadas y día de germinación. Semillas procedentes del estuario del Bidasoa y del Oka. Inicio del experimento con 10 semillas de cada color.

| Origen      | Día nº  | Número semillas |              |               | Porcentaje |              |               | Porcentaje acumulado |              |               |
|-------------|---------|-----------------|--------------|---------------|------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|---------------|
|             |         | Blanca          | Marrón clara | Marrón oscura | Blanca     | Marrón clara | Marrón oscura | Blanca               | Marrón clara | Marrón oscura |
| Bidasoa (B) | 1       | 1               |              |               | 10         |              |               | 10                   |              |               |
|             | 2       |                 |              | 1             |            |              | 10            |                      |              | 10            |
|             | 5       |                 | 2            | 1             |            | 20           | 10            |                      | 20           | 20            |
|             | 7       | 3               |              |               | 30         |              |               | 40                   |              |               |
|             | 49      |                 |              | 1             |            |              | 10            |                      |              | 30            |
|             | 63 a 68 |                 |              | 1             |            |              | 10            |                      |              | 40            |
|             | 63 a 72 |                 |              |               |            |              |               | 40                   | 20           | 40            |
| Oka (O)     | 1       |                 |              | 2             |            |              | 20            |                      |              | 20            |
|             | 2       |                 | 2            |               |            | 20           |               |                      | 20           |               |
|             | 5       |                 | 3            | 2             |            | 30           | 20            |                      | 50           | 40            |
|             | 7       |                 | 1            | 1             |            | 10           | 10            |                      | 60           | 50            |
|             | 9       |                 | 1            |               |            | 10           |               |                      | 70           |               |
|             | 15      |                 |              | 1             |            |              | 10            |                      |              | 60            |
|             | 35 a 47 |                 |              | 2             |            |              | 20            |                      |              | 80            |
|             | 50 a 72 |                 |              |               |            |              |               | 0                    | 70           | 80            |
| TOTAL       |         | 4               | 9            | 12            |            |              |               | 20                   | 45           | 60            |



**Figura 39.** Semillas germinadas (a, b, c) y sin germinar (d, e, f) afectadas por el “hongo” en el día 12 del experimento.

De 30 semillas procedentes de cada estuario, germinaron 10 del Bidasoa y 15 del Oka.

La mayor cantidad de semillas germinaron dentro de la primera semana: 8 de 10 en el Bidasoa y 11 de 15 en el Oka.



En principio se pretendía comprobar la viabilidad de todas las semillas mediante su germinación y, con aquellos que no hubieran germinado, mediante el test del Tetrazolio. Sin embargo, no se pudo llevar a cabo el segundo método debido a que todas las semillas que no germinaron desarrollaron unos pelillos, con apariencia de micelio, lo cual fue interpretado como una infección de algún “hongo” (Figura 39). Una vez infectado, los pelillos se hacían cada vez más abundantes y la semilla no mostraba signos de desarrollo. Además, estos hongos también aparecieron en algunas de las semillas germinadas.

#### 4.3.2.3 Discusión

De los resultados que se ofrecen más arriba se deduce que las semillas de color marrón oscuro tienen una mayor viabilidad, seguido de las marrón claras y, finalmente, las blancas.

Por otro lado, también se deduce que las semillas del Oka presentan una mayor viabilidad que las del Bidasoa, al menos en su fase inicial.

Considerando no viables las semillas infectadas por el “hongo”, la viabilidad observada en las semillas marrón oscuras del País Vasco (60%), es inferior a la mencionada para praderas de Portugal (70 %, en Alexandre *et al.*, 2206) y Mediterráneo francés (72%, en Loques *et al.*, 1990). Sin embargo, este resultado es debido a la baja tasa de germinación registrada en semillas del Bidasoa. Las semillas del Oka, tanto las marrón claras (70%) como las oscuras (80%), presentan valores similares a los mencionados en la bibliografía.

Además de una elevada viabilidad, las semillas del Oka presentan una rápida germinación: el 70% de las semillas marrón claras habían germinado para el día 9 y el 60% de las marrón oscuras para el día 15, mientras que Alexandre *et al.* (2006) obtienen el 70% de germinación para el día 26, y Loques *et al.* (1990) el 42% para el día 63.

### 4.3.3 Pruebas de obtención de plántulas en laboratorio

#### 4.3.3.1 Material y métodos

A partir de semillas en el mismo estado o mismo color (marrón oscuras), se pretende conocer las condiciones de laboratorio más aptas para el desarrollo de estas semillas hasta plántulas.

La hipótesis asumida de partida es que las semillas oscuras son las más maduras y, por consiguiente, las de mayor probabilidad de viabilidad.

El interés del presente experimento es que habiendo comprobado la diferencia (o no) de éxito de desarrollo de semillas y plántulas en distintas condiciones, en posteriores pruebas se podrán utilizar aquellas condiciones más adecuadas para obtener un mayor éxito.

Para ello se inicia esta prueba con 180 semillas oscuras procedentes de dos estuarios (90 del Oka y 90 del Bidasoa).

Basado en los trabajos de Loques *et al.* (1990) y Alexandre *et al.* (2006) se diseñó el siguiente experimento de laboratorio: germinar de cada estuario 90 semillas oscuras distribuidas en 5 recipientes con agua en condiciones controladas (salinidad 1 psu, temperatura 22 °C, fotoperiodo 12/12 h luz/oscuridad). Colocar las 90 semillas germinadas de cada estuario en grupos de 10 (3 réplicas) a 3 salinidades diferentes: 30 a 10 psu, 30 a 20 psu y 30 a 30 psu, y todas ellas a 20 °C, fotoperiodo “natural” (12/12 h luz/oscuridad), con aireación, durante 60 días.

A medida que se vayan obteniendo plántulas (hojas verdes), se pretende pasarlas a botes con sedimento y a la misma salinidad, para que se vayan fijando al sustrato. Una vez obtenidas plántulas bien formadas, se sembrarán en el campo junto con un número similar (pej. 10) de semillas sin germinar y otras tantas germinadas: enterrarlas a 0,5 cm de la superficie, protegidas por cajas de madera. El experimento finalizará con el seguimiento posterior del desarrollo del material plantado mediante visitas periódicas.

Este experimento comenzó el 20 de febrero y acabó el 3 de mayo de 2013, por lo que duró 72 días.

Cada día se observaban las semillas para:

- a medida que iban germinando, formar grupos de 8 (réplicas) y pasarlas a los recipientes de distintas salinidades.
- registrar su desarrollo en cada una de las salinidades.



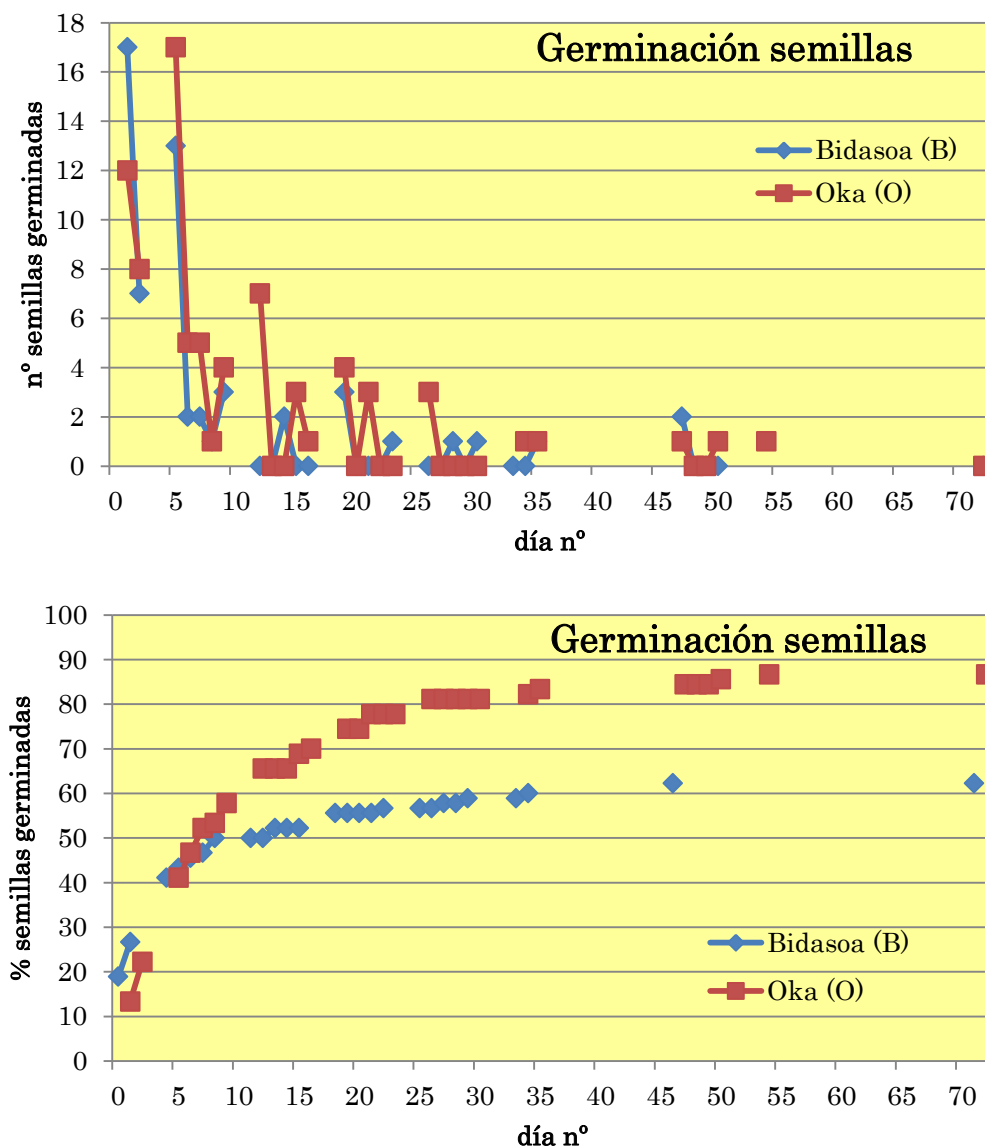
**Figura 40.** a. Semillas oscuras antes de germinar; b y c. Semillas en recipientes a 1 psu; d. Semillas germinadas con aireación a distintas salinidades.

#### 4.3.3.2 Resultados

Tal y como se observa en la Figura 41, a los 72 días habían germinado 56 semillas del Bidasoa y 78 del Oka, es decir, el 62,2% y el 86,7% respectivamente.

Los primeros días fueron muy activos en cuanto a la germinación de las semillas: para el día 7 ya habían germinado 41 semillas (45,6%) del Bidasoa y 47 (52,2%) de las procedentes del Oka; para el día 16 lo habían hecho 47 (52,2%) del Bidasoa y 63 (70%) del Oka; y para el día 30 lo habían hecho 53 (58,9%) del Bidasoa y 73 (81,10%) del Oka.

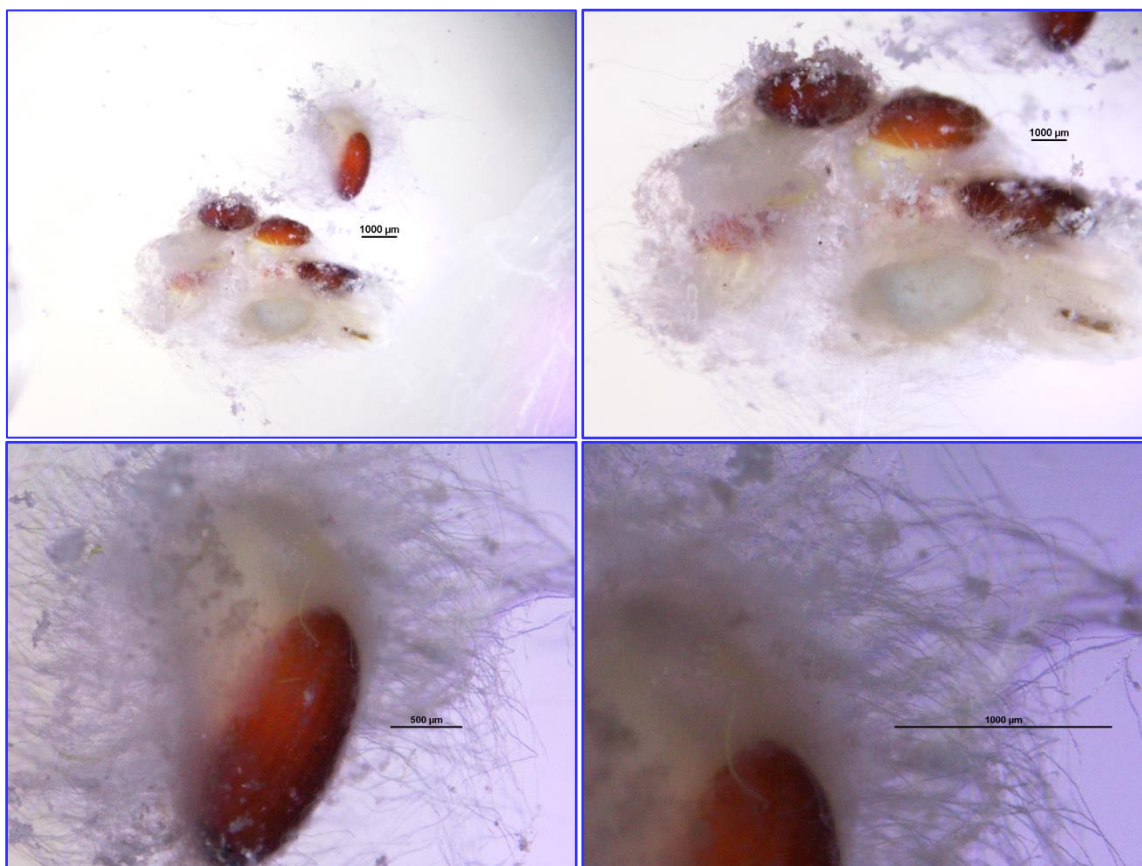




**Figura 41.** Germinación de semillas oscuras del Bidasoa y del Oka. Número de semillas germinadas cada día y porcentaje acumulado. Inicio con 90 semillas de cada estuario.

Tal y como se ha comentado en el experimento anterior, se pretendía comprobar la viabilidad de aquellas semillas que no hubieran germinado, mediante el test del Tetrazolio. Sin embargo, no se pudo llevar a cabo el segundo método debido a que la mayoría de las semillas que no germinaron desarrollaron unos pelillos semejantes a un “hongo” (Figura 42). Ya en el segundo día algunas semillas se encontraban infectadas, especialmente las del Bidasoa. Por precaución, cuando se veían semillas infectadas, eran separadas en otro bote y se cambiaba el agua para prevenir la infección del resto; pero parece que no fue suficiente. El

26 de marzo, a los 34 días, se retiraron todas las semillas con hongos y las blandas: del Bidasoa se eliminaron 37 y quedaron 8, mientras que del Oka se tiraron 13 y quedaron 4.



**Figura 42.** Semillas germinadas del Bidasoa, afectadas por el “hongo” en el día 4.

A medida que las semillas iban germinando, se fueron completando réplicas de 8 semillas y se introducían en botes con agua a distinta salinidad. En la Tabla 5 se muestran las réplicas conseguidas y las fechas de su formación de cada réplica. Al principio, las semillas obtenidas estaban sin infectar, pero éstas se iban infectando mientras se esperaba a la obtención del número mínimo para formar una réplica. Por eso, hay algunas réplicas formadas por semillas con hongos, otras con semillas sin hongos y otras mixtas. A pesar de esta heterogeneidad, todas estas réplicas se mantuvieron 72 días, hasta el 3 de mayo, pero ninguna de estas semillas siguió desarrollándose para formar una plántula, por lo que se decidió interrumpir el experimento.

**Tabla 5.** Experimento de obtención de plántulas a distintas salinidades a partir de semillas germinadas procedentes de los estuarios del Bidasoa y del Oka. Réplica: ch, semillas con hongos; sh, semillas sin hongos. Inicio: fecha de formación de la réplica.

| Desarrollo semillas en vasos con agua y aireación |             |           |                   |        |
|---|-------------|-----------|-------------------|--------|
|   | nº semillas | salinidad | Réplica           | Inicio |
| Bidasoa (B)                                       | 8           | 10        | B10a (ch)         | 28-feb |
|   | 8           | 10        | B10b (ch)         | 04-mar |
|   | 8           | 10        |                   |        |
|   | 8           | 20        | B20a (ch)         | 28-feb |
|   | 8           | 20        | B20b (ch)         | 28-feb |
|   | 8           | 20        |                   |        |
|   | 8           | 30        | B30a (ch)         | 28-feb |
|   | 8           | 30        | B30b (ch)         | 28-feb |
|   | 8           | 30        |                   |        |
| Oka (O)   | 8           | 10        | O10a (sh)         | 28-feb |
|   | 8           | 10        | O10b (ch)         | 28-feb |
|   | 8           | 10        |                   |        |
|   | 8           | 20        | O20a (ch)         | 28-feb |
|   | 8           | 20        | O20b (ch)         | 28-feb |
|   | 8           | 20        | O20c (6 ch, 2 sh) | 13-mar |
|   | 8           | 30        | O30a (ch)         | 28-feb |
|   | 8           | 30        | O30b (ch)         | 04-mar |
|   | 8           | 30        | O30c (2 ch, 6 sh) | 08-mar |

No obstante, a pesar de que no se pudo alcanzar el objetivo inicial, los resultados obtenidos en la germinación de las semillas (Figura 41) pueden ser útiles y compararse con los resultados del primer experimento de germinación.

#### 4.3.3.3 Discusión

De la Figura 41 se deduce que las semillas del Oka presentan una mayor viabilidad que las del Bidasoa (al igual que en el primer experimento), ya que de las 90 semillas utilizadas 78 (86,7%) llegaron a germinar en el primero y 56 (62,2%) en el segundo. No obstante, debe tenerse en cuenta que el “hongo” afectó en mayor proporción a las semillas del Bidasoa, lo cual pudo influir en los resultados obtenidos, subestimando la viabilidad real de las semillas de este estuario.

La germinación observada en el paso previo de este experimento ha sido mayor que en el primer experimento, pasando en el Bidasoa del 40% al 62,2% de semillas germinadas y en el Oka del 80% al 86,7%. De esta manera, los porcentajes en el Bidasoa se acercan al 70-72% señalados en la bibliografía (Loques *et al.*, 1990; Alexandre *et al.*, 2206), mientras que en el Oka siguen superándolos con claridad.

En cuanto a la velocidad o tiempo de germinación, en este segundo experimento se han acelerado los tiempos en ambos estuarios, registrándose para el día 15 el 52,2% y 68,9% de semillas germinadas para el Bidasoa y Oka respectivamente, cuando en el primer experimento y en el mismo plazo de tiempo se obtuvieron el 20% y 60% respectivamente. Para el día 26, cuando Alexandre *et al.* (2006) obtienen el 70% de semillas germinadas, en el Bidasoa se observa el 56,7% y en el Oka el 81,1%. Es decir, las semillas del Bidasoa siguen presentando una menor capacidad de germinación que en la bibliografía (pero con una menor diferencia), mientras que las del Oka siguen mostrando mejores registros. Por tanto, en esta segunda prueba, los resultados de viabilidad inicial de las semillas, entendiéndose ésta como su capacidad de germinación, han aumentado claramente.

Sin embargo, los resultados de viabilidad de las semillas vascas en general y los del Bidasoa en particular, han podido verse afectados de manera negativa por la infección del “hongo”: aquellas semillas que no han germinado a causa de la infección del hongo han sido consideradas inviables y en realidad debieran ser consideradas como viables.

## 4.4 EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL MARISQUEO SOBRE LAS PRADERAS MARINAS

### 4.4.1 Introducción

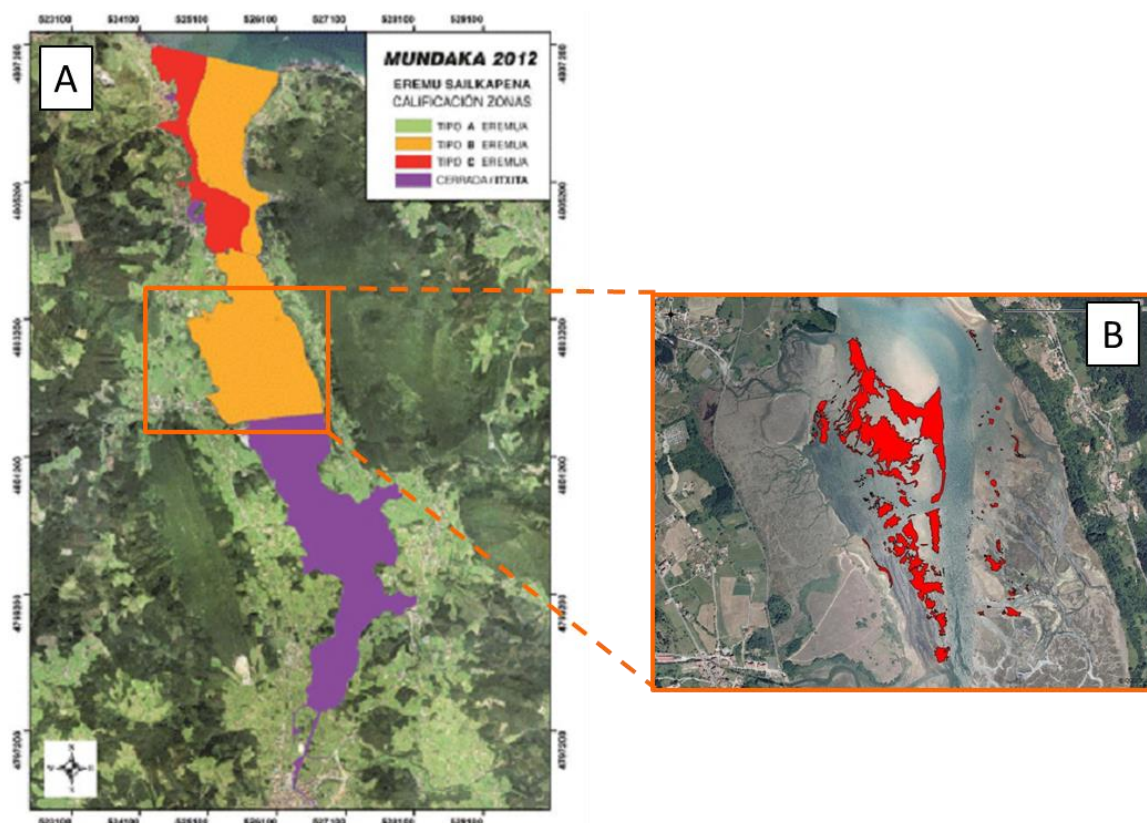
Las praderas marinas han sufrido una importante regresión durante las últimas décadas, bien por causas naturales (enfermedades) o bien como consecuencia de las actividades humanas (pérdida de hábitats, contaminación, marisqueo, etc.). En la actualidad, su extensión es mucho menor de lo que era en el pasado (Duarte *et al.*, 2008; Short *et al.*, 2011). Además, estas praderas ofrecen unos bienes y servicios muy valiosos que no han sido reconocidos hasta hace pocas décadas (Cullen-Unsworth y Unsworth, 2013). Por ello, durante los últimos años han adquirido una gran relevancia y son considerados un hábitat a conservar y, en lo posible, a recuperar (Cunha *et al.*, 2012).

Las praderas marinas requieren unas condiciones específicas para poder crecer y desarrollarse: suelen presentarse en zonas con fondo sedimentario (fango o arena), con poca pendiente, abrigadas o con poca velocidad de corriente, pudiendo ser submareales o intermareales (Valle *et al.*, 2013). En muchos casos, ocupan espacios interesantes para otros usos, por lo que deben hacer frente a una serie de presiones que pueden llegar a producir daños o situaciones irreversibles.

Entre las numerosas presiones e impactos que sufren las praderas marinas se encuentran, especialmente en la zona intermareal, las provocadas por la presencia humana en general y la actividad marisquera en particular. Las praderas intermareales suelen coincidir con zonas de marisqueo cuyo objetivo principal suele ser la extracción de bivalvos, crustáceos y anélidos del interior del sedimento; los primeros para consumo humano y los dos últimos para uso como cebo vivo. Aunque es evidente que esta actividad ejerce una importante presión sobre la pradera, no existen muchos trabajos que demuestren el efecto directo y magnitud que produce la presencia y actividad humana en este medio. Para poder afirmar con total rigor la existencia de dicho efecto se considera necesario recabar más información al respecto, mediante el seguimiento directo de la presencia humana o mediante experimentos diseñados al efecto.

La pradera marina con mayor superficie en el País Vasco se encuentra en la parte media del estuario del Oka, en la orilla oeste, en la zona de Axpe-San Kristobal, correspondiente al término municipal de Busturia. En la parte norte de esta zona, en los periodos de bajamar, se descubre una amplia superficie arenosa que ofrece buenas

condiciones para el baño y el paseo, por lo que se convierte en un reclamo para su uso recreativo. Además, hacia el sur, hasta los astilleros de Murueta, el espacio intermareal ocupado por arenas y fangos, se encuentra dentro de las zonas de producción de moluscos, que en 2013 (y años anteriores) fue clasificada como zona B (clasificación que se revisa anualmente), por lo que es una zona frecuentada por mariscadores (Figura 43).



**Figura 43.** A. Estuario del Oka señalando las distintas tipologías de zonas de producción de molusco en 2012; en naranja, zona de tipo B. B. Zona de Busturia (Axpe-San Kristobal) con la superficie de pradera de 2012 en rojo.

La alteración originada por el uso recreativo consiste fundamentalmente en el pisoteo sobre la pradera que, según el sedimento del que se trate, puede consistir “simplemente” en una presión vertical momentánea (cuya consecuencia podría considerarse de poca entidad) o en una importante alteración del sedimento creando agujeros y provocando la presencia de un piso irregular (en este caso la alteración sería más relevante). En el caso de los mariscadores, además del mencionado impacto producido por el pisoteo (debido al desplazamiento sobre la pradera durante el ejercicio de su labor), también debe considerarse la alteración directa del sedimento debido a su actividad extractiva (Figura 44). Como consecuencia de este desplazamiento del sedimento pueden modificarse las condiciones del



entorno y provocarse nuevas situaciones que desembocan en efectos directos de distinta magnitud, pero todas reseñables para la supervivencia y desarrollo de las praderas marinas: por ejemplo, el desenterramiento/enterramiento de la planta o la rotura de la planta (Figura 45). A corto plazo, la consecuencia de este daño y destrucción de las plantas puede ser la aparición de “calvas” o zonas desnudas y la posterior fragmentación de la pradera. Dicha fragmentación debilita a la pradera en su conjunto, disminuyendo su capacidad de resistencia frente a posibles futuras agresiones o presiones... Actualmente hay muy pocos trabajos que estudien la incidencia del marisqueo sobre praderas de *Zostera*: en Portugal (Alexandre *et al.*, 2005; Cabaço *et al.*, 2005) y Francia (Auby *et al.*, 2011) sobre *Z. noltii* y en Corea (Park *et al.*, 2011) sobre *Z. japonica*.



**Figura 44.-** Distintos usos de la zona intermareal de la zona de Axpe: paseo y marisqueo.



**Figura 45.-** Sedimento con *Zostera noltii* pisoteado y removido por la actividad marisquera.

Para poder realizar la evaluación pretendida, en el presente trabajo se recurre a las siguientes fuentes de información: mariscadores (profesionales y deportivos), experimentos de campo diseñados al efecto y bibliografía.

#### 4.4.2 Objetivos

El objetivo del presente capítulo es tratar de evaluar el impacto provocado por la actividad marisquera en la zona de Axpe-Busturia (estuario del Oka), donde se encuentra establecida la pradera marina más extensa de la especie protegida *Zostera noltii* en el País Vasco.

#### 4.4.3 Mariscadores

Ante la evidencia de la existencia de un impacto humano sobre la pradera marina del estuario del Oka y siendo conscientes de que la actividad marisquera es el origen principal de dicho impacto, se estima necesaria la realización de un estudio dirigido a conocer y evaluar la magnitud de su incidencia en la presencia y salud de estas praderas marinas.

En la actualidad pueden encontrarse tres tipos de mariscadores en el Oka: profesionales (a la almeja y al cebo vivo), deportivos (al cebo vivo) y furtivos (a todo). El efecto producido por los dos primeros puede registrarse mediante su colaboración, sin embargo, dada la situación irregular del furtivismo, no es posible evaluar su efecto al nivel de detalle de los dos anteriores.

#### 4.4.3.1 Material y métodos

Se ha recurrido a la colaboración de mariscadores que faenan la zona implicada y han colaborado mariscadores profesionales pertenecientes a la Cofradía de pescadores de Mundaka. En principio, algunos mariscadores con licencia deportiva también han mostrado su disposición a la colaboración pero, por causas ajenas, no ha fructificado esta voluntad. Por un lado, se han realizado conversaciones con los citados mariscadores con el objeto de recabar información complementaria que contribuirá a una mejor estima de la presión real que se ejerce sobre la zona estudiada: nº de días y horas que faena cada mariscador, área exacta donde faenan, conocimiento de la situación de las praderas marinas y comportamiento frente a ellas, etc. Por otro lado, se ha acompañado a dichos mariscadores en su jornada laboral para observar y anotar qué hacen y cómo trabajan, qué herramientas utilizan, zonas concretas que faenan y recorrido que realizan, tipo de alteración que provocan y magnitud, área que pisotean en una jornada, área que remueven o agujerean en una jornada, % de este área que corresponde a la pradera marina, etc.

Mediante estas dos fuentes de información, se podrá estimar el efecto que producen los mariscadores en el ejercicio de su labor.

En las salidas efectuadas con los mariscadores, por un lado, se han registrado con un GPS tanto el recorrido efectuado en cada salida como las coordenadas de cada uno de los agujeros producidos. Dicha información se ha descargado en un programa informático GIS donde se ha combinado con el mapa cartográfico de las praderas marinas correspondiente a 2012. Con esto puede conocerse el tipo de desplazamiento de los mariscadores en la zona y su correspondencia con la pradera marina.

Por otro lado, se han registrado el número de agujeros realizados y la superficie correspondiente a cada uno de ellos, así como su localización (dentro o fuera de la pradera). Con esto se puede saber el área total directamente alterada por el marisqueo y el correspondiente a la pradera.

Además, se ha registrado el número de pasos efectuados en toda la jornada y su localización. Esto, combinado con la superficie de una pisada estándar, permitirá estimar la superficie pisoteada (tanto la total como la correspondiente a la pradera).

#### 4.4.3.2 Resultados

La situación del registro de licencias profesionales en la Cofradía de Pescadores de Mundaka en mayo 2013 era la siguiente: 4 mariscadores para bivalvos (almeja) y 6 para cebo

vivo (gusanas, cangrejillo, navaja). Estas licencias se renuevan cada 5 años. La expedición de licencias está paralizada desde hace algunos años. Durante los últimos años se observa una tendencia descendente en número de mariscadores profesionales.

#### 4.4.3.2.1 Encuestas

A partir de la realización de la encuesta a 3 mariscadores profesionales de almeja que faenan la zona implicada se ha obtenido la siguiente información:

El periodo de marisqueo se extiende desde octubre hasta febrero (y a veces marzo), es decir, 5 o 6 meses al año. En la época invernal hay muchos días que no son útiles debido a las malas condiciones meteorológicas. Además, la jornada extractiva está limitada por el régimen de mareas (índices y horarios), ya que solo pueden hacerlo a pie cuando las zonas interesantes descubren en la bajamar. En este contexto de limitación de horas para faenar, estos mariscadores salen todos los días que pueden, incluidos sábados y festivos. El factor limitante es la meteorología.

El número de horas que emplean por jornada depende de la marea y suele oscilar entre 3 y 5 horas: 2-3 en mareas muertas y 4-5 en mareas vivas. Sin embargo, cada día lo deciden en el campo en función de la captura que van obteniendo: si la captura diaria está siendo muy mala, dejan de faenar a las 2 horas. Suelen hacer jornadas de 3-5 horas, recogiendo normalmente 2-5 kg de almeja.

Cada mariscador, en principio, va solo; pero algunos suelen intercambiar opiniones y se encuentran en el estuario. No obstante, dado los pocos días faenables (especialmente este invierno de 2013 ha sido malo), casi siempre suelen coincidir todos en el campo.

La zona que faenan es principalmente la de Axpe-San Kristobal, accediendo por la estación de ferrocarril de Axpe. Alguno también va a Arketas y al otro lado del canal principal del río, a Kanala; pero esto supone un mayor desplazamiento y gasto económico (combustible), ya que todos ellos viven en las cercanías de Busturia y Mundaka. A Arketas solo se va en mareas vivas y a Kanala apenas van porque los de cebo vivo dicen que no encuentran nada. Por tanto, de 10 días que faenan 9 (o más) lo hacen en Axpe. Principalmente faenan la zona norte de esta marisma. Este año han intentado un par de veces más al sur, en la zona más fangosa, pero no han encontrado nada. Esta zona, cercana a la entrada por San Kristobal, suele estar más frecuentada por furtivos. Por tanto, la zona preferencial por cercanía y por amplitud de marisma es la zona de Axpe.

Una vez que han faenado y agujereado un área no la dejan descansar por el hecho de haber estado previamente en la zona. El criterio que siguen a la hora de hincar la azada en el



sedimento es la presencia de “ojos” (agujeros que producen los sifones de las almejas): no importa si es sedimento desnudo, si hay *Zostera noltii* o si hay señales de actividad marisquera previa: no creen que el marisco se vaya por su presencia. Además, vuelven a pasar por la misma área en distintas direcciones pensando que pueden encontrar los “ojos” que no han visto anteriormente. Las marcas de la actividad marisquera (agujeros y montículos en el sedimento) suelen desaparecer en 2-3 semanas.



**Figura 46.-** **A.** Mariscador buscando “ojos”; **B.** Pisadas que señalan el desplazamiento del mariscador; **C y D.** Agujeros y montículos realizados por la actividad marisquera.

Algunos consideran que su actividad de agujereo es buena para la almeja, incluso para la pradera: dicen que es bueno remover para airear u oxigenar el sedimento.

La especie objetivo del marisqueo es la almeja fina (*Venerupis decussata*), aunque también encuentran berberecho (*Cerastoderma edule*) que algunos lo recogen en pequeñas cantidades, y almeja de perro (*Scrobicularia plana*).

La meteorología afecta mucho al resultado de la captura, principalmente por la visibilidad de los “ojos”: los días muy buenos (sol y calma) no son adecuados y prefieren tiempo nublado. La lluvia tampoco es buena, porque no se ven los “ojos”.

Consideran como mejor marea la intermedia: la marea muerta no ofrece mucho tiempo y espacio para faenar y la marea viva no es adecuada para la visualización de los “ojos” (parecer ser que la corriente de marea es tan elevada que borra los “ojos”).

En cuanto a *Zostera noltii*, han oído algo sobre su importancia pero no la consideran tan especial y no modifican su forma de trabajar por su presencia. No evitan pisar la pradera en sus desplazamientos a la búsqueda de almeja. Alguno sabe de su relevancia y su condición de protegida por leerlo en algún folleto. Otro cree que la pradera es buena porque parece que hay más almeja debajo. En octubre, cuando inician la campaña, dicen que se forma una pradera muy densa y les dificulta la observación de los “ojos”, por lo que van algo “a ciegas”.

Todos toman la presencia de “ojos” como criterio principal para agujerear el sedimento y solo uno dice ver diferencias de capturas entre zonas con y sin praderas, por lo que reconoce su preferencia por zonas con *Zostera*. El resto dice no ver diferencias y que una elevada densidad de pradera les impiden ver los “ojos”.

No han advertido un aumento de presencia humana en los últimos años. Dicen que viene poca gente a por almeja: 4 mariscadores profesionales y 4-5 furtivos. Por un lado, están molestos con estos furtivos, no por el hecho de suponer una competencia por el mismo recurso, ya que reconocen su probable necesidad por la situación económica actual, sino por no respetar la veda así como los tamaños mínimos; dicen que van a todas horas y durante todo el año, y que apenas se esmeran en disimular, pero no les dicen nada al respecto. Les gustaría una mayor presencia inspectora.

Hace algunos años había hasta 25 mariscadores, pero la gente se va jubilando y no se cubren sus licencias. Este año 2013 no ha sido un buen año de capturas, pero hay mucha almeja pequeña que no recogen. Señalan que la captura va a menos cada año.

En cuanto a las respuestas de mariscadores profesionales a cebo vivo, la percepción general es similar, si bien hay pequeñas diferencias:

El periodo de marisqueo abarca todo el año. En principio trabajan todos los días que pueden, 4-5 días a la semana, siempre y cuando la meteorología lo permita. Por eso, en invierno salen menos. Los sábados también suelen faenar, pero los festivos normalmente no. La meteorología no es un factor limitante, a no ser que sea muy extrema. Otro factor importante es la demanda, ya que el cebo vivo debe ser fresco. El cebo vive 1-2 días, aunque

depende de la especie y su supervivencia disminuye en verano (mueren más individuos). Normalmente se trabaja cuando los compradores tienen tiempo libre para pescar y demandan cebo; por eso, el esfuerzo suele ser mayor en verano y en fines de semana.

El número de horas que emplean por jornada depende de la marea y de la captura, y suele oscilar entre 3 y 5 horas. Sin embargo, el final de la faena lo deciden en el campo en función de la captura que van obteniendo.

Cada mariscador trabaja y acude a faenar solo, pero suelen coincidir varios en la misma zona. Muchos de estos no viven en las cercanías y tienen que desplazarse varios kilómetros, por lo que la distancia no es un criterio limitante para faenar distintas zonas.

Los entrevistados faenan la zona de Kanala y, de vez en cuando, Arketas, pero la zona de Axpe-San Kristobal también se explota. Estos mariscadores profesionales tienen repartidas las áreas mediante acuerdo verbal y suelen respetarse. Por ejemplo, uno se encarga de la zona de Axpe-San Kristobal (donde frecuentan más deportivos y furtivos) y otros de la zona de Kanala (donde la afluencia es menor dado que el acceso es más difícil y son sedimentos fangosos). La zona de Kanala es amplia y permite cambiar de área y estrategia sobre la marcha. Van alternando zonas, repitiéndolas cada semana. En función del objetivo se centran en la zona sur fangosa o se mueven hacia la zona norte más arenosa, pero siempre se desplazan acompañando al nivel de marea, ya que las presas son más fáciles de extraer cuando el sedimento está húmedo. Por ello, fundamentalmente faenan a medida que va bajando la marea.

La estrategia de marisqueo con chupona es ir caminando y observando el terreno a la búsqueda de agujeros específicos de sus presas: cuando ven los agujeros clavan la chupona y aspiran. No rellenan los agujeros, pero muchas veces el bloque de sedimento no se extrae: si hay agua, la chupona extrae el contenido de la galería sin apenas alterar el sedimento.

Las especies objetivo del marisqueo son cangrejos o grillos tanto de arena como de fango (*Callinassa* sp. y *Upogebia* sp. respectivamente) y poliquetos (gusana blanca o *Nephtys* sp., gusana roja o *Nereis diversicolor*, gusana de tubo o *Diopatra neapolitana* y caco o *Arenicola marina*). Utilizan distintas herramientas para cada objetivo, siendo diferente la alteración que provocan en el sedimento: la “chupona” de 8 cm de diámetro para cangrejos, “caco” (azada), sal y jibionera para gusanos. La presa objetivo de cada día se decide en función de la demanda existente en el momento.

Se han fijado en la *Zostera* pero sin darle importancia. No la evitan pisar en sus desplazamientos, pero en estas zonas hay muy poca y está muy dispersa. No saben nada

sobre ella y no han encontrado diferencia de capturas dentro y fuera de la pradera. No lo evitan, pero apenas trabajan dentro de la pradera porque no pueden ver los agujeros de los cangrejillos, que son la señal para faenar. Ocurre lo mismo cuando van a por gusanos, aunque en este caso la alteración producida origina un mayor impacto visual ya que se ve afectada una mayor superficie.

En cuanto a la afluencia humana a la zona, dicen que todo está “trillado”, que va demasiado furtivo y que lo arrasa todo: de hecho, se suelen ver otras muchas marcas en el sedimento, asociados a los furtivos, ya que estos utilizan chuponas de menor diámetro (5 cm). Se quejan de los furtivos y de la nula eficacia de los inspectores.

#### 4.4.3.2.2 Salidas con mariscador profesional (almeja)

Se han realizado en total 4 salidas (los días 20, 25, 28 y 29 de marzo de 2013) acompañando a 3 mariscadores profesionales diferentes cuyo objetivo era la almeja (Anexo IV).

La herramienta que utilizan para la búsqueda y extracción de la almeja es una azada pequeña, de mango corto. La superficie de ataque de la azada está entre 7 y 20 cm (Figura 47): cuanto más pequeña es la azada, más golpes suelen dar en el sedimento para extraer el marisco.



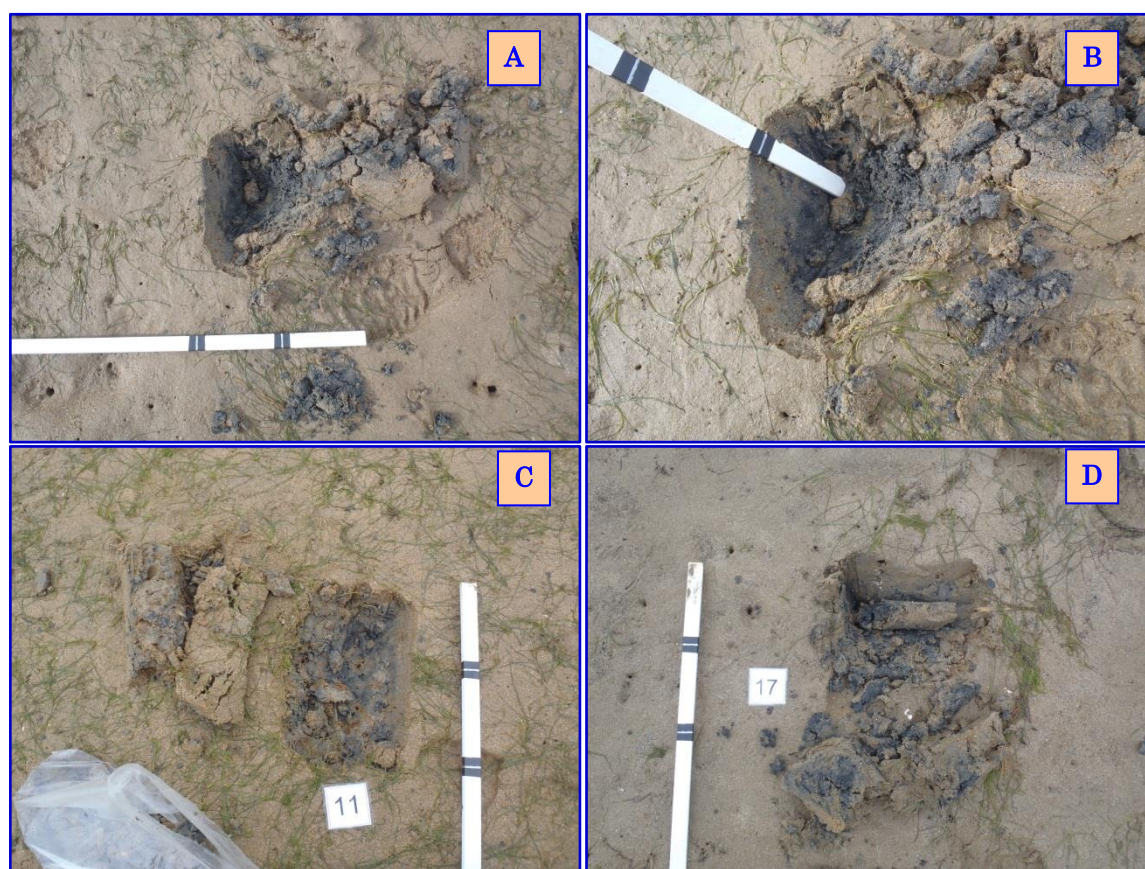
**Figura 47.-** A. Herramienta de marisqueo (azada de 7 cm de superficie de ataque) con la captura de una jornada (almeja fina); B. Actividad del marisqueo, realizando agujeros de similar tamaño a medida que se va caminando.

Los mariscadores se desplazan en línea recta o en “zig-zag” por la marisma, sobre el sedimento desnudo o sobre la pradera de *Zostera noltii*, buscando “ojos” y realizando agujeros. Cuando ven los “ojos” dan un golpe de azada “de tanteo” y si les convence lo que



han visto o tocan algo duro, dan 2-3 golpes más profundizando hasta 10-15 cm buscando la almeja. Si encuentran alguna almeja, se quedan en la zona y agujerean alrededor, ya que dicen que las almejas suelen estar agrupadas, pero pocas veces continúan con el mismo agujero haciéndolo más grande. Cuando hay “ojos”, apenas se mueven de un sitio y se quedan cavando en 20 metros a la redonda; si no ven “ojos” se desplazan más.

Tras realizar los agujeros dejan el sedimento extraído al lado, sin volver a rellenarlo; pero algunos, a veces, tienen un gesto intuitivo o de inercia, y devuelven con la azada parte de este montón al agujero, e incluso lo pisan cuando se alejan. Los agujeros producidos son de distinto tamaño, pero cada mariscador actúa de una forma concreta (forma y número de golpes) generando en su mayoría agujeros del mismo tamaño. Los mariscadores 1, 2 y 4 producían principalmente agujeros tipo A (15x15 cm<sup>2</sup>) y el mariscador 3 agujeros tipo B (20x10 cm<sup>2</sup>) (Figura 48). No obstante, de vez en cuando también hacían agujeros de diferente tamaño que, en el presente estudio, fueron contabilizados como “otros agujeros” (Figura 49).



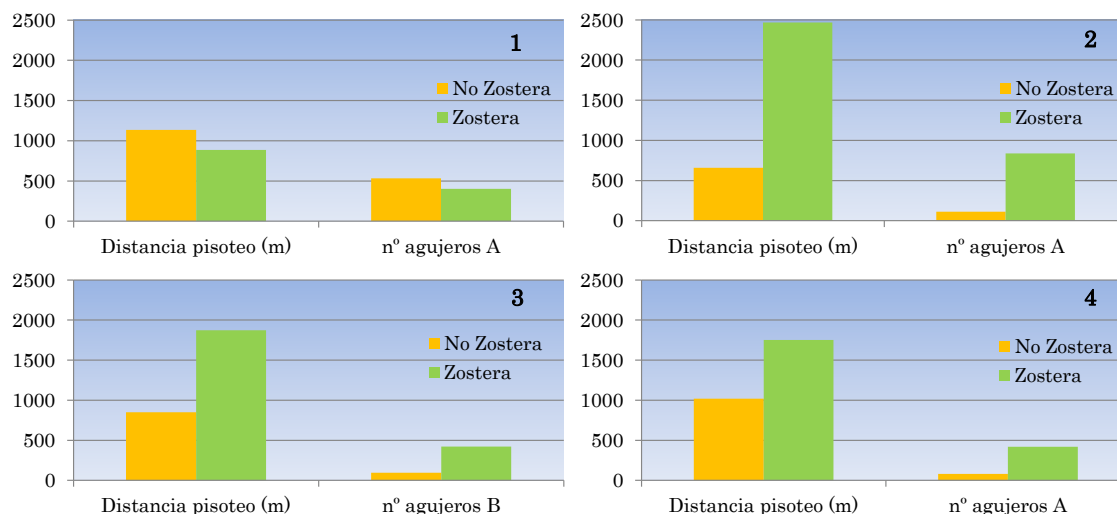
**Figura 48.-** Tipos de agujeros más habituales: **A** y **B**. tipo A (15x15 cm); **C** y **D**. tipo B (20x10 cm). Cada marca negra en el listón blanco representa 10 cm.



**Figura 49.-** Agujeros no habituales, del tipo otros, más grandes de lo normal.

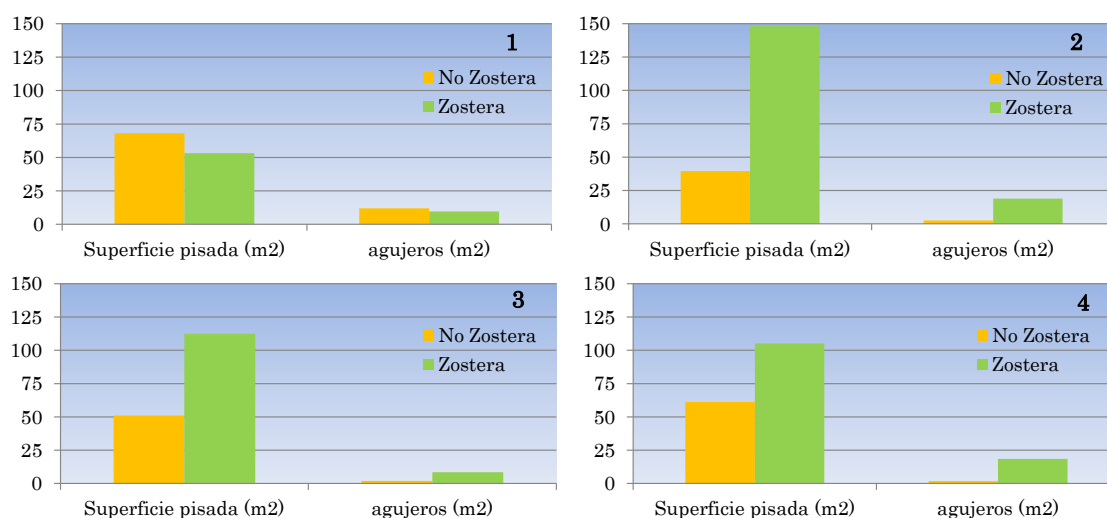
El mariscador 1 se “desvía” de los otros 4, ya que se ha desplazado menos distancia sobre la pradera y ha realizado menos agujeros sobre ella que sobre sedimento desnudo (Figura 50). En cada jornada se han desplazado entre 2.020 y 3.125 m, realizando entre 500 y 1.000 agujeros (Anexo I).





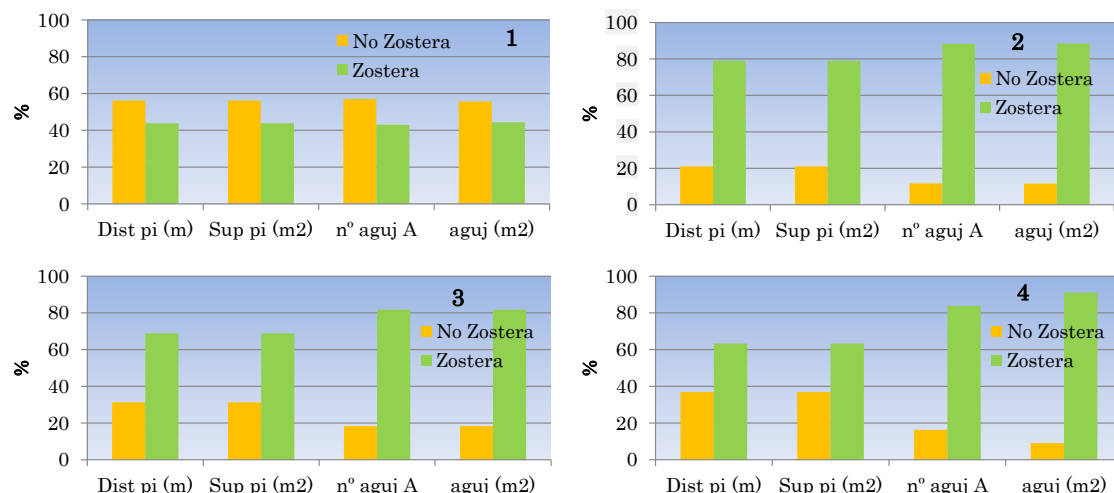
**Figura 50.-** Distancia pisoteada y número de agujeros de tipo A y B realizados por cada mariscador (1, 2, 3, 4) sobre terreno desnudo (No Zostera) o con *Zostera noltii* (Zostera).

Los valores de la superficie pisoteada en una jornada oscilan entre 121 y 188 m<sup>2</sup>, mientras que la superficies correspondientes a los agujeros realizados se encuentran entre 10,3 y 21,6 m<sup>2</sup> (Figura 51 y Anexo I).



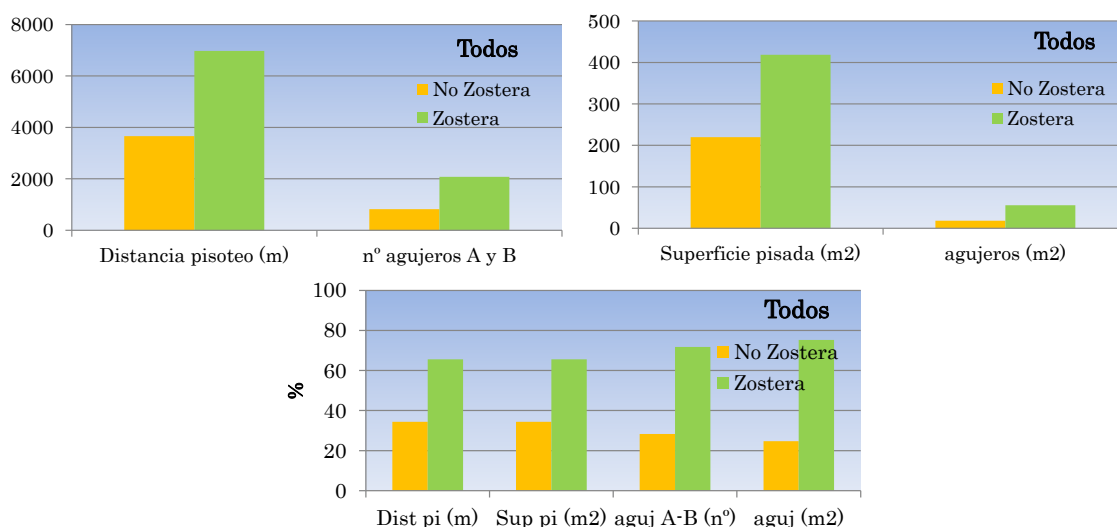
**Figura 51.-** Superficie de las pisadas y agujeros realizados en una salida por cada mariscador (1, 2, 3, 4) sobre terreno desnudo (No Zostera) o con *Zostera noltii* (Zostera).

El mariscador 1 muestra porcentajes similares para el pisoteo (distancia y superficie) y los agujeros (número y superficie), con valores cercanos a 55% sobre pradera y 45% sobre sedimento desnudo. Sin embargo, para los otros tres casos, los porcentajes de pisoteo sobre pradera (entre 60 y 80%) son menores que los correspondientes a agujeros también sobre pradera (entre 80 y 90%) (Figura 52 y Anexo I).



**Figura 52.-** Porcentajes de distancia pisoteada (Dist pi), superficie pisoteada (Sup pi), número de agujeros y superficie de los agujeros realizados por cada mariscador (1, 2, 3, 4) sobre terreno desnudo (No Zostera) o con *Zostera noltii* (Zostera).

Considerando el total de las cuatro salidas efectuadas con mariscadores profesionales, más del 65% de su desplazamiento lo han realizado sobre praderas y más del 70% de los agujeros se han excavado sobre terreno ocupado por *Zostera noltii* (Figura 53 y Tabla 6).



**Figura 53.-** Suma de cuatro salidas de mariscadores profesionales a la almeja: distancia pisoteada (Dist pi), superficie pisoteada (Sup pi), número de agujeros A-B y superficie de los agujeros realizados sobre terreno desnudo (No Zostera) o con *Zostera noltii* (Zostera).



**Tabla 6.** Suma de todas las salidas de mariscadores profesionales a la almeja. Distancia recorrida (Distancia), superficie pisoteada (Pisada), número y superficie de tipos de agujero (A, B, otros) realizados dentro y fuera de la pradera en la zona de Axpe (Oka). Valores absolutos (nº, m y m²) y porcentajes (%).

| Todos               | Distancia (m) | Pisada (m²) | Agujeros A y B (nº) | Agujeros A y B (m²) | Otros agujeros (m²) | Total agujeros (m²) |
|---------------------|---------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| No <i>Zostera</i>   | 3.661         | 219,7       | 819                 | 18,2                | 0                   | 18,2                |
| <i>Zostera</i>      | 6.976         | 418,6       | 2.079               | 45,7                | 9,68                | 55,4                |
| TOT                 | 10.637        | 638,22      | 2.898               | 63,9                |                     | 73,6                |
| % No <i>Zostera</i> | 34,4          | 34,4        | 28,3                | 28,5                |                     | 24,7                |
| % <i>Zostera</i>    | 65,6          | 65,6        | 71,7                | 71,5                |                     | 75,3                |

#### 4.4.3.2.3 Salidas con mariscador profesional (cebo vivo)

Se ha realizado 1 salida (el día 20 de septiembre de 2013) acompañando a 1 mariscador profesional cuyo objetivo en esta jornada fueron cangrejillos o grillos de fango (*Upogebia* sp.) (Figura 54A).

La zona faenada corresponde a Kanala (Anexo IV), una zona fangosa con poca presencia de pradera, algunas macroalgas (*Ulva* sp. y *Gracilaria* sp.) y bastante superficie con “verdín”. Principalmente se faena la zona desnuda y con verdín, ya que son las que permiten la visualización de los orificios de las presas.

La herramienta que utilizan para la búsqueda y extracción de los cangrejillos es lo que se denomina “chupona”, un tubo de PVC de 8 cm de diámetro que presenta en su interior un émbolo que, al accionarlo, aspira el contenido de las galerías formadas en el sedimento. Si el sedimento está húmedo, el vacío generado extrae la presa de la galería sin alterar el sedimento, pero si este está seco, normalmente suelen extraerse cilindros de sedimento de unos 5 cm de altura (Figura 54D).

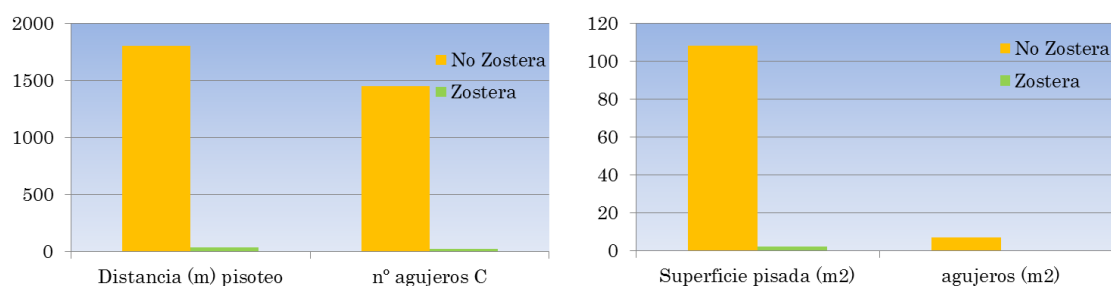
Los mariscadores van caminando por la orilla de los canales secundarios buscando agujeros en el sedimento y efectuando actuaciones de vaciado cuando identifican orificios de sus presas, normalmente cada 0,5-1 m. No obstante, si la densidad de agujeros es mayor, el esfuerzo de extracción también lo es. Caminan y van extrayendo sus presas de manera simultánea. Hace algunos años extraían 2-4 ejemplares de cada galería; hoy en día 0 o 1.

En sus desplazamientos aproximadamente dan dos pasos cada metro produciendo agujeros siempre del mismo tamaño, es decir, de 0,005 m².



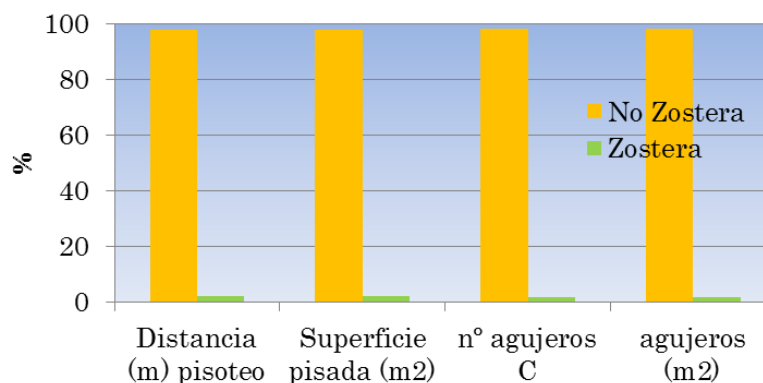
**Figura 54.-** A. Ejemplar de cangrejillo de fango (*Upogebia* sp); B y C. Marisqueo mediante el uso de la “chupona”; D. Cilindros de sedimento extraído por la “chupona”. Las marcas negras del listón blanco corresponden a 10 cm.

En esta jornada que ha computado 3 horas de muestreo, el mariscador se ha desplazado unos 1.840 metros realizando unos 1875 agujeros (Figura 55). Estos valores corresponden a 110 m<sup>2</sup> pisoteados y 7,5 m<sup>2</sup> agujereados (Figura 55 y Anexo II).



**Figura 55.-** Distancia pisoteada, número de agujeros de tipo C, superficie de las pisadas y de agujeros realizados por el mariscador de cebo vivo sobre terreno desnudo (No *Zostera*) o con *Zostera noltii* (*Zostera*).

Este mariscador apenas ha faenado dentro de la pradera marina: solamente el 2% de la superficie faenada y pisoteada correspondió a zona ocupada por pradera marina (Figura 56 y Anexo II).



**Figura 56.-** Porcentajes de distancia pisoteada (m), superficie pisoteada (m²), número de agujeros y superficie (m²) de los agujeros realizados por el mariscador de cebo vivo sobre terreno desnudo (No Zostera) o con *Zostera noltii* (Zostera).

#### 4.4.3.2.4 Salidas con mariscador deportivo

A pesar de contar con la buena predisposición de algunos mariscadores deportivos y haberse planificado algunas salidas, estas no se pudieron llevar a cabo por diversos motivos. No obstante, se considera que los deportivos provocan un menor impacto que los profesionales (y los furtivos) ya que su dedicación suele ser más limitada en el tiempo y, además, principalmente suelen ir al cebo vivo, que suele faenarse en mayor medida fuera de las praderas.

### 4.4.4 Experimentos

A pesar de que está bastante extendida y aceptada la consideración de que el marisqueo es una de las actividades más importantes desde el punto de vista del impacto directo generado en el sedimento, el consiguiente daño producido en la pradera no está suficientemente documentado o demostrado con datos, por lo cual resulta de gran interés intentar evaluarlo en este contexto.

Para ello se llevaron a cabo dos experimentos que pretenden reflejar el efecto de dos presiones habituales observadas en las praderas de la zona de Axpe, en el estuario del Oka: el pisoteo (que lo ejercen tanto los mariscadores como los paseantes) y el agujereo con azadillas (que lo ejercen los mariscadores en la búsqueda y extracción del marisco).

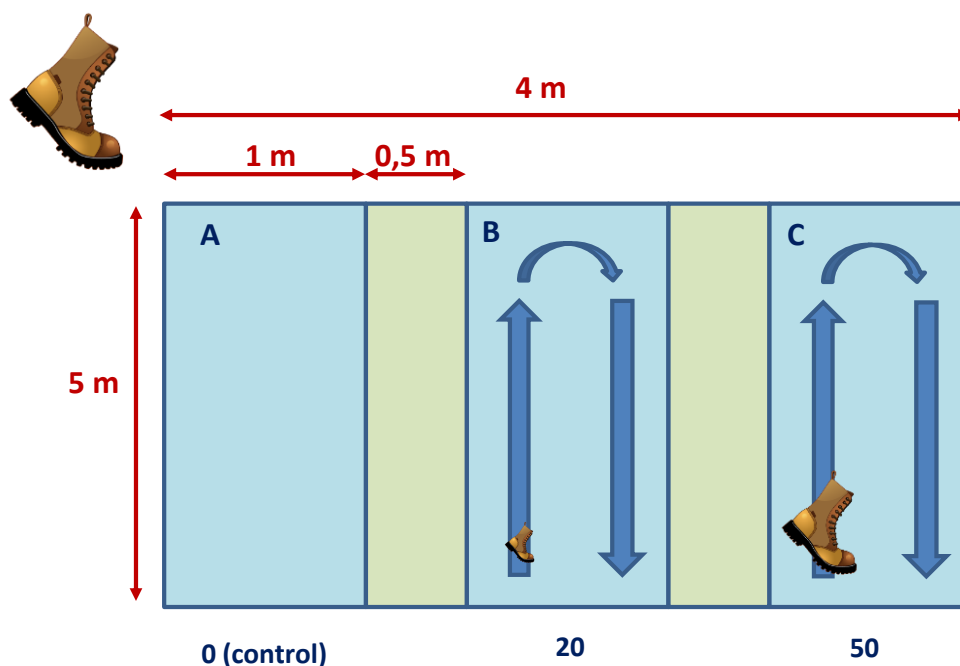
Por tanto, el objetivo de estos experimentos es el conocimiento real del impacto de la presencia humana sobre la pradera marina. ¿Cómo afecta el pisoteo? ¿Cómo afecta la actividad extractiva del marisqueo? Se pretende cuantificar el efecto de estas presiones en la zona de Axpe (estuario del Oka).

#### 4.4.4.1 Fundamento

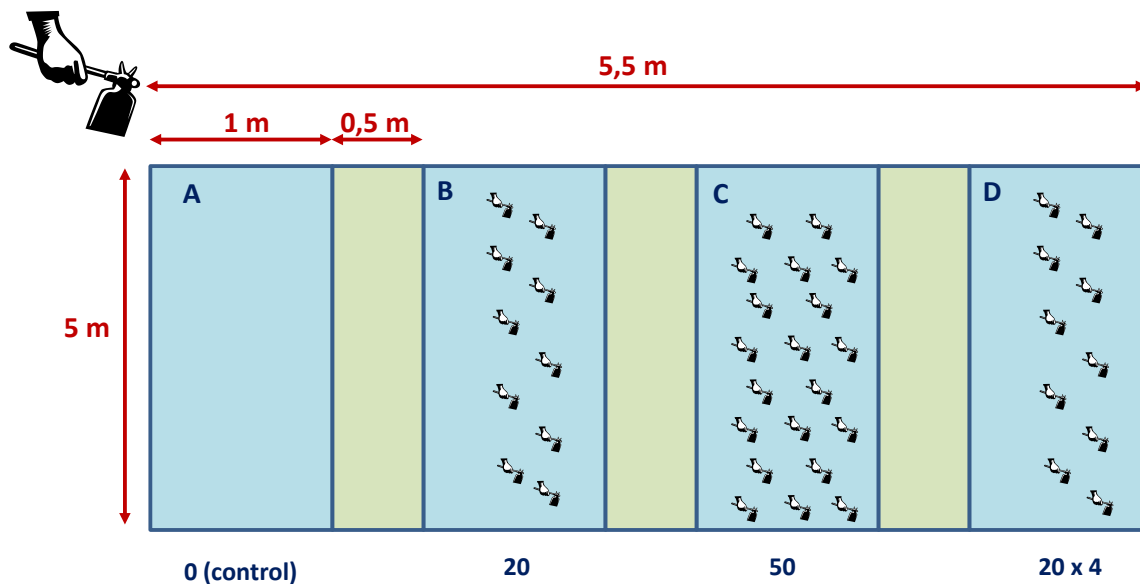
◆-Efecto del pisoteo (Ekriich y Holmquist, 2000): En una mancha homogénea de *Zostera noltii* se cierra una parcela de 5x4 m y se delimitan tres pasillos en su interior: uno sirve de control, que no se pisa; un pasillo es recorrido 20 veces/mes (se hace en un día); el tercer pasillo se recorre 50 veces/mes (también se hace en un día). De esta manera se pretende reflejar distintos niveles de presión. Este procedimiento se repite durante 4 meses (Figura 57 y Tabla 7). Se observa cómo va evolucionando la *Zostera*: justo antes del pisoteo correspondiente, se toman muestras en el tiempo 0 (antes de comenzar), en el mes 2, mes 4 (fin de pisoteo) y mes 7. Dichas muestras consisten en obtención de fotografías, medidas de densidad de haces (3 cuadrados de 25x25 cm) y plantas para medir parámetros biológicos (2 cuadrados de 10x10 cm) como nº de hojas/haz, longitud y anchura de la hoja más larga de cada haz, biomasa aérea y subterránea.

◆-Efecto del marisqueo (Cabaço *et al.*, 2005): se cierra una parcela de 5x5,5 m en una mancha homogénea de *Zostera* y se delimitan en su interior cuatro pasillos: un pasillo sirve de control (donde no se hace nada); el segundo pasillo corresponde a una única actuación de marisqueo (20 golpes de azada, tal y como lo hacen los mariscadores); en el tercer pasillo se efectúa un único marisqueo con 50 golpes de azada; en el cuarto pasillo se hacen cuatro actuaciones de marisqueo en un mes (1/semana) de 20 golpes de azada (Figura 58 y Tabla 7). Del mismo modo que en el experimento anterior, se observa cómo va evolucionando la *Zostera* mediante visitas y muestreos en el tiempo 0 (antes de comenzar), en el mes 2, mes 4 y mes 7. En cada muestreo se obtendrán fotografías, medidas de densidad de haces (3 cuadrados de 25x25 cm) y plantas para medir parámetros biológicos (2 cuadrados de 10x10 cm). De esta manera, se pretende ver el tiempo de recuperación de una única actuación marisquera (con distinto grado de presión) y el tiempo de recuperación ante una única presión puntual o una presión continuada.





**Figura 57.-** Experimento de pisoteo: A. Control, 0 pisadas; B. baja presión, 20 vueltas al mes; C. alta presión, 50 vueltas al mes. En azul, pasillos del experimento; en verde, pasillos para desplazamiento y toma de medidas.



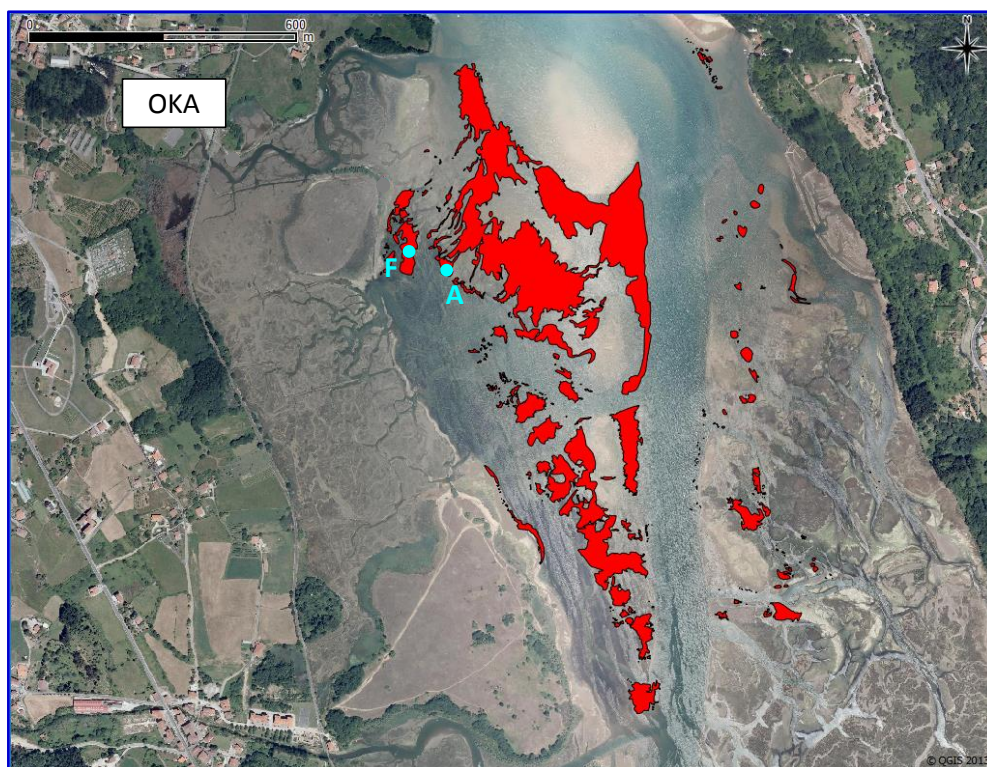
**Figura 58.-** Experimento de marisqueo: A. Control, 0 azadas; B. baja presión, puntual, 20 azadas; C. alta presión, puntual, 50 azadas; D. presión continua, 20 azadas a la semana (4 veces). En azul, pasillos del experimento; en verde, pasillos para desplazamiento y toma de medidas.

**Tabla 7.** Cronograma de los experimentos, con la toma de medidas (M), ejecución de la presión (P) y ambos (A).

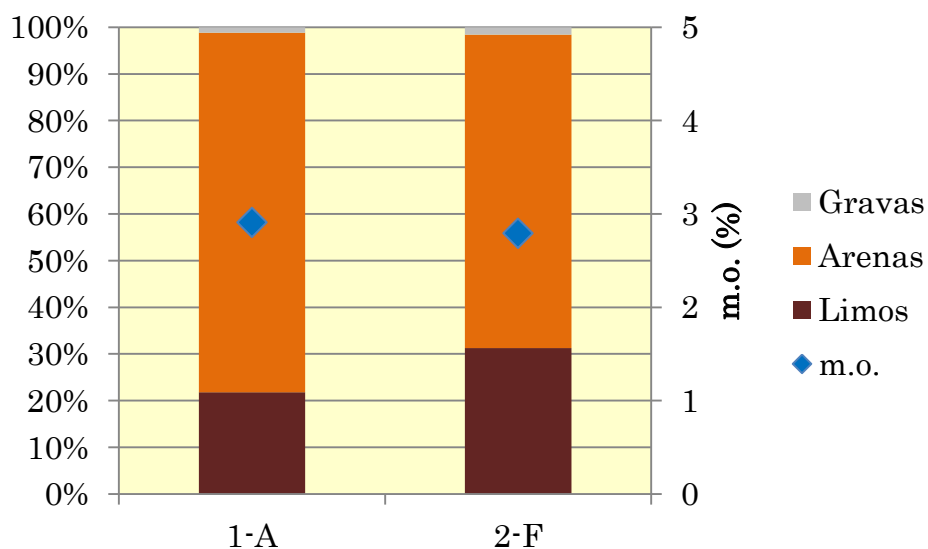
|                            |           | Mes 0    |          |          |          |       |       |       |       |       |
|----------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            |           | Semana 0 | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 7 |
| Experimento 1<br>Pisoteo   | Pasillo A | M        |          |          |          |       | M     |       | M     | M     |
|                            | Pasillo B | A        |          |          |          | P     | A     | P     | A     | M     |
|                            | Pasillo C | A        |          |          |          | P     | A     | P     | A     | M     |
| Experimento 2<br>Marisqueo | Pasillo A | M        |          |          |          |       | M     |       | M     | M     |
|                            | Pasillo B | A        |          |          |          |       | M     |       | M     | M     |
|                            | Pasillo C | A        |          |          |          |       | M     |       | M     | M     |
|                            | Pasillo D | A        | P        | P        | P        |       | M     |       | M     | M     |

#### 4.4.4.2 Material y métodos

El día 2 de mayo de 2013 se seleccionaron dos zonas con distinto tipo de sedimento (uno arenoso y el otro más fangoso) y diferente densidad de pradera dentro de la zona de Axpe en el estuario del Oka (**Figura 59**). En cada zona se delimitaron dos parcelas (una para cada tipo de experimento) con varillas metálicas unidos por cuerda y se señalizaron unos pasillos mediante estacas de madera. Las varillas fueron pintadas de colores llamativos y en la cuerda se ataron trozos de plástico del mismo color con el fin de llamar la atención y ser visibles para evitar cualquier posible accidente o enganche. En las varillas se ataron etiquetas informativas del experimento donde, además, se solicitaba colaboración o respeto con el fin de garantizar el correcto desarrollo del experimento (**Figura 61**).



**Figura 59.-** Localización de las zonas de experimento: A. Sedimento arenoso; F. Sedimento fangoso.



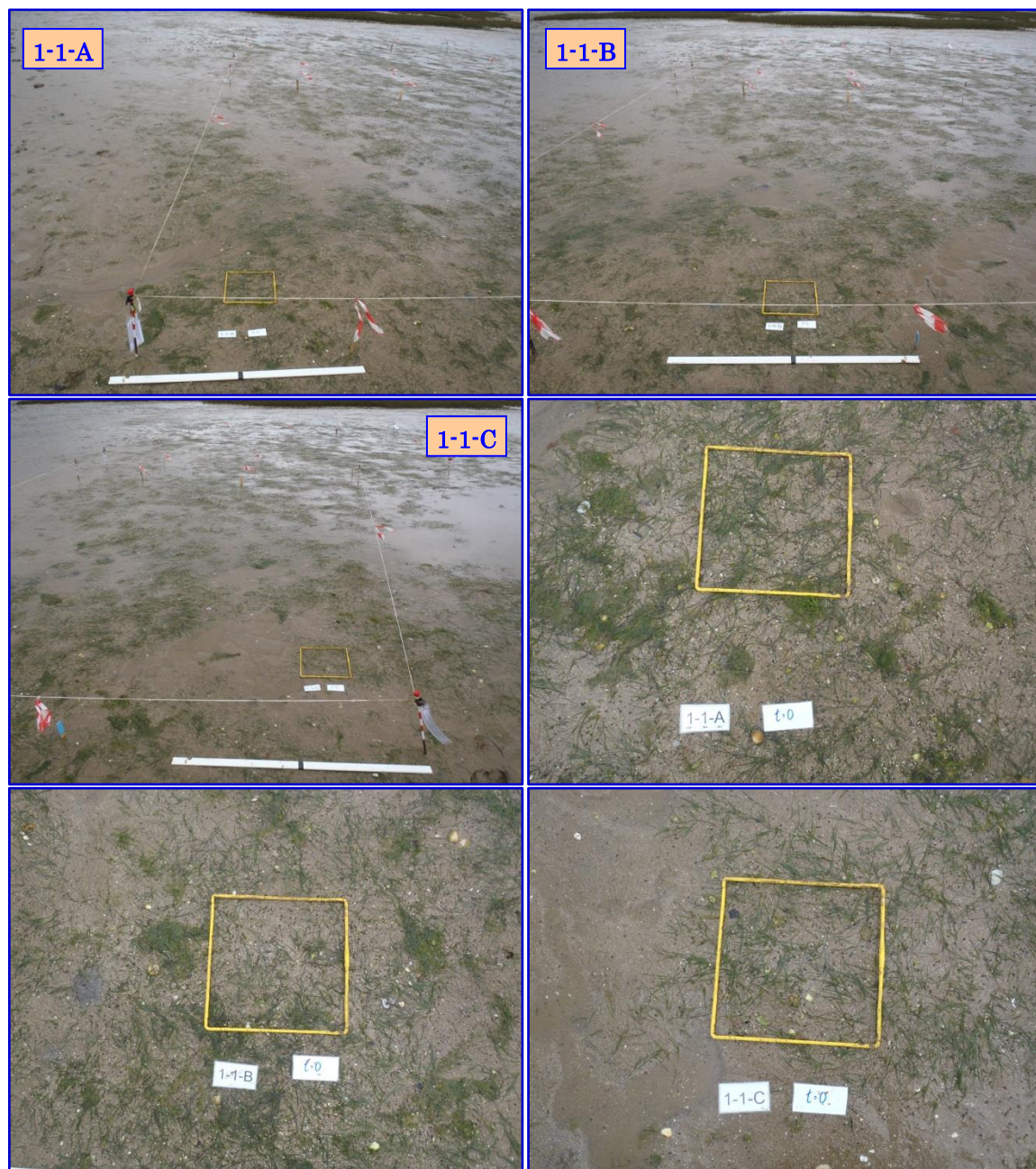
**Figura 60.-** Composición granulométrica (porcentajes de limos, arenas y gravas) y contenido en materia orgánica (m.o.) del sedimento de las zonas de experimentos: A. Sedimento arenoso; F. Sedimento fangoso.



**Figura 61.-** Instalación de las parcelas. 02/05/2013. **A.** Parcela en la zona arenosa; **B.** Parcela en la zona fangosa; **C.** Detalle de una de las barras de las esquinas; **D.** Detalle de la etiqueta de información del experimento.

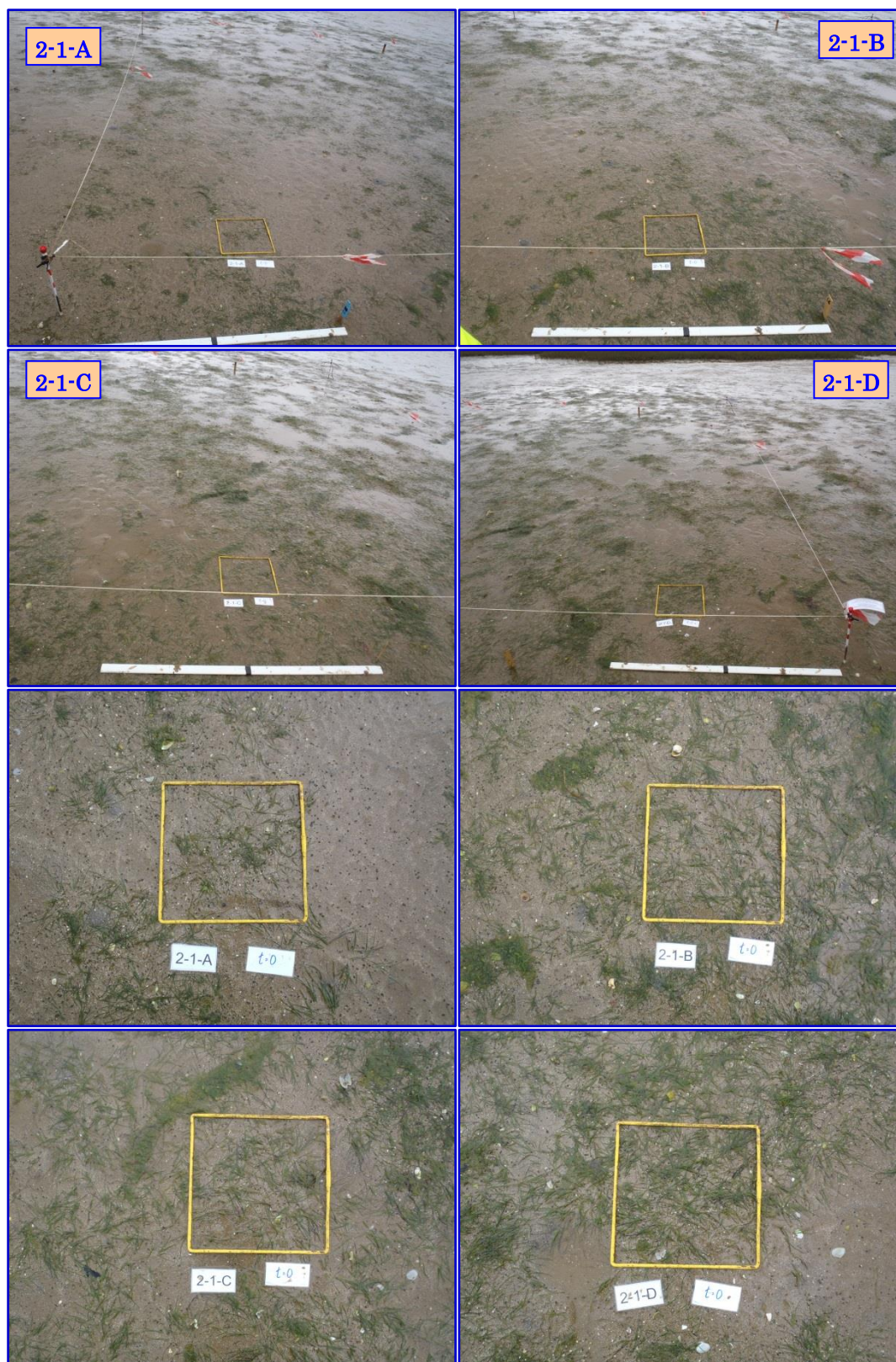
Tras dibujar las parcelas y pasillos, y antes de ejercer ningún tipo de presión, se tomaron las muestras correspondientes de cada pasillo: 2-3 medidas de densidad de haces (en cuadrados de 25x25 cm) (Figura 62, Figura 63, Figura 64, Figura 65) y 2 muestras de haces (cuadrados de 10x10 cm) para las medidas biométricas y biomasa (Figura 66). Las medidas de densidad se han tomado siempre en las mismas cuadrículas (Figura 67) para obtener el desarrollo de los mismos haces. Sin embargo, las muestras de biomasa, por ser un método destructivo, se han ido tomando en distintos puntos dentro del mismo pasillo: cada mes se ha seleccionado un área concreta (la misma en todos los pasillos), de donde se han extraído dos réplicas no coincidentes con las cuadrículas de medida de densidad. Esta área ha ido variando en los distintos muestreos (Figura 68).





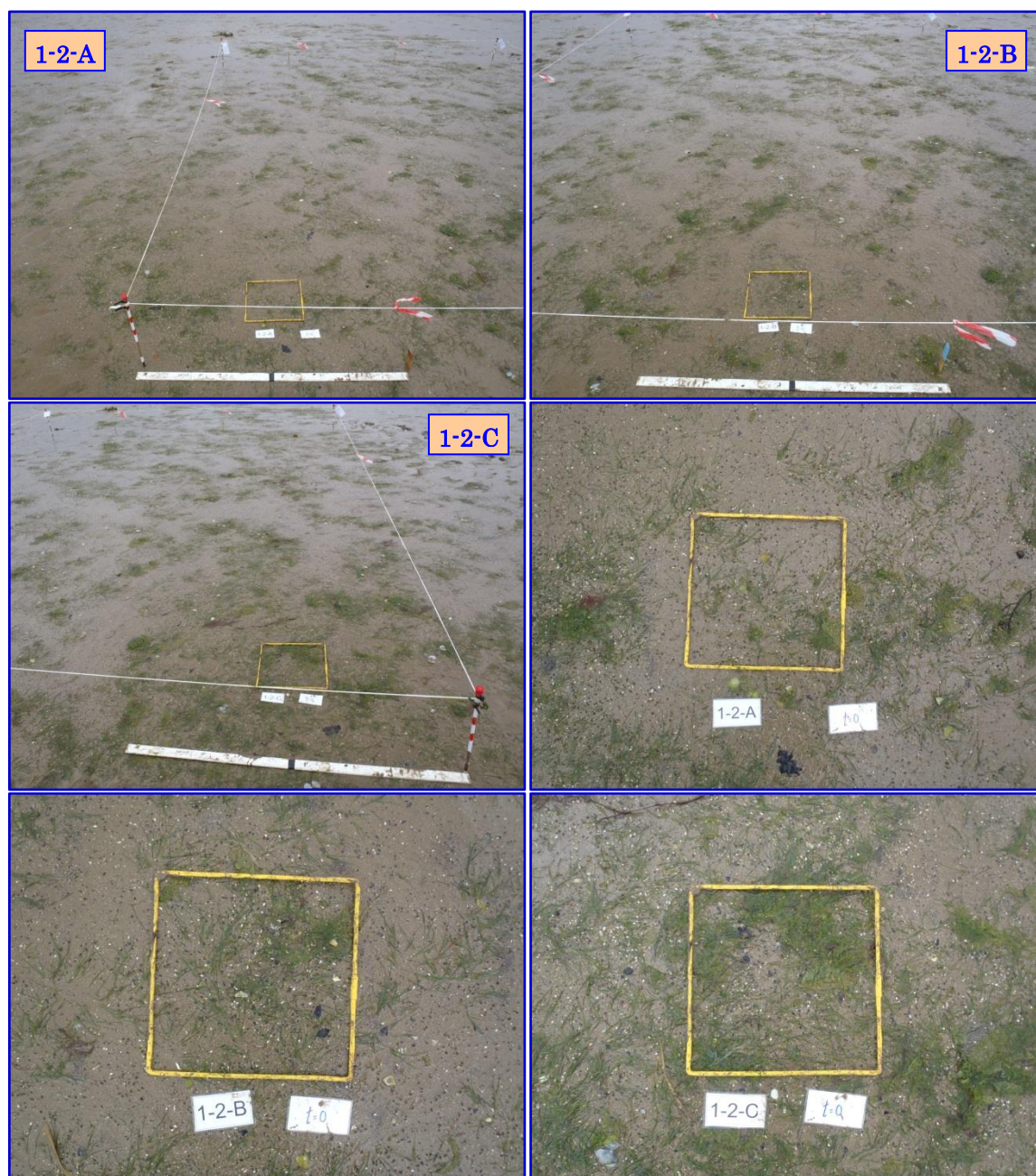
**Figura 62.-** Parcela de sedimento arenoso, experimento del pisoteo, mes 0. Cuadrado de 25x25 cm donde se ha medido la densidad en cada uno de los pasillos. Pasillos 1-1-A, 1-1-B y 1-1-C.





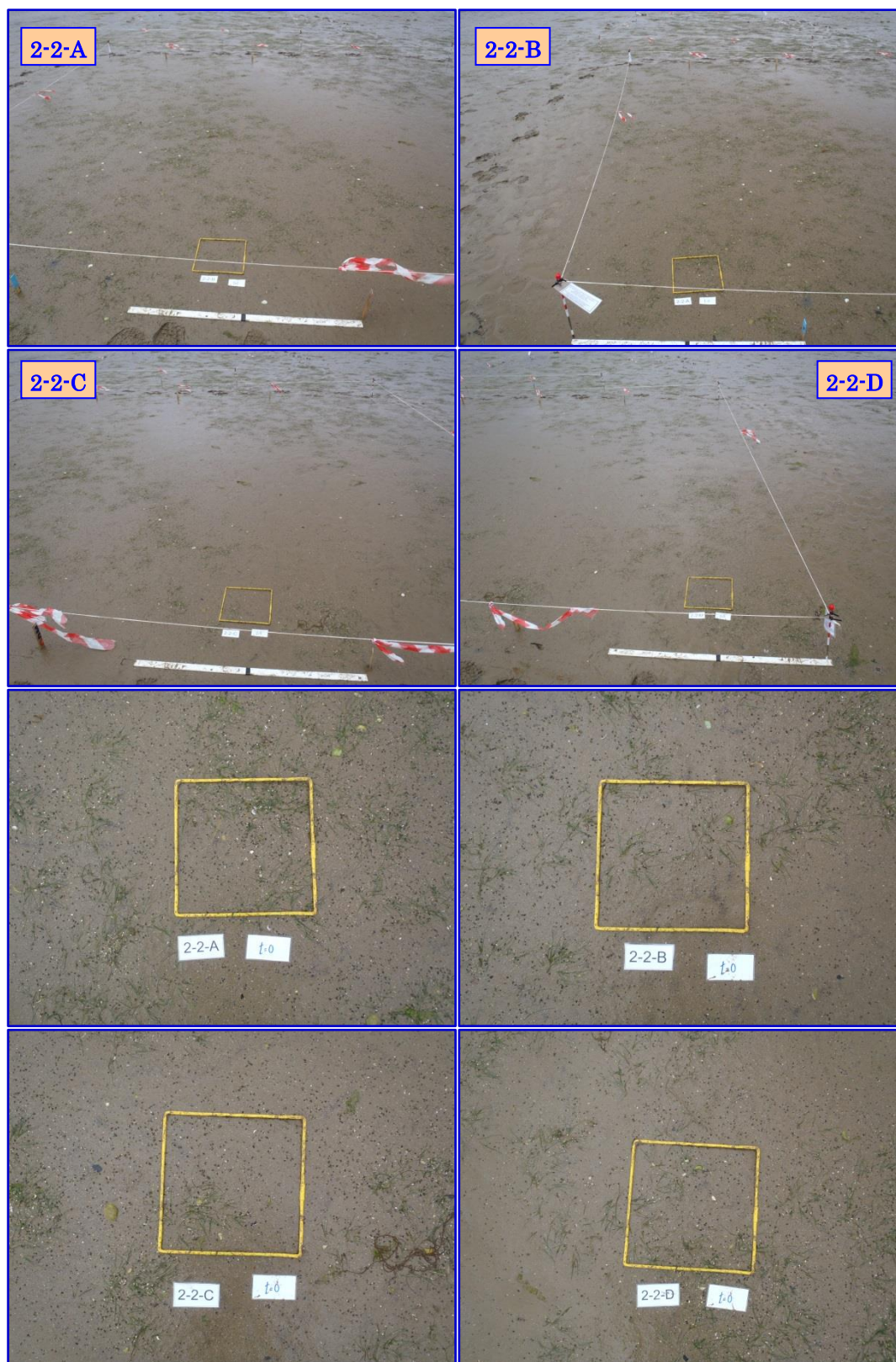
**Figura 63.-** Parcela de sedimento arenoso, experimento del marisqueo, mes 0. Cuadrado de 25x25 cm donde se ha medido la densidad en cada uno de los pasillos. Pasillos 2-1-A, 2-1-B, 2-1-C y 2-1-D.





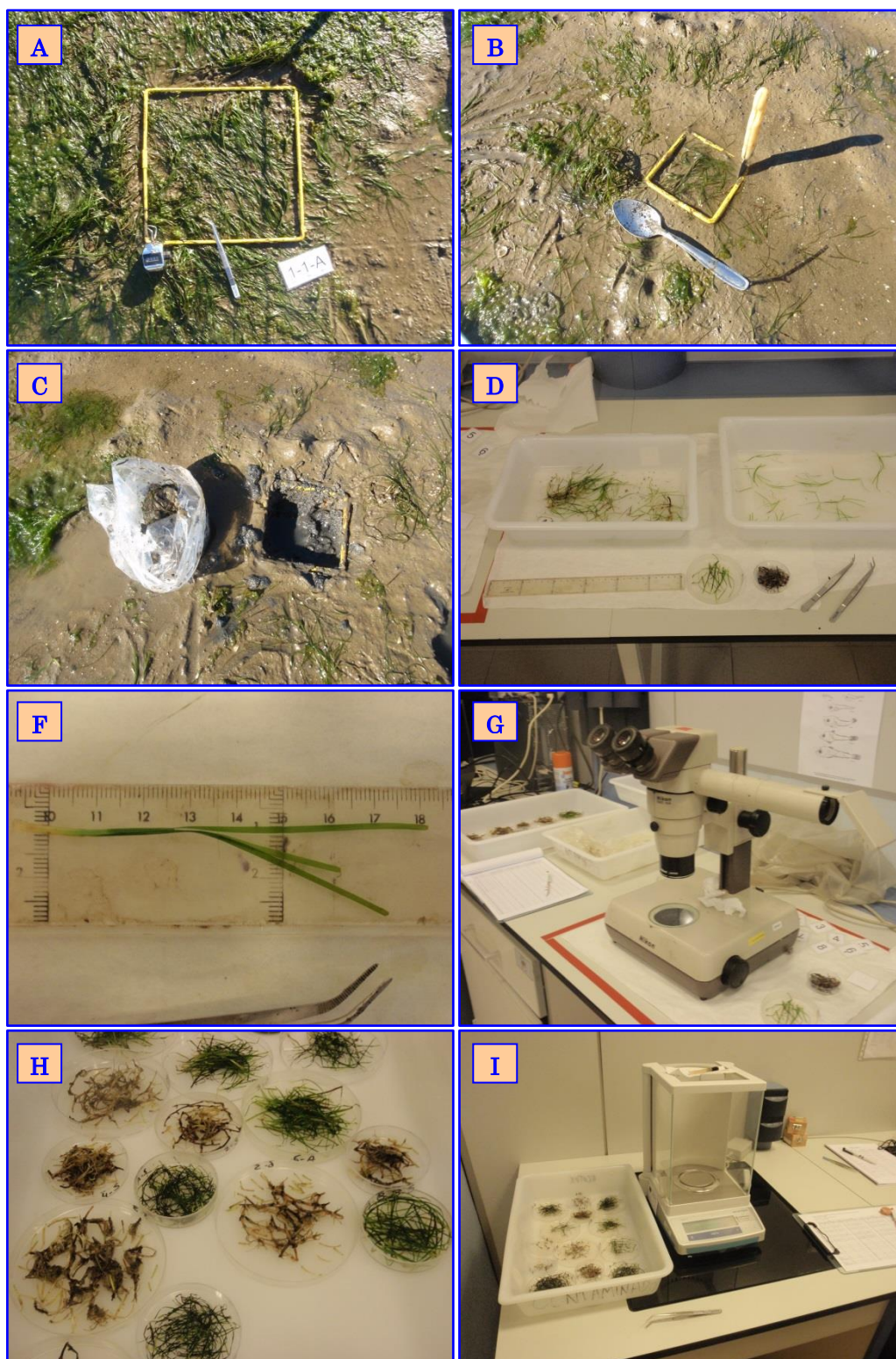
**Figura 64.-** Parcela de sedimento fangoso, experimento del pisoteo, mes 0. Cuadrado de 25x25 cm donde se ha medido la densidad en cada uno de los pasillos. Pasillos 1-2-A, 1-2-B y 1-2-C.



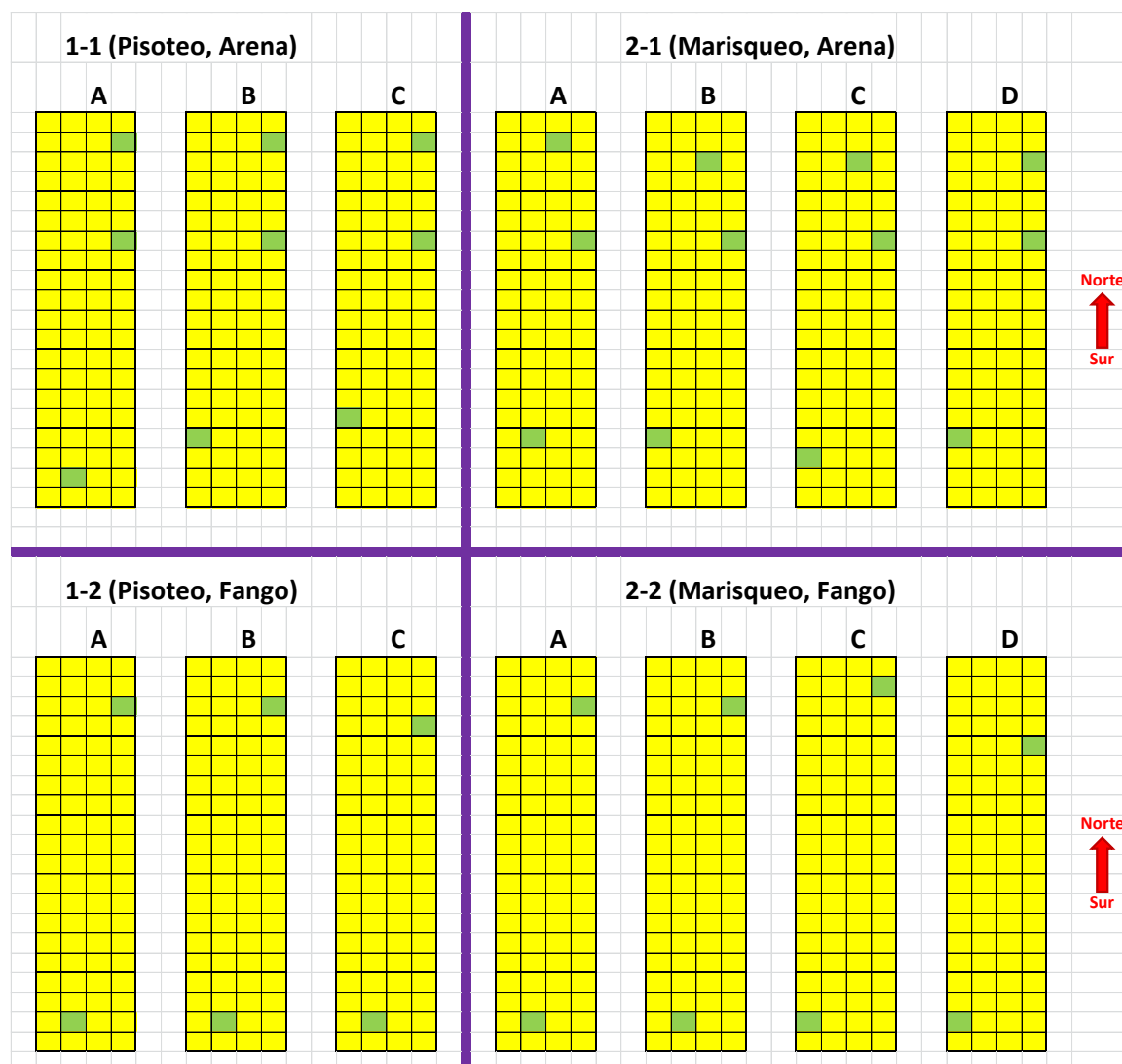


**Figura 65.-** Parcela de sedimento fangoso, experimento del marisqueo, mes 0. Cuadrado de 25x25 cm donde se ha medido la densidad en cada uno de los pasillos. Pasillos 2-2-A, 2-2-B, 2-2-C y 2-2-D.





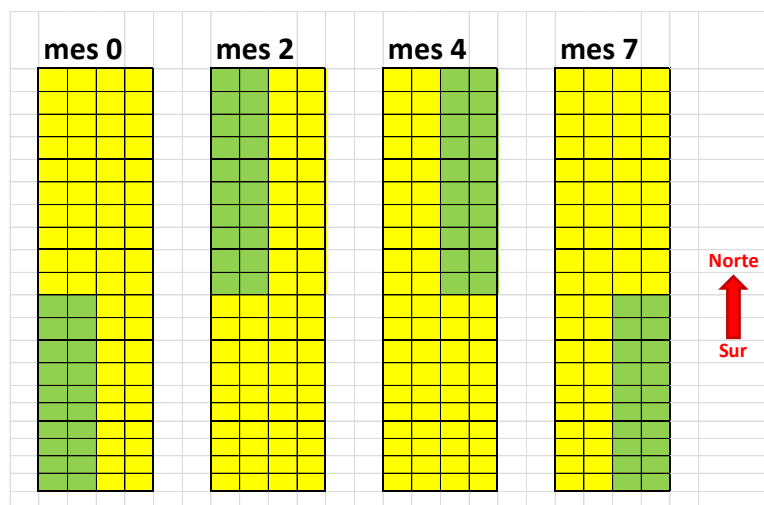
**Figura 66.-** Procesado de las muestras. **A.** Medidas de densidad de haces con cuadrados de 25x25 cm<sup>2</sup>; **B y C.** Toma de muestras con cuadrados de 10x10 cm<sup>2</sup>; **D.** Limpieza de muestras, separación de haces y de fracciones aéreas/subterráneas; **F.** Medida de longitud de hojas; **G.** Lupa para medida de anchura de hojas; **H.** Fracciones aéreas y subterráneas de cada muestra tras pasar por la estufa; **I.** Pesaje de las fracciones aéreas y subterráneas secas.



**Figura 67.-** Situación de las cuadrículas de 25x25 cm (en verde) donde se midió la densidad en los meses 0, 2, 4 y 7.

Tras calcular las densidades de haces y tomar las muestras de pradera, se realizaron las presiones correspondientes (Figura 69 y Figura 70):

- pisoteo en las parcelas 1-1 y 1-2: 20 vueltas en los pasillos B y 50 vueltas en los pasillos C. El pasillo A se dejó intacto por ser el control.
- marisqueo en las parcelas 2-1 y 2-2: 20 agujeros en los pasillos B, 50 en los pasillos C y de nuevo 20 en los pasillos D. El pasillo A se dejó intacto por ser el control.



**Figura 68.-** Área de procedencia (en verde) de las dos muestras para las medidas de biometría y biomasa en todos los pasillos, respetando las cuadrículas para las medidas de densidad. Cada mes se ha seleccionado una distinta zona para intentar no influir en las medidas posteriores.



**Figura 69.-** Parcelas de sedimento arenoso, mes 0 tras presión: experimento del pisoteo (1-1) y marisqueo (2-1).



**Figura 70.-** Parcelas de sedimento fangoso, mes 0 tras presión: experimento del pisoteo (1-2) y marisqueo (2-2).



Las muestras recogidas fueron procesadas en el laboratorio: se separó el material vegetal del sedimento en cada una de las muestras (10x10 cm) y solamente se reservó aquella fracción de *Zostera* en buen estado que se consideraba viva a la hora del muestreo; se separaron los haces y se contabilizó el número de hojas de cada haz; se midió la longitud (precisión de 1 mm) y anchura (precisión de 0,1 mm, con la ayuda de una lupa binocular) de la hoja más larga de cada haz; la parte aérea (parte verde de las hojas) y la parte subterránea (rizomas, raíces y parte blanca de los haces) de cada muestra se distribuyeron en dos placas Petri de plástico; estas placas se mantuvieron durante 48 horas a 60 °C; todas las placas secas, con y sin la fracción vegetal correspondiente, se pesaron en una balanza de precisión de 0,00001 g; se obtuvo el peso seco de cada fracción mediante la resta del peso del conjunto (placa+*Zostera*) y el de la placa.

De acuerdo con lo programado, los días 10, 17 y 24 de mayo (a 1, 2 y 3 semanas del inicio) se volvieron a realizar 20 agujeros en los pasillos D del experimento del marisqueo (parcelas 2-1 y 2-2) (Figura 71). Con esto finalizó la fase de las presiones de este experimento. De aquí en adelante, se tomarán las muestras pertinentes en los meses 2, 4 y 7.

El 24 de mayo se observó una importante presencia de alga verde (*Ulva* sp.) en toda la zona, que también afectó a las parcelas, principalmente a las arenosas. Sin entrar en los pasillos de experimentación, se limpiaron los acúmulos de algas que se hallaron dentro de la parcela. Además se eliminaron las algas retenidas en las barras y cuerdas (Figura 71).





**Figura 71.-** Parcelas de experimentos, semana 3 (24 de mayo de 2013). Antes (1a y 2a) y después (1d y 2d) de la limpieza de algas. Parcelas del experimento del marisqueo después de ejercer la presión en el pasillo arenoso (2-1-D) y fangoso (2-2-D).

El día 31 de mayo se acometió la presión correspondiente al mes 1 del experimento del pisoteo (parcelas 1-1 y 1-2): 20 vueltas en los pasillos B y 50 vueltas en los pasillos C (**Figura 72**). Esta vez se volvieron a observar acumulaciones de algas verdes (*Ulva* sp.) dentro de las parcelas y en las estructuras y se procedió a su limpieza.

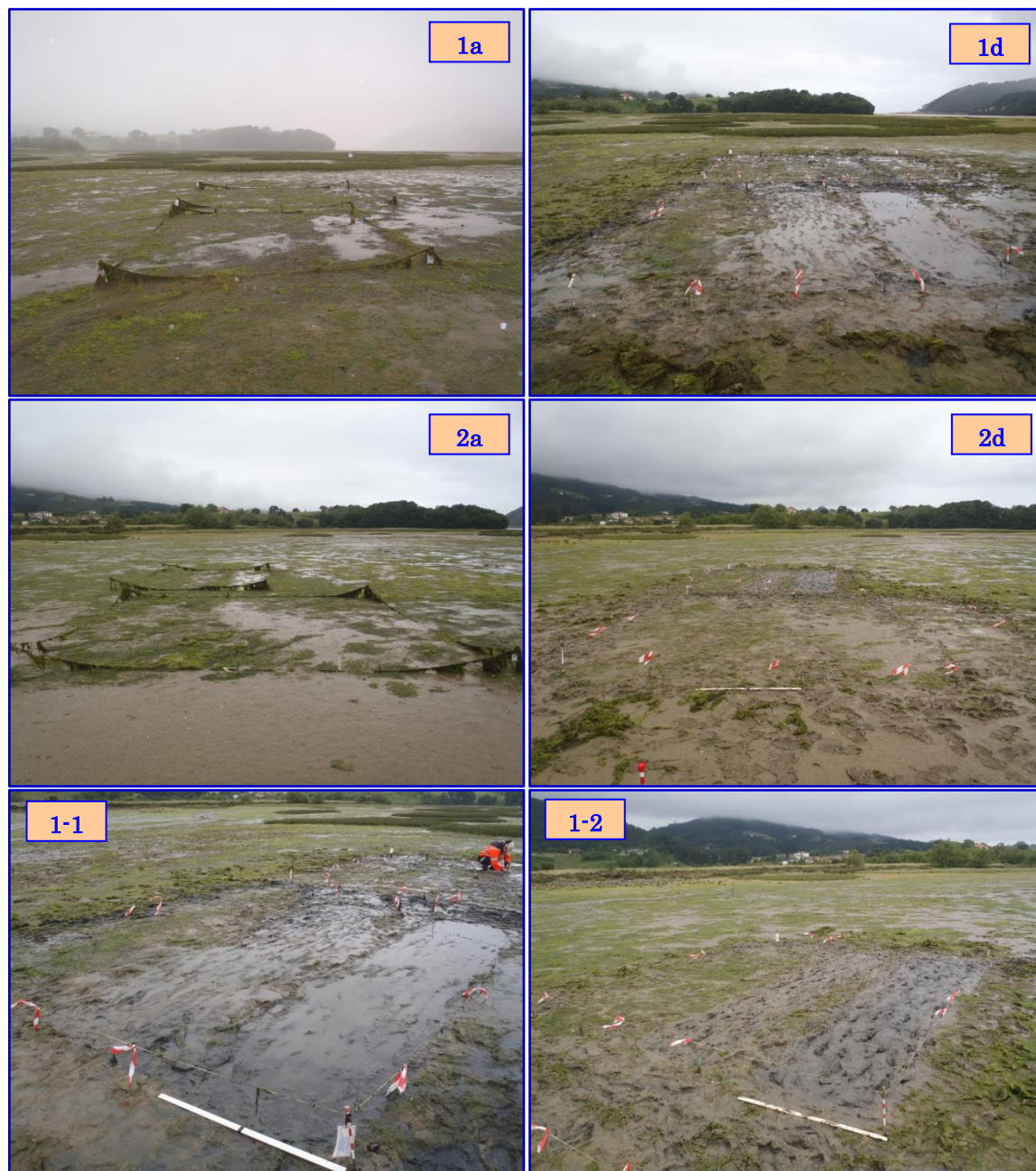




**Figura 72.-** Parcelas de experimentos, mes 1 (31 de mayo de 2013). Antes (1a y 2a) y después (1d y 2d) de la limpieza de algas. Parcelas del experimento del pisoteo después de ejercer la presión en los pasillos C y D arenosos (1-1) y fangosos (1-2).

El día 4 de julio (mes 2), en primer, lugar se realizaron los cálculos de densidad en cada uno de los pasillos y la recogida de muestras de pradera para las medidas biométricas y biomásas en laboratorio. Posteriormente, se acometió la presión correspondiente al mes 2 del

experimento del pisoteo (parcelas 1-1 y 1-2): 20 vueltas en los pasillos B y 50 vueltas en los pasillos C (Figura 73). Se volvieron a observar acumulaciones de algas verdes (*Ulva* sp.) dentro de las parcelas y en las estructuras y se procedió a su limpieza.



**Figura 73.-** Parcelas de experimentos, mes 2 (4 de julio de 2013). Antes (1a y 2a) y después (1d y 2d) de la limpieza de algas. Parcelas del experimento del pisoteo después de ejercer la presión en los pasillos C y D arenoso (1-1) y fangoso (1-2).



El día 2 de agosto se acometió la presión correspondiente al mes 3 del experimento del pisoteo (parcelas 1-1 y 1-2): 20 vueltas en los pasillos B y 50 vueltas en los pasillos C (**Figura 74**). Se volvieron a observar acumulaciones de algas verdes (*Ulva* sp.) dentro de las parcelas y en las estructuras y se procedió a su limpieza.



**Figura 74.-** Parcelas de experimentos, mes 3 (2 de agosto de 2013). Antes (1a y 2a) y después (1d y 2d) de la limpieza de algas. Parcelas del experimento del pisoteo después de ejercer la presión en los pasillos C y D arenoso (1-1) y fangoso (1-2).

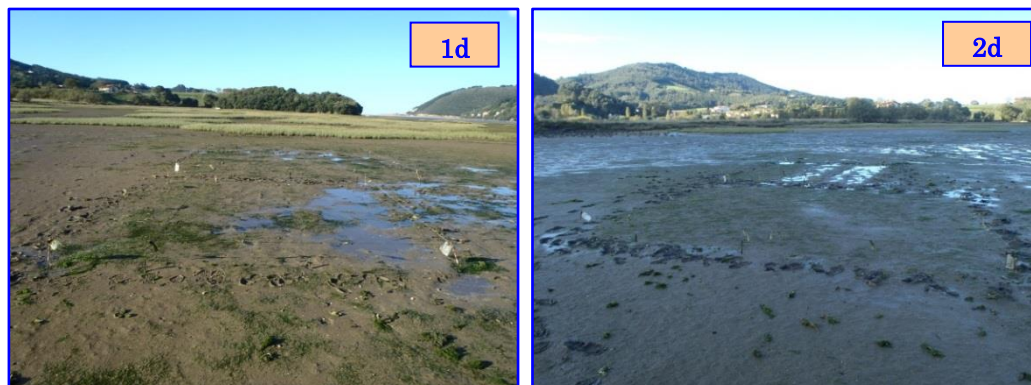


El día 5 de septiembre (mes 4), se calculó la densidad en cada uno de los pasillos y se recogieron muestras para las medidas biométricas y biomásas en laboratorio. Posteriormente, se ejerció la presión correspondiente al mes 4 del experimento del pisoteo (parcelas 1-1 y 1-2): 20 vueltas en los pasillos B y 50 vueltas en los pasillos C (Figura 75). Se volvieron a observar acumulaciones de algas verdes (*Ulva* sp.) en las parcelas y estructuras, y se procedió a su limpieza. Con esto finalizó la fase de las presiones de este experimento.



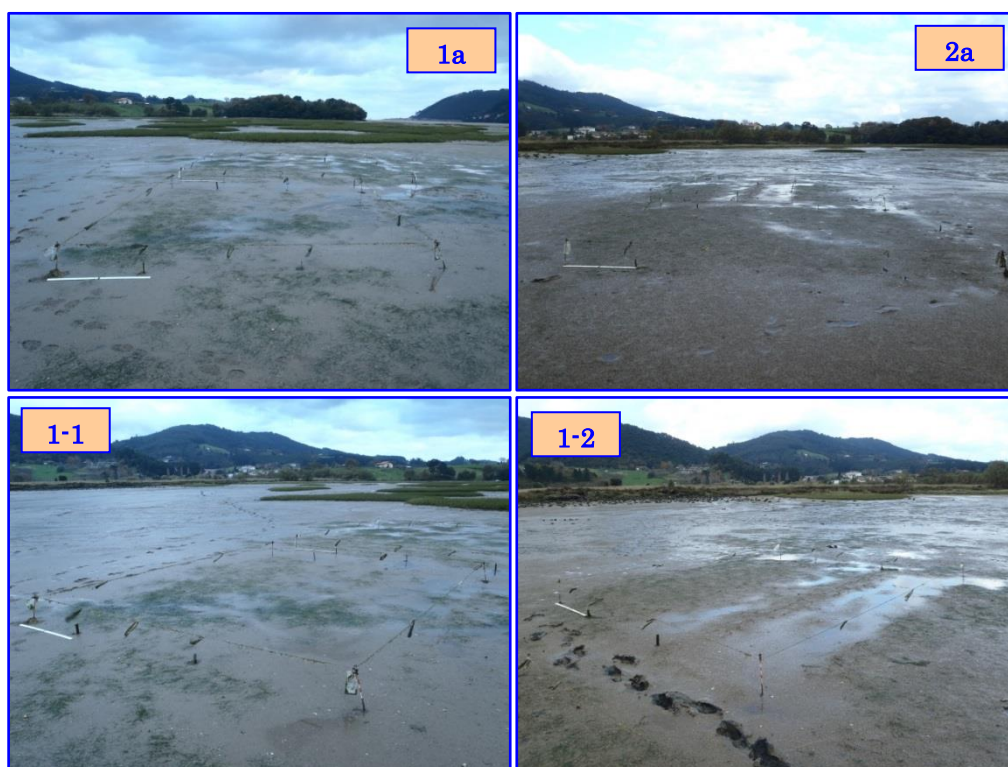
**Figura 75.-** Parcelas de experimentos, mes 4 (5 de septiembre de 2013). Antes (1a y 2a) y después (1d y 2d) de la limpieza de algas. Parcelas del experimento del pisoteo después de ejercer la presión en los pasillos C y D arenoso (1-1) y fangoso (1-2).

El día 26 de octubre (mes 5-6) se supervisó la zona y se realizaron labores de mantenimiento y limpieza de la estructuras (**Figura 76**).



**Figura 76.-** Aspecto de las parcelas de experimentos en el mes 5-6 (26 de octubre de 2013) después de las labores de limpieza: 1d-parcela arenosa; 2d-parcela fangosa. Esta vez no se han encontrado importantes acúmulos de algas.

El día 2 de diciembre (mes 7) se realizaron los cálculos de densidad en cada uno de los pasillos y se recogieron las muestras de pradera para las medidas biométricas y biomásas en laboratorio (**Figura 77**).



**Figura 77.-** Fotografías superiores: aspecto general de cada zona de experimentos (1a arenosa y 2a fangosa), mes 7 (2 de diciembre de 2013).: esta vez no se han encontrado acúmulos de algas. Fotografías inferiores: parcelas del experimento del pisoteo (han transcurrido 3 meses desde la última presión: 1-1 parcela arenosa y 1-2 parcela fangosa).

#### 4.4.4.3 Resultados

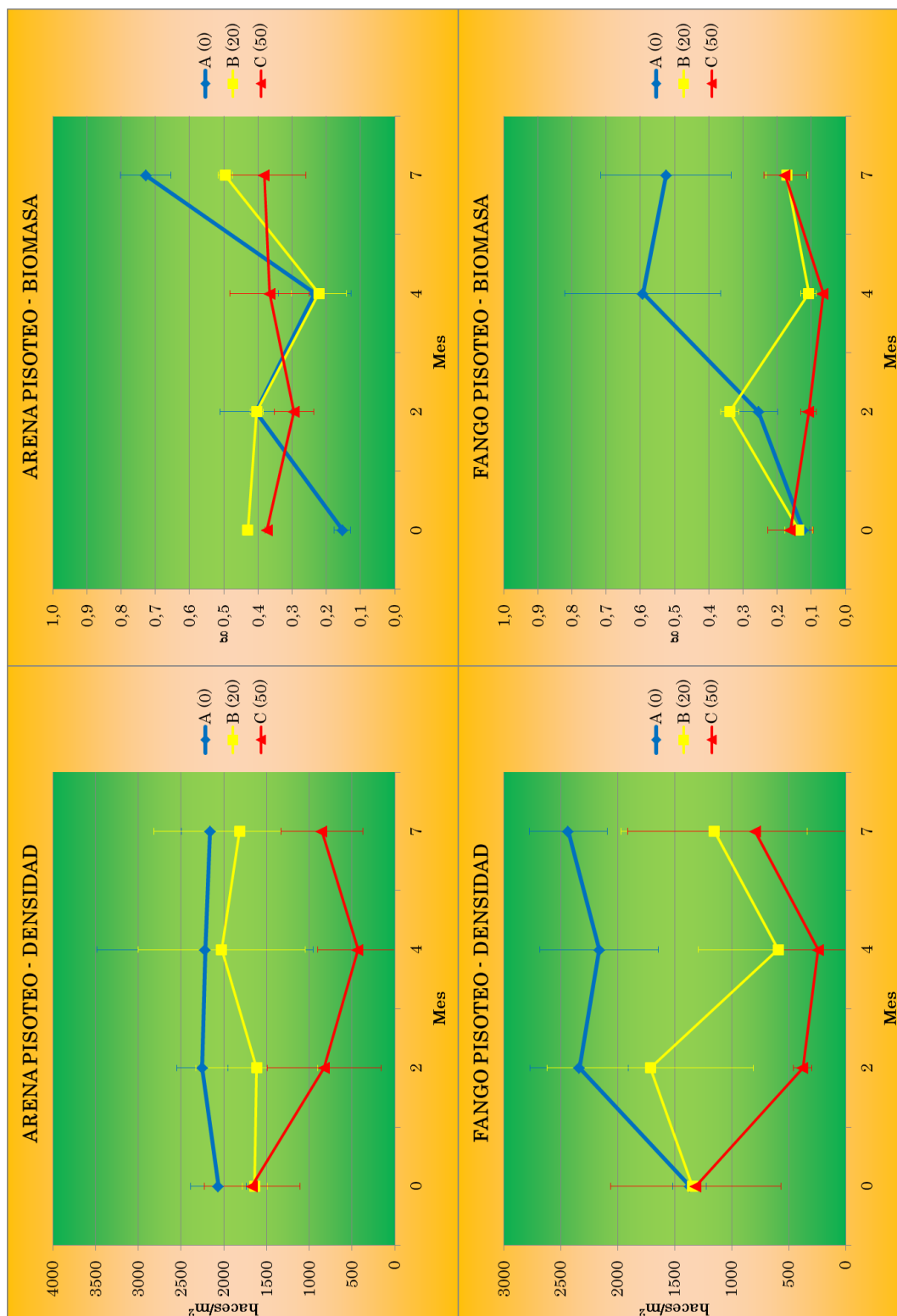
A continuación se presentan las tablas y figuras con los resultados obtenidos para los distintos parámetros medidos (densidad de haces, biomasa total, biomasa aérea/subterránea, longitud de la hoja más larga, anchura de la hoja más larga, número de hojas/haz) en cada una de las parcelas (arenosa y fangosa), en cada experimento (pisoteo y marisqueo) y en cada uno de los meses (0, 1, 2, 4 y 7) que ha durado el experimento: densidad de haces.

Tal y como la densidad sí puede considerarse representativa del pasillo correspondiente (porque siempre se medía en las mismas cuadrículas), la biomasa no lo puede ser, por la estrategia de toma de muestras llevada a cabo: al presentar los pasillos gran heterogeneidad de manchas siempre se buscaban cuadrículas con importante densidad de hojas y, además, al ser un método destructivo no se podía medir siempre en la misma cuadrícula. No obstante, el objetivo de la biomasa no es usar sus valores totales sino la relación entre biomasa aérea/biomasa subterránea e intentar identificar la posible desviación de recursos energéticos o estrategia diferencial de crecimiento como respuesta a la alteración.

**Tabla 8.** Número de haces utilizados a la hora de contar las hojas/haz y medir la longitud y anchura de la hoja más larga en cada uno de los pasillos (A, B, C, D) de cada parcela (Arena, Fango) correspondientes a cada experimento (Pisoteo, Marisqueo) y mes (0, 2, 4, 7). Corresponden a todos los haces en buen estado recogidos en cada muestra de 10x10 cm<sup>2</sup>.

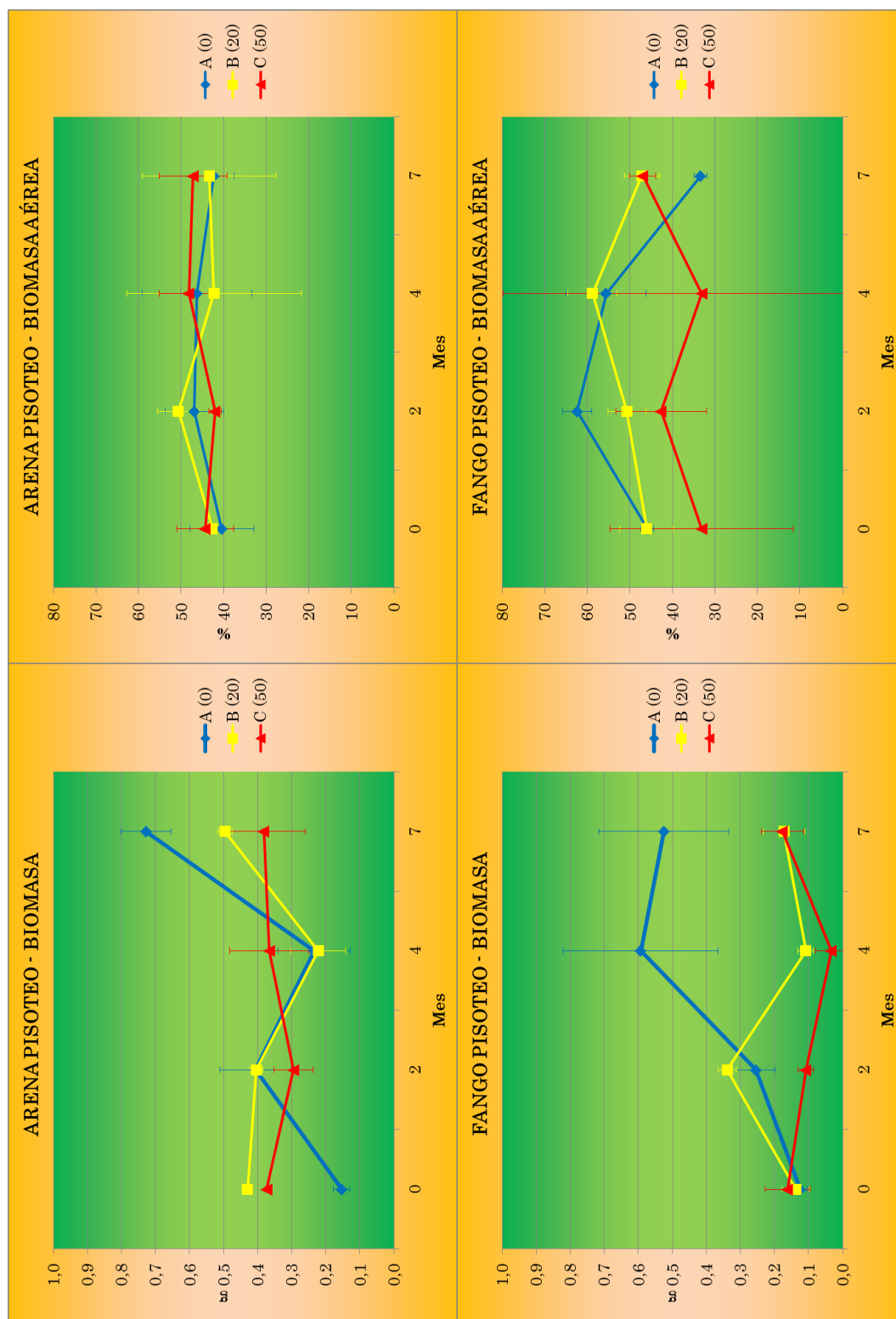
|                              |          | Arena |         |         |         | Fango |         |         |         |
|------------------------------|----------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|
|                              |          | t=0   | t=2 mes | t=4 mes | t=7 mes | t=0   | t=2 mes | t=4 mes | t=7 mes |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)    | 14    | 23      | 22      | 54      | 14    | 16      | 25      | 22      |
|                              |          | 22    | 39      | 30      | 42      | 18    | 12      | 33      | 49      |
|                              | B (20)   | 38    | 41      | 25      | 48      | 22    | 20      | 8       | 13      |
|                              |          | 20    | 33      | 25      | 49      | 17    | 26      | 15      | 20      |
|                              | C (50)   | 28    | 26      | 34      | 49      | 36    | 7       | 0       | 9       |
|                              |          | 30    | 13      | 30      | 24      | 26    | 7       | 6       | 16      |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)    | 9     | 21      | 49      | 34      | 22    | 39      | 43      | 40      |
|                              |          | 22    | 23      | 23      | 21      | 15    | 24      | 29      | 39      |
|                              | B (20)   | 25    | 24      | 28      | 56      | 31    | 16      | 15      | 13      |
|                              |          | 16    | 24      | 49      | 31      | 12    | 10      | 23      | 45      |
|                              | C (50)   | 26    | 36      | 33      | 25      | 14    | 53      | 55      | 25      |
|                              |          | 12    | 18      | 25      | 23      | 10    | 32      | 33      | 24      |
|                              | D (20x4) | 13    | 34      | 26      | 26      | 14    | 44      | 35      | 21      |
|                              |          | 37    | 15      | 29      | 54      | 18    | 25      | 19      | 42      |



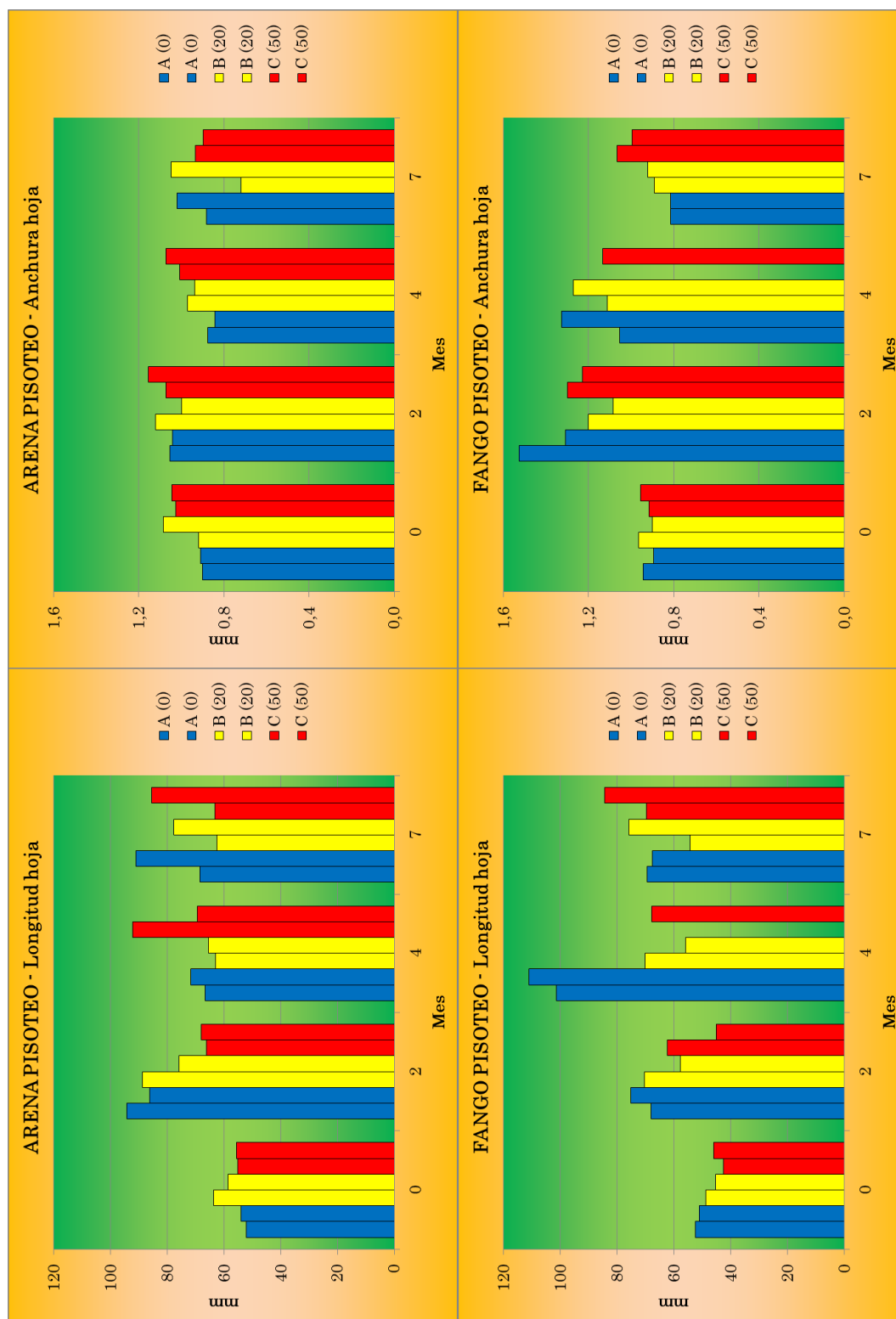


**Figura 78.-** Valores promedio de densidad de haces (haces/m²) y biomasa total (g en peso seco en 100 cm²) en cada uno de los pasillos de cada parcela (arena y fango) correspondiente al experimento del pisoteo. Pasillo A (control), B (con 20 vueltas de pisoteo) y C (con 50 vueltas de pisoteo). Barras=desviación estándar.

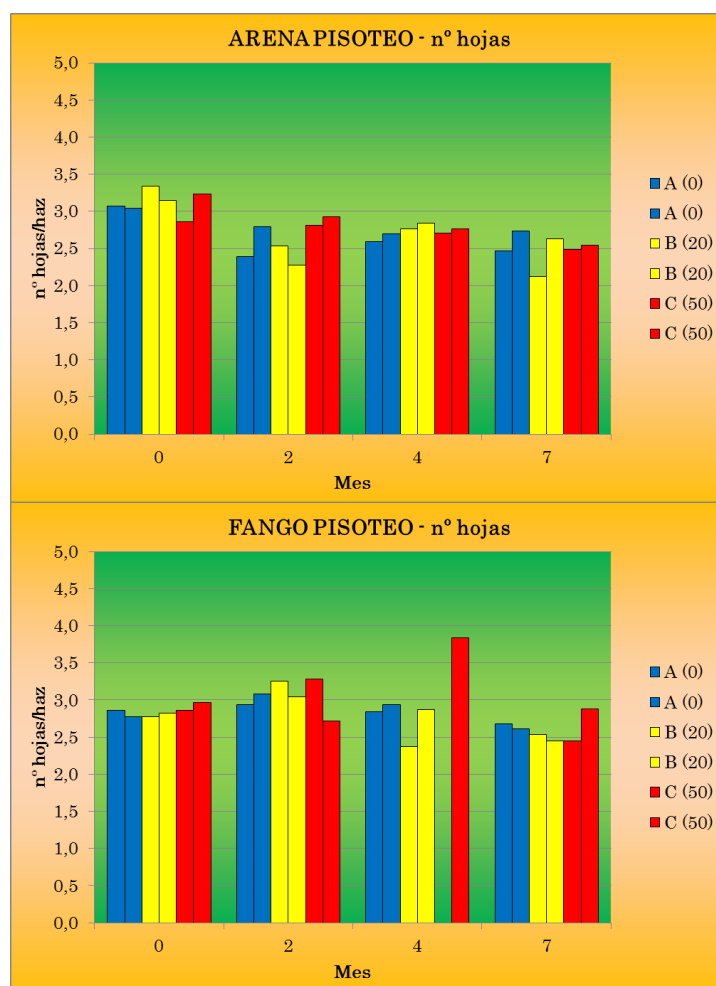




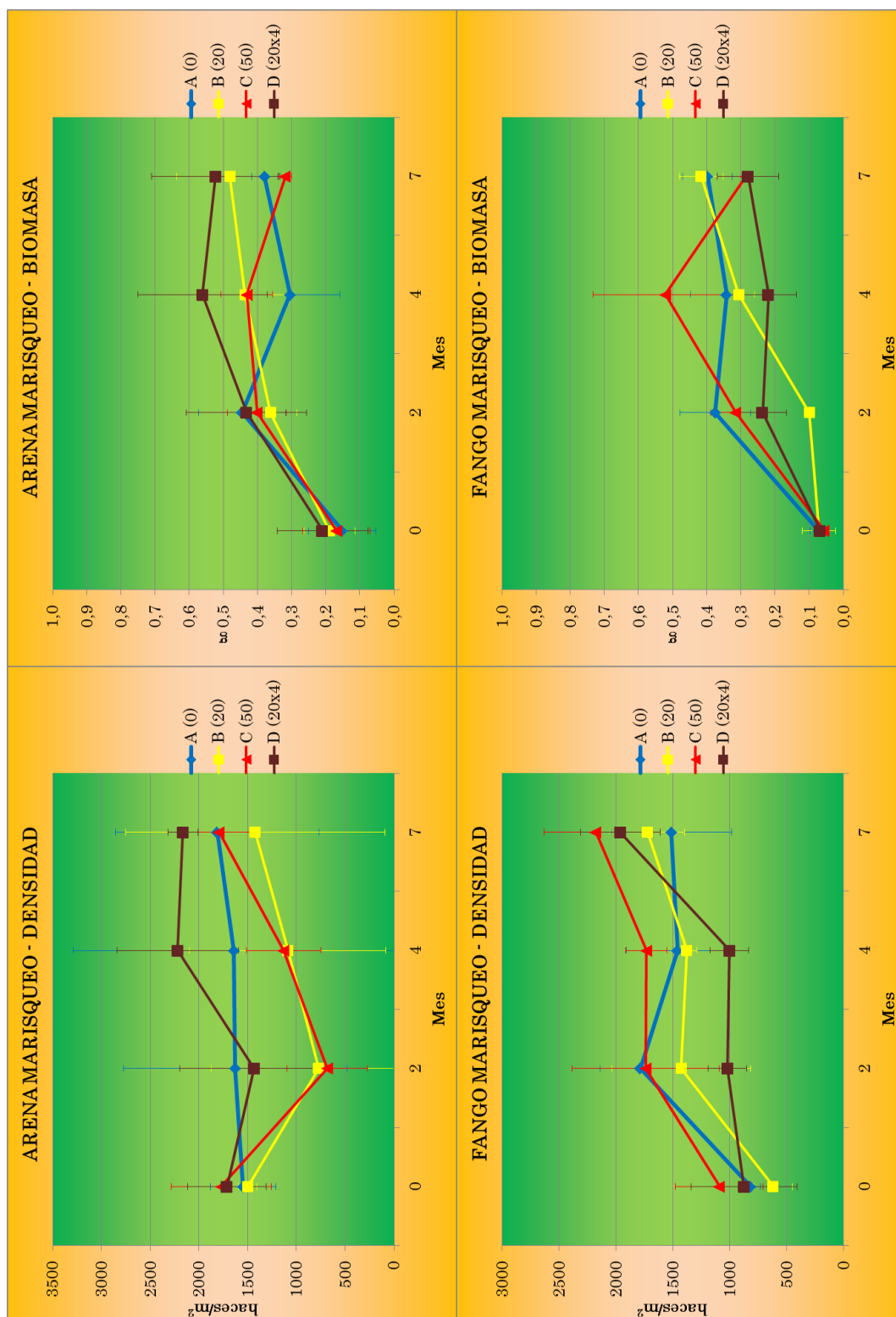
**Figura 79.-** Valores promedio de biomasa total (g en peso seco en 100 cm<sup>2</sup>) y el porcentaje correspondiente a la parte aérea en cada uno de los pasillos de cada parcela (arena y fango) correspondiente al experimento del pisoteo. Pasillo A (control), B (con 20 vueltas de pisoteo) y C (con 50 vueltas de pisoteo). Barras=desviación estándar.



**Figura 80.-** Longitud (mm) y anchura (mm) de la hoja más larga de cada haz en cada uno de los pasillos de cada parcela (arena y fango) correspondiente al experimento del pisoteo. 2 réplicas. Pasillo A (control), B (con 20 vueltas de pisoteo) y C (con 50 vueltas de pisoteo).

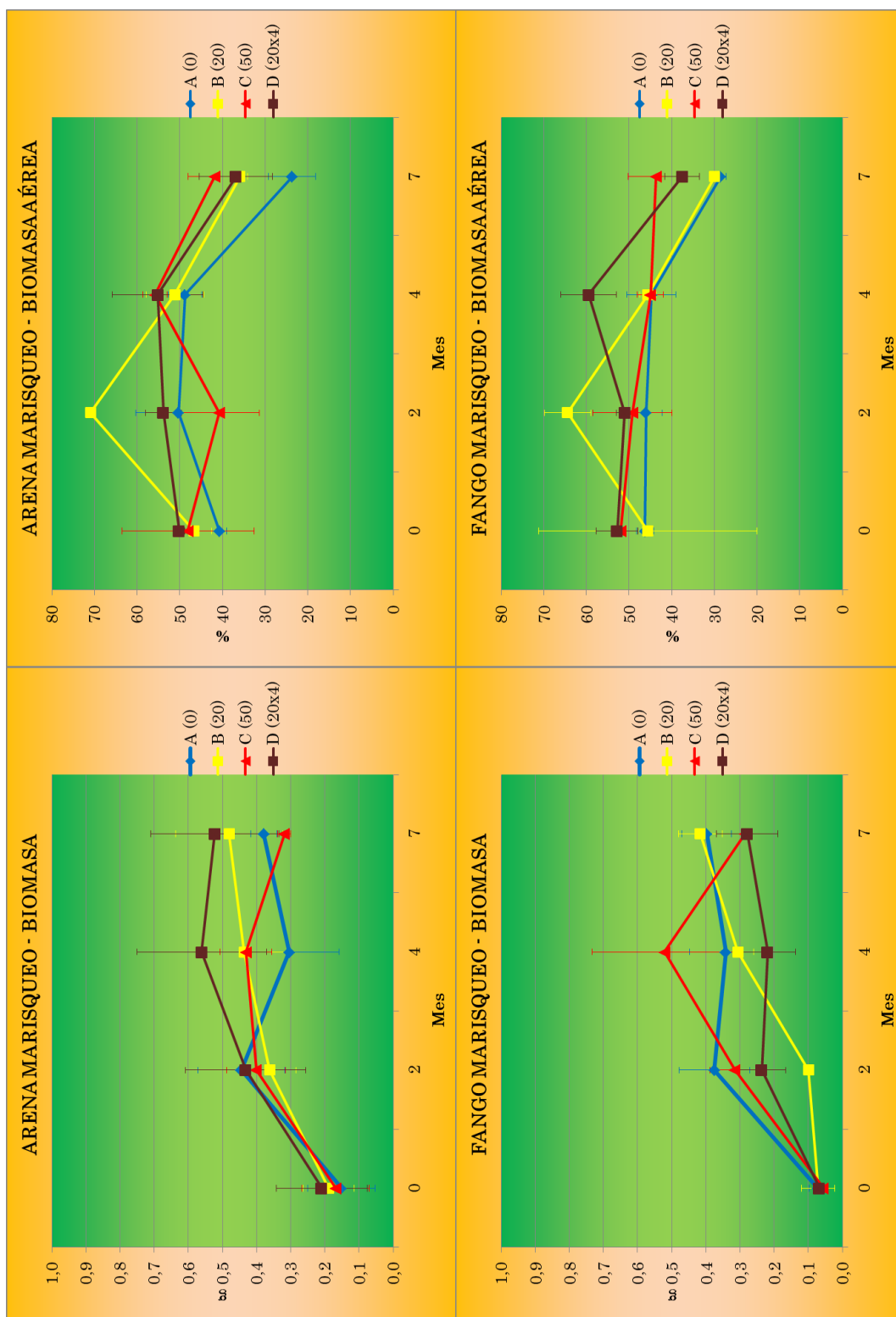


**Figura 81.-** Número de hojas por haz en cada uno de los pasillos de cada parcela (arena y fango) correspondiente al experimento del pisoteo. 2 réplicas. Pasillo A (control), B (con 20 vueltas de pisoteo) y C (con 50 vueltas de pisoteo).

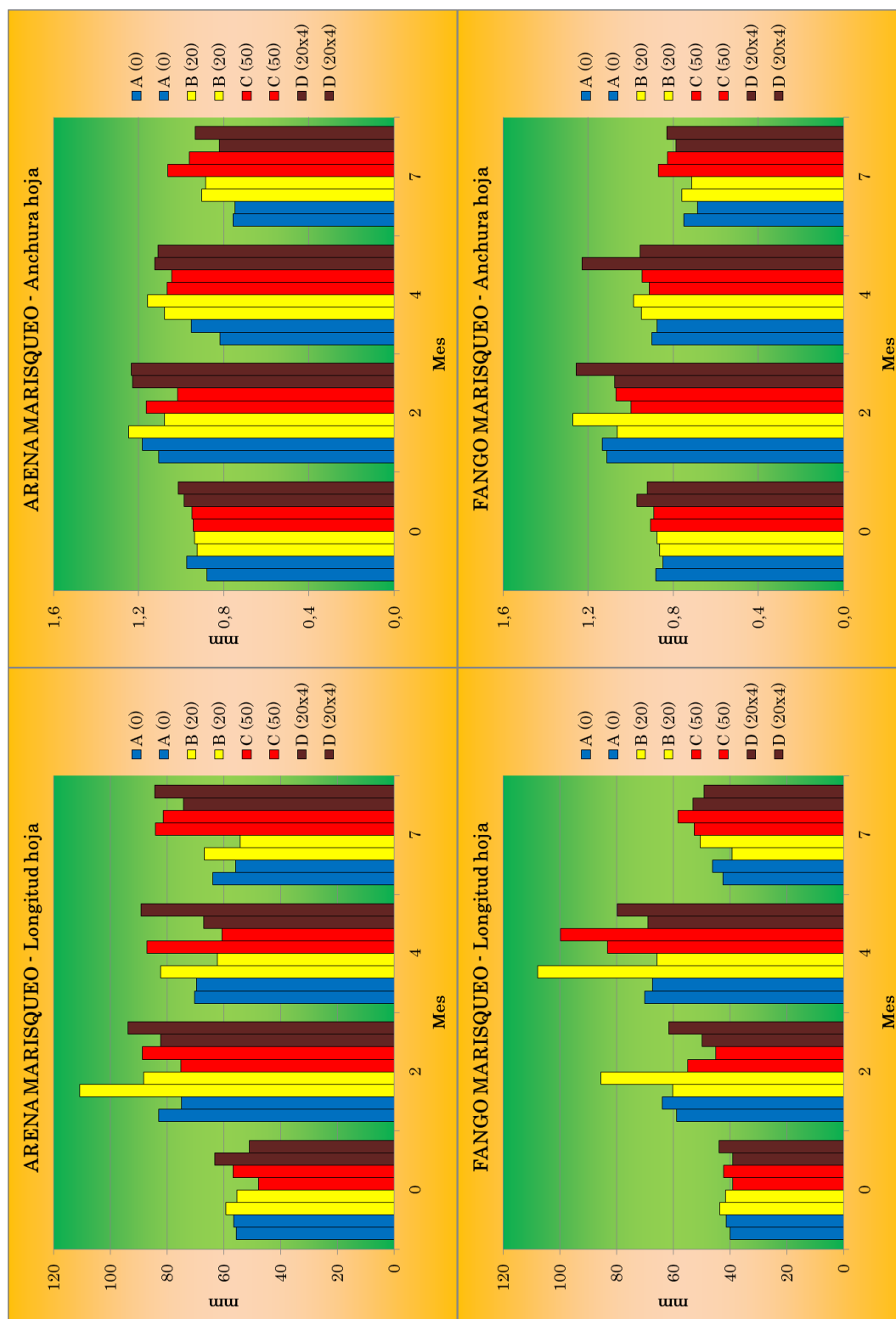


**Figura 82.-** Valores promedio de densidad de haces (haces/m<sup>2</sup>) y biomasa total (g en peso seco en 100 cm<sup>2</sup>) en cada uno de los pasillos de cada parcela (arena y fango) correspondiente al experimento del marisqueo. Pasillo A (control), B (20 azadas en t=0), C (50 azadas en t=0) y D (20 azadas en las primeras 4 semanas). Barras=desviación estándar.

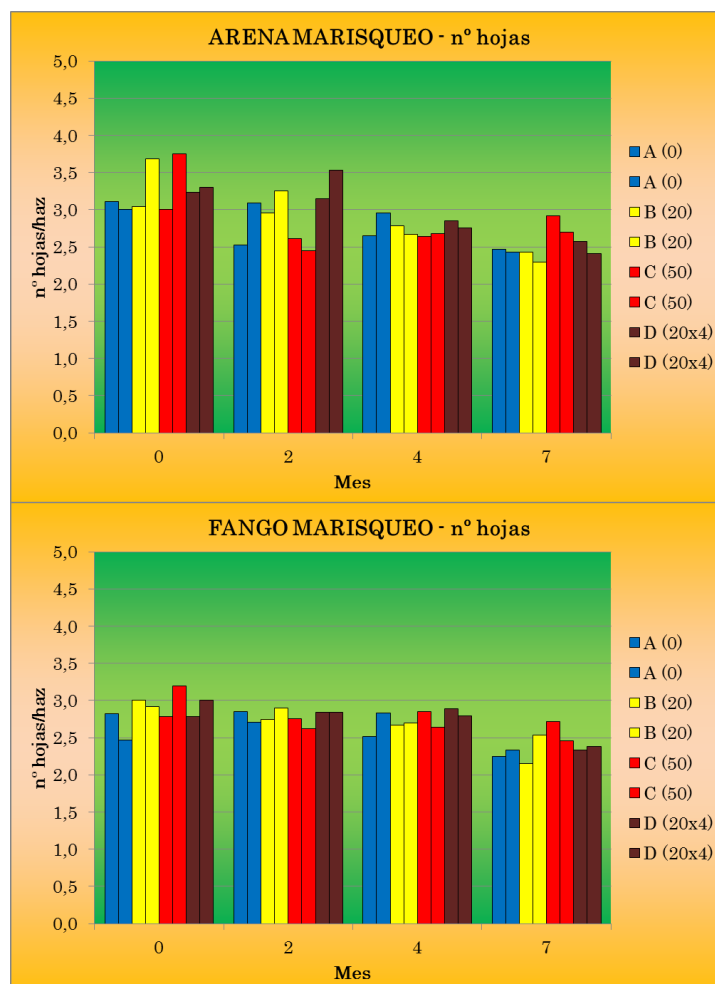




**Figura 83.-** Valores promedio de biomasa total (g en peso seco en 100 cm<sup>2</sup>) y el porcentaje correspondiente a la parte aérea en cada uno de los pasillos de cada parcela (arena y fango) correspondiente al experimento del marisqueo. Pasillo A (control), B (20 azadas en t=0), C (50 azadas en t=0) y D (20 azadas en las primeras 4 semanas). Barras=desviación estándar.



**Figura 84.-** Longitud (mm) y anchura (mm) de la hoja más larga de cada haz en cada uno de los pasillos de cada parcela (arena y fango) correspondiente al experimento del marisqueo. 2 réplicas. Pasillo A (control), B (20 azadas en t=0), C (50 azadas en t=0) y D (20 azadas en las primeras 4 semanas).



**Figura 85.-** Número de hojas por haz en cada uno de los pasillos de cada parcela (arena y fango) correspondiente al experimento del marisqueo. 2 réplicas. Pasillo A (control), B (20 azadas en t=0), C (50 azadas en t=0) y D (20 azadas en las primeras 4 semanas)

Analizando el número de haces en buenas condiciones que se han obtenido en cada muestra y cuyas hojas se han podido medir, se observa que se ha obtenido un mínimo de 10 haces en todos los pasillos excepto en el pasillo A (t=0 en la arena) del experimento del marisqueo, en el pasillo B (t=4 en el fango) y pasillo C (t=2, 4 y 7 en el fango), estos dos últimos en el experimento del pisoteo. En el caso del pasillo A, al ser el momento inicial, no se le podría achacar a ninguna presión; pero en los casos del B y C seguramente son consecuencia de las presiones efectuadas. De aquí, de manera indirecta, se puede intuir que la presión del pisoteo ha afectado de manera más patente que el marisqueo, y a su vez, en el fango más que en la arena (Tabla 8).

A continuación se analizan las figuras obtenidas en este apartado, subrayando las diferencias más claras observadas con respecto a los controles (pasillos A de cada experimento), que se supone reflejan el desarrollo normal de la pradera, libres de estas dos presiones que se intentan evaluar en el presente capítulo.

En el experimento del pisoteo se observa un distinto comportamiento de la densidad (es decir, síntomas de alteración) tras la ejecución de una elevada intensidad de presión (pasillo C) tanto en fango como en arena ya a partir del segundo mes, mientras que con baja intensidad de presión (pasillo B) solamente se refleja un distinto comportamiento en el fango, y a partir del cuarto mes. En términos de biomasa, solamente se ven diferencias en el fango, a partir del segundo mes (tras elevada presión) y a partir del cuarto mes (en el caso de baja presión) (Figura 78). En cuanto a los porcentajes de biomasa de las fracciones aérea/subterránea no se ven diferencias claras (Figura 79), quizás un distinto comportamiento en el mes 7, cuando en el control disminuye la fracción aérea mientras que en el pasillo de elevado pisoteo aumenta. En longitud de hojas se ve cierta diferencia (representado como hojas más cortas) en arena (mes 2 para ambas intensidades) y en fango (baja intensidad en mes 4 y elevada intensidad en meses 2 y 4). En la anchura de hojas no se ve nada claro, quizás una menor anchura en fango (mes 2) para ambas presiones (Figura 80). El número de hojas por haz tampoco muestra nada relevante de manera clara (Figura 81).

En el experimento del marisqueo, en la arena, la densidad es menor en los meses 2 y 4 tras la ejecución de una presión inicial puntual (pasillos B y C), mientras que en el fango, la densidad es menor en los mismos meses (2 y 4) pero para la presión continuada (pasillo D). En términos de biomasa, se ven diferencias (mayor biomasa) en la arena a partir del cuarto mes en el pasillo de la presión continuada, y en el fango en el segundo mes tras una baja presión (Figura 82). En cuanto a los porcentajes de biomasa de las fracciones aérea/subterránea se observa una mayor proporción de biomasa aérea en arenas en el segundo mes tras baja presión inicial, y también mayor biomasa aérea en fangos en el segundo mes tras baja presión inicial y en el cuarto mes tras presión continuada (Figura 83). En longitud de hojas se ven hojas más largas en arena en el mes 7 en caso de presión inicial elevada y presión continuada, mientras que en fango las hojas son más largas en el cuarto mes para una presión inicial elevada. En la anchura de hojas no se ve ninguna diferencia (Figura 84), ni tampoco en el número de hojas por haz (Figura 85).

Tras la lectura realizada de los resultados obtenidos se obtienen las siguientes conclusiones:



- En los experimentos realizados se ha visto un mayor impacto en el pisoteo que en el marisqueo. Sin embargo, no se debe interpretar que el pisoteo daña más que el marisqueo, dado que los experimentos diseñados para ambos fines han sido diferentes y la comparabilidad no es total.
- El efecto del pisoteo es mayor en el fango que en la arena.
- Una elevada intensidad de pisoteo en la arena afecta en la densidad de haces a partir del segundo mes, y aún se mantiene en el séptimo mes.
- Una elevada intensidad de pisoteo en el fango afecta en la integridad física, densidad y biomasa de haces a partir del segundo mes, y aún se mantiene en el séptimo mes; también en la longitud de las hojas durante los meses 2 y 4.
- Una baja intensidad de pisoteo en el fango afecta en la densidad y biomasa de haces a partir del cuarto mes, y aún se mantiene en el séptimo mes.
- Una baja intensidad de marisqueo en la arena afecta en la densidad de haces durante el segundo y cuarto mes.
- Una elevada intensidad de marisqueo en la arena afecta en la densidad de haces durante el segundo y cuarto mes.
- Una continuada presión de marisqueo en la arena afecta en la biomasa de haces a partir del cuarto mes, y aún se mantiene en el séptimo mes.
- Una continuada presión de marisqueo en el fango afecta en la densidad de haces durante el segundo y cuarto mes.

En estas conclusiones no se han tenido en cuenta aquellas diferencias que se han visto en un único mes, que perfectamente han podido deberse a la presión ejercida y han podido recuperarse en un corto plazo. Por otro lado, debe tenerse en cuenta la influencia que ha podido tener en los resultados la época del experimento: las características fisiológicas de la planta varían a lo largo del año y, probablemente, tanto el efecto de la presión como su recuperación habrían sido diferentes en el caso de haber llevado a cabo el experimento durante otros meses. Esto se podrá confirmar iniciando el mismo experimento en una distinta época del año, por ejemplo, en noviembre.

#### 4.4.5 Consulta bibliográfica

A raíz de la consulta bibliográfica sobre la zona, se ha accedido a los informes sobre migración postnupcial de la espátula (*Platalea leucorodia*) en Urdaibai. En dichos trabajos se ha registrado la presencia de mariscadores en la zona intermareal de Urdaibai objeto de estudio entre el 21 de agosto y 10 de octubre, con censos cada hora durante el día; se dispone de dicha información entre 2002 y 2012.

A partir de las tablas de los citados informes se ha extraído la siguiente información:

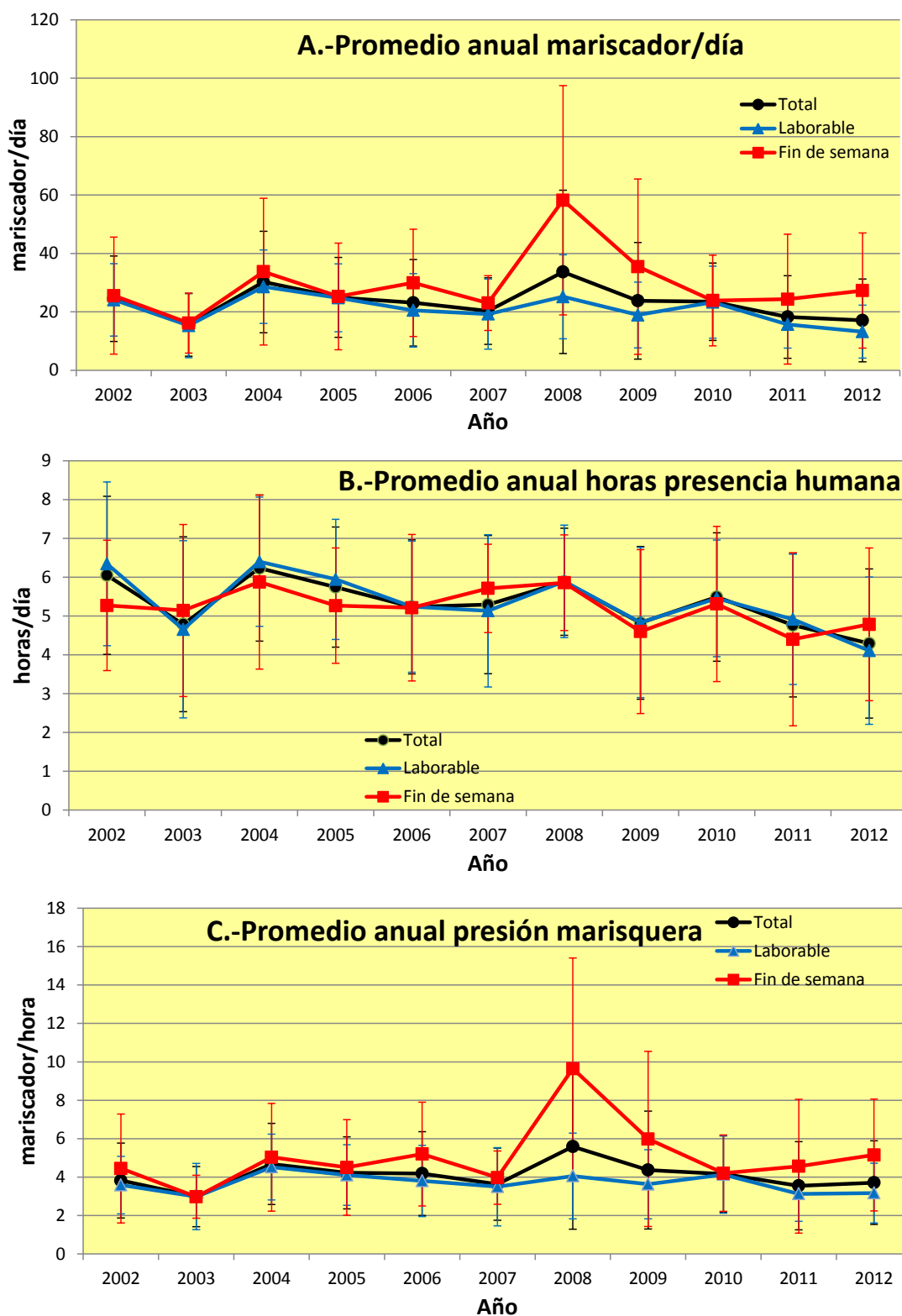
- Número de mariscadores cada hora. Ante la imposibilidad de poder distinguir la identidad de los mariscadores, se considera mariscador a la presencia humana durante 1 hora. De esta manera, cabe la posibilidad de computarse “erróneamente” como dos mariscadores la presencia de un único durante dos horas (mariscador/día); pero no importa, porque al fin y al cabo no interesa saber la identidad del mariscador sino el cómputo del esfuerzo marisquero realizado en su conjunto. De aquí, sumando el número de mariscadores de cada hora se obtiene el dato de mariscadores/día. Así, 20 mariscadores/día puede obtenerse de la presencia de 10 mariscadores faenando dos horas cada uno, o de la presencia de 5 mariscadores faenando 4 horas cada uno.
- Número de horas del día con presencia humana (horas/día);
- Y presión marisquera (a partir de la división entre el nº de mariscadores y las horas con presencia humana) que ofrece una idea de la presión a la que se ve sometida la zona (mariscador/hora).

Si bien es una información sesgada porque solamente se limita a un periodo anual (ligeramente inferior a 2 meses), resulta de gran utilidad como base a partir de la cual poder realizar una estimación de la afluencia humana a lo largo de todo el año. Teniendo en cuenta la citada limitación, las cantidades obtenidas corresponderán a una estimación con cierto grado de incertidumbre. Tal y como se refleja en las Figura 86 y Figura 87, la afluencia humana no es regular en las diferentes épocas del año, ni entre los diferentes años, y depende de multitud de factores: principalmente, de la meteorología (el buen tiempo que predomina en verano invita a una mayor afluencia); pero también del carácter festivo o laborable de la fecha en cuestión (tanto en fines de semana como en periodo vacacional, la afluencia de personas es mayor), del coeficiente de marea (un mayor coeficiente permite la llegada a zonas menos accesibles), de la hora de la bajamar (cuando la bajamar coincide demasiado temprano, demasiado tarde o de noche, la afluencia diaria es menor), de la

tipología del usuario (el paseo suele ser menos duradero que la extracción de algún recurso), etc.). Otro dato a tener en cuenta es la actividad marisquera: la veda de la almeja acaba el 30 de septiembre, dentro del periodo de “muestreo”, por lo que puede haber una presión diferencial a partir del 1 de octubre (la correspondiente a los mariscadores profesionales y recreativos). De esta manera, resulta imposible medir la variabilidad de cada uno de estos factores y cuantificar su influencia en la estimación.

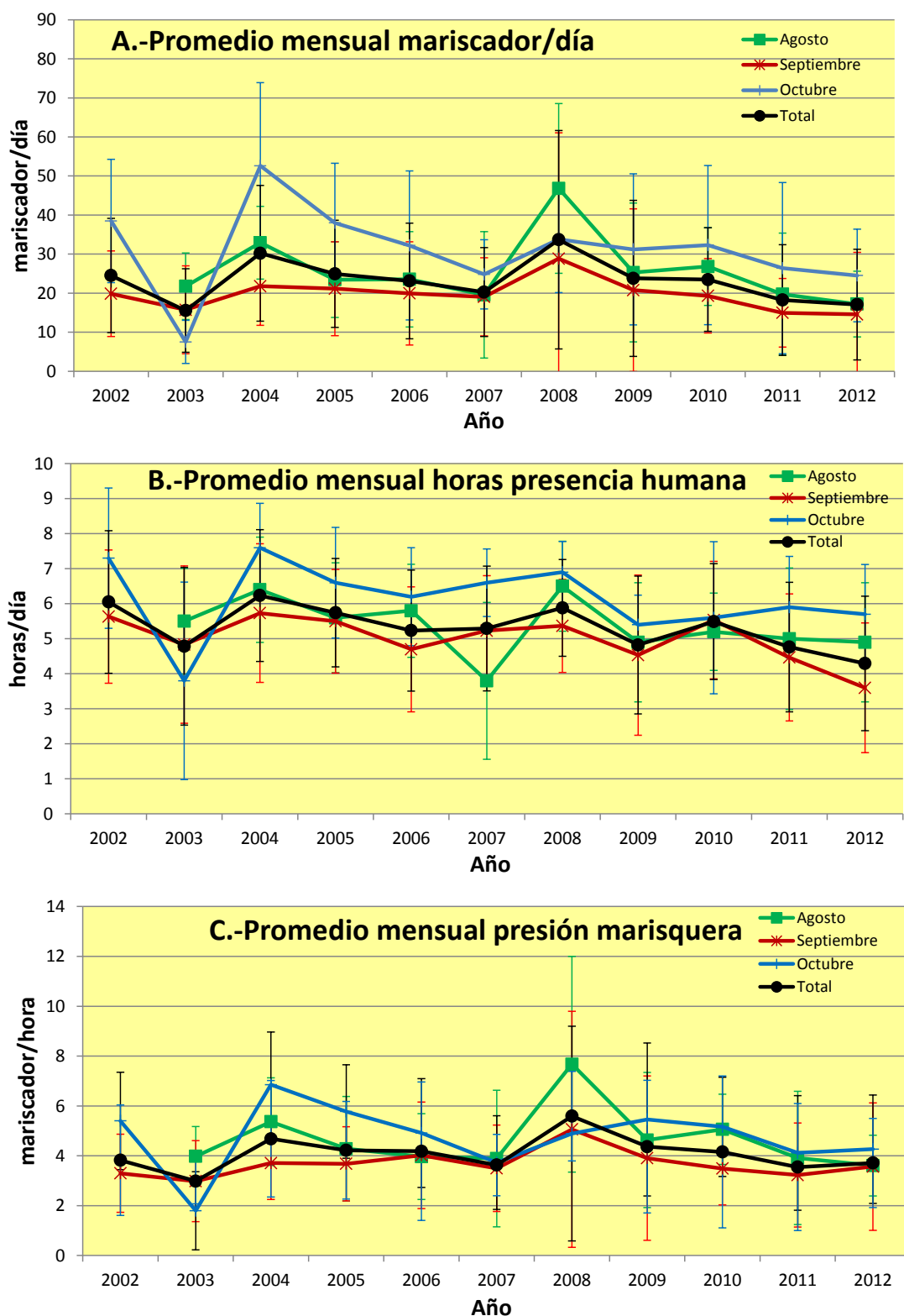
En este contexto, a pesar de que los datos proceden de un corto periodo del año, es cierto que los muestreos han abarcado fechas de carácter muy dispar como días laborables, fines semana, periodo vacacional, periodo de marisqueo, bajamares a distintas horas, diferentes coeficientes de marea, etc. Por tanto, en el contexto de este trabajo, se asumirá que todas estas diferencias se compensan entre sí y que la afluencia humana en distintas épocas del año es igual al promedio obtenido en estos informes mencionados anteriormente. De esta manera, se realizará la extrapolación a la escala anual a partir de la información promedio obtenida en el periodo acotado en los citados trabajos.

Del análisis de las Figura 86 y Figura 87 puede extraerse la siguiente información general: a esta zona de Axpe-San Kristobal acuden unos 20-30 mariscadores al día permaneciendo en ella entre 4 y 6 horas; durante la semana, hay una mayor cantidad de mariscadores los fines de semana; durante los distintos meses, se ve una mayor afluencia de mariscadores en agosto (por el periodo vacacional) y en octubre (por la influencia de mariscadores profesionales); si bien la presencia humana durante los últimos años presenta una tendencia ligeramente descendente, la presión marisquera se mantiene en valores similares, debido a una paralela disminución del número de mariscadores; en el año 2012 se ha registrado un promedio diario de 17,1 mariscadores/día y una presencia media de 4,3 horas/día.



**Figura 86.-** Valores promedio anuales y desviación estándar (barras verticales) entre 2002 y 2012 de: (A) número de mariscadores por día, (B) número de horas con presencia humana y (C) presión marisquera. Información total y desglosada por día laborable y fin de semana.





**Figura 87.-** Valores promedio anuales y desviación estándar (barras verticales) entre 2002 y 2012 de: (A) número de mariscadores por día, (B) número de horas con presencia humana y (C) presión marisquera. Información total y desglosada por meses.

En definitiva, a la hora de estimar la presencia humana con el fin de evaluar el impacto del marisqueo sobre las praderas marinas, se aplican los valores promedio registrados en los informes sobre migración postnupcial de la espátula en Urdaibai (Garaita, 2012). Dichos valores se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Valores promedio de la presencia de mariscadores en la zona de Kanala y Axpe-San Kristobal del estuario del Oka.

| Promedio anual |                     |                   |                                  |                                       |                              |
|----------------|---------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Año            | nº días muestreados | nº mariscador/día | presencia humana<br>nº horas/día | presión marisquera<br>mariscador/hora | nº días sin presencia humana |
| 2002           | 40                  | 24,5              | 6,1                              | 3,8                                   | 1,0                          |
| 2003           | 52                  | 15,5              | 4,8                              | 3,0                                   | 1,0                          |
| 2004           | 51                  | 30,2              | 6,2                              | 4,7                                   | 1,0                          |
| 2005           | 51                  | 24,9              | 5,7                              | 4,2                                   | 0,0                          |
| 2006           | 51                  | 23,1              | 5,2                              | 4,2                                   | 0,0                          |
| 2007           | 51                  | 20,3              | 5,3                              | 3,6                                   | 2,0                          |
| 2008           | 51                  | 33,7              | 5,9                              | 5,6                                   | 0,0                          |
| 2009           | 51                  | 23,8              | 4,8                              | 4,4                                   | 3,0                          |
| 2010           | 51                  | 23,5              | 5,5                              | 4,2                                   | 0,0                          |
| 2011           | 51                  | 18,2              | 4,8                              | 3,5                                   | 3,0                          |
| 2012           | 51                  | 17,1              | 4,3                              | 3,7                                   | 1,0                          |
| Promedio       | 50,1                | 23,2              | 5,3                              | 4,1                                   | 1,1                          |
| Desv estándar  | 3,36                | 5,42              | 0,62                             | 0,68                                  | 1,14                         |

#### 4.4.6 Material y métodos

Una vez que se dispone de información de distintas fuentes, deben integrarse e interpretarse conjuntamente para poder obtener unos resultados y conclusiones útiles:

- De la información procedente de los mariscadores se extrae la **magnitud espacial o extensión de la perturbación** producida por el pisoteo y el agujereo en el medio intermareal en general y en la pradera marina en particular; es decir, la distancia y superficie pisoteada, y la superficie agujereada por un mariscador o usuario de la zona. La información de este apartado que se va usar en la integración para la evaluación del impacto del marisqueo se encuentra resumida en los Anexo I y Anexo II.
- De los experimentos se puede constatar la existencia y, en su caso, la **magnitud del daño** provocado por el pisoteo y el agujereo realizado sobre la pradera marina. La información de este apartado que se va usar en la integración procede de las conclusiones emitidas al final de dicha sección.

- De la consulta bibliográfica se obtiene información sobre la presencia humana o **intensidad de la presión**; es decir, el número de mariscadores por día u hora. La información de este apartado que se va usar en la integración para la evaluación del impacto del marisqueo se encuentra en la Tabla 9.

A la hora de evaluar el impacto se ha de tener en cuenta la limitación del detalle de la información disponible. Se sabe el número de mariscadores por hora y día, pero no se sabe su tipología: si es profesional, deportivo o incluso furtivo; o si su objetivo es la almeja o el cebo vivo; o si utiliza la azada, la “chupona”, la pala, el “caco” o la sal. La alteración provocada por cada tipología es diferente. Además, la tipología de los mariscadores es variable a lo largo del año (los periodos de veda de cada marisqueo son distintos) lo cual dificulta aún más la correcta evaluación. En definitiva, entre otros detalles, el mariscador de almeja faena durante 6 meses (frente a los 12 de cebo vivo), sus jornadas de trabajo son más largas (los de cebo vivo abandonan antes la zona, especialmente los deportivos), los mariscadores deportivos que acuden van mayoritariamente al cebo vivo, aproximadamente el 75% de las personas que acuden en un día van al cebo vivo.

No obstante, para este caso se debe establecer un “acuerdo de compromiso” para estimar el impacto de una presión dada. Por ello, en base a los datos disponibles y a la información acumulada durante estos meses de observación en campo, se ha considerado que la alteración provocada por un mariscador en una hora es la mostrada en la Tabla 10. Para obtener esta tabla se ha dado el mismo peso al marisqueo de bivalvos y al de cebo vivo (más detalles en el Anexo III). Para llevar a cabo la evaluación del impacto del marisqueo, se ha cruzado esta información de la Tabla 10 con el resultado promedio logrado en la Tabla 9, es decir, una intensidad de 23,2 mariscadores/día, una presencia humana de 5,4 horas/día y una presión de 4,1 mariscadores/hora.

**Tabla 10.** Estimaciones promediadas de distancia recorrida, superficie pisada y superficie agujereada por un mariscador dentro y fuera de la pradera de *Zostera noltii* durante una hora de su jornada marisquera en la zona de Axpe-Kanala (estuario del Oka).

| 1 mariscador en 1 hora | Distancia recorrida (m) | Superficie pisada (m²) | agujeros (m²) |
|------------------------|-------------------------|------------------------|---------------|
| No <i>Zostera</i>      | 382                     | 22,9                   | 1,7           |
| <i>Zostera</i>         | 250                     | 15,0                   | 2,0           |
| TOT                    | 632                     | 37,9                   | 3,6           |
| % No <i>Zostera</i>    | 60,4                    | 60,4                   | 45,8          |
| % <i>Zostera</i>       | 39,6                    | 39,6                   | 54,2          |

#### 4.4.7 Resultados

Teniendo en cuenta la información de la Tabla 9 y Tabla 10 se obtiene que, con la afluencia de 23,2 mariscadores/hora, en un día se recorren un total 14.641 m, se pisotean 878 m<sup>2</sup> y se levantan o remueven 84 m<sup>2</sup> de sedimento. De éstos, 5.796 m, 348 m<sup>2</sup> y 45 m<sup>2</sup> respectivamente se efectúan sobre la pradera (Tabla 11).

**Tabla 11.** Estimaciones de distancia recorrida, superficie pisada y superficie agujereada por un mariscador dentro y fuera de la pradera de *Zostera noltii* en una jornada y en distintos escenarios propuestos en base a números de días trabajados en la zona de Axpe-Kanala (estuario del Oka): año muy bueno, año bueno, año malo y año muy malo.

Alteración que se produce en un día (23,2 mar/día)

|              | Distancia (m) | Sup. pisada (m <sup>2</sup> ) | Agujeros (m <sup>2</sup> ) |
|--------------|---------------|-------------------------------|----------------------------|
| No Zostera   | 8.845         | 531                           | 38                         |
| Zostera      | 5.796         | 348                           | 45                         |
| TOT          | 14.641        | 878                           | 84                         |
| % No Zostera | 60,4          | 60,4                          | 45,8                       |
| % Zostera    | 39,6          | 39,6                          | 54,2                       |

Alteración que se produce en un año muy bueno, 353 días (faltando 1 día al mes)

|            | Distancia (m) | Sup. pisada (m <sup>2</sup> ) | Agujeros (m <sup>2</sup> ) |
|------------|---------------|-------------------------------|----------------------------|
| No Zostera | 3.122.322     | 187.339                       | 13.536                     |
| Zostera    | 2.045.966     | 122.758                       | 16.036                     |
| TOT        | 5.168.287     | 310.097                       | 29.573                     |

Alteración que se produce en un año bueno, 245 días (faltando 10 días al mes)

|            | Distancia (m) | Sup. pisada (m <sup>2</sup> ) | Agujeros (m <sup>2</sup> ) |
|------------|---------------|-------------------------------|----------------------------|
| No Zostera | 2.167.050     | 130.023                       | 9.395                      |
| Zostera    | 1.420.005     | 85.200                        | 11.130                     |
| TOT        | 3.587.055     | 215.223                       | 20.525                     |

Alteración que se produce en un año malo, 183 días (faltando la mitad de los días)

|            | Distancia (m) | Sup. pisada (m <sup>2</sup> ) | Agujeros (m <sup>2</sup> ) |
|------------|---------------|-------------------------------|----------------------------|
| No Zostera | 1.618.654     | 97.119                        | 7.017                      |
| Zostera    | 1.060.656     | 63.639                        | 8.313                      |
| TOT        | 2.679.310     | 160.759                       | 15.331                     |

Alteración que se produce en un año muy malo, 105 días (faltando 5 días a la semana)

|            | Distancia (m) | Sup. pisada (m <sup>2</sup> ) | Agujeros (m <sup>2</sup> ) |
|------------|---------------|-------------------------------|----------------------------|
| No Zostera | 928.736       | 55.724                        | 4.026                      |
| Zostera    | 608.573       | 36.514                        | 4.770                      |
| TOT        | 1.537.309     | 92.239                        | 8.796                      |

Ahora queda por estimar el impacto para todo el año. Como se ha comentado anteriormente, en el marisqueo participan muchos factores que influyen directamente en el número de jornadas que los mariscadores faenan a la semana, al mes o al año. Algunos de estos factores, entre los que se encuentra la meteorología, son impredecibles y muy variables, por lo que resulta imposible establecer el número de jornadas que asisten los mariscadores a



su zona de trabajo. Por ello, se han estimado diferentes impactos correspondientes a distintos escenarios que pueden darse en un año considerado muy bueno (faltando solamente 1 día al mes), bueno (faltando 10 días al mes), malo (faltando la mitad de los días de un año) y muy malo (faltando cinco días a la semana) (Tabla 11).

En la cartografía llevada a cabo en el año 2012 se estimó una ocupación de pradera de *Zostera noltii* de 166.400 m<sup>2</sup> para la zona de San Kristobal y Kanala. Por tanto, en cada uno de los escenarios contemplados se obtienen distintos porcentajes de pradera pisoteada y agujereada (Tabla 12).

**Tabla 12.** Porcentajes de pradera pisada y agujereada en cada uno de los escenarios contemplados según la Tabla 11. El 100% corresponde 166.400 m<sup>2</sup>, es decir, a la superficie ocupada por la pradera de *Zostera noltii* en la zona de Axpe-Kanala (estuario del Oka) en el año 2012.

| %             | Superficie pisada | Superficie agujereada |
|---------------|-------------------|-----------------------|
| Año muy bueno | 74                | 10                    |
| Año bueno     | 51                | 7                     |
| Año malo      | 38                | 5                     |
| Año muy malo  | 22                | 3                     |

#### 4.4.8 Discusión

Es evidente que cualquier actividad que se realice sobre la pradera marina provoca una alteración en el medio y en la propia vegetación. La presión del pisoteo que se ejerce al efectuarse un simple paseo sobre la pradera puede generar un daño físico directo sobre la planta o incluso provocar un estrés que puede verse reflejado en diversas respuestas de tipo fisiológico. En principio este impacto no parece muy dañino porque el desplazamiento del paseante se realiza de manera continua (sin paradas) lo que no suele producir importantes marcas y movimientos del sedimento, a no ser que se trate de un sedimento muy fino y blando; pero normalmente el paseo suele darse en zonas con sedimento relativamente compacto. Los resultados obtenidos en el experimento llevado a cabo en el Oka (un mayor efecto del pisoteo en el fango que en la arena) corrobora esta idea que ya fue señalada por Wynberg y Branch (1997) y Eckrich y Holmquist (2000).

El impacto aumenta cuando se realizan paradas (que facilita el hundimiento del paseante y la alteración física del sustrato), se ralentiza la velocidad de desplazamiento o se intensifica el pisoteo en una pequeña zona, lo cual suele darse cuando se está observando o buscando algo en el sedimento, como es el caso del marisqueo. Nuestros experimentos indican que, en las labores de marisqueo, el efecto que los mariscadores provocan con su pisoteo es mayor que la propia alteración provocada por las herramientas para la extracción de los

organismos. La alteración que se provoca en el sedimento con la herramienta de extracción (chupona, sal, azada) es más instantánea y de menor magnitud que la provocada por el continuo (re)pisoteo de una pequeña superficie. Quizás la única excepción es la extracción de cebo vivo con el uso de palas. En todo caso, de acuerdo con Eckrich y Holmquist (2000), el pisoteo reduce la densidad de hojas de la pradera y, según la intensidad, también su biomasa, lo cual puede conllevar una disminución de la cobertura de pradera y aumento de la de arena. Por otro lado, también se mencionan efectos indirectos del pisoteo como una menor abundancia de invertebrados móviles (camarones) probablemente debido a la resultante menor complejidad física de la pradera marina.

Si, además de pisar, se ejecutan actuaciones de agujereo o extracción de organismos con la consiguiente alteración del sedimento, el impacto es aún mayor. El marisqueo combina ambos tipos de alteración (Cochón y Sánchez, 2005). En este sentido, Auby *et al.* (2011) concluyen que la recolección de almejas efectuada a pie y a mano en Arcachon (Francia) tiene un fuerte impacto en la producción de pradera de *Zostera noltii*. Del mismo modo, Cabaço *et al.* (2005) llegan a la conclusión de que la actividad marisquera afecta negativamente a las poblaciones de *Zostera noltii*, a pesar de la gran capacidad de recuperación de la especie. En la ría de Formosa (Portugal) la elevada frecuencia e intensidad de perturbación provocada por el marisqueo (especialmente en verano) impide la total recuperación de la pradera. Estos autores señalan que la pradera puede soportar la perturbación del marisqueo siempre y cuando, tras una perturbación aislada, se le conceda 1 mes para su recuperación. No obstante, la supervivencia y recuperación de la planta dependerá de si sufre un daño físico (corte o rotura), de su gravedad o magnitud; o si solo se trata de un enterramiento, del soterramiento sometido (en grado de profundización y en tiempo de permanencia), ya que dada su elevada sensibilidad, *Zostera noltii* solamente puede soportar cierto grado de enterramiento (Cabaço y Santos, 2007; Cabaço *et al.*, 2008)

Nuestro experimento del marisqueo ha reflejado un descenso de la densidad de hojas tanto con baja como con elevada intensidad de actuación. En este sentido, diversos autores también encontraron un efecto directo del marisqueo sobre la densidad de la pradera (Short y Wyllie-Echeverria, 1996; van Katwijk *et al.*, 2000; Cabaço *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2011), incluso con baja intensidad de presión (Alexandre *et al.*, 2005). Por contra, estos autores indican cierto efecto compensatorio al señalar que *Z. noltii* y *Z. japonica* aumentan su esfuerzo reproductivo y época fértil en respuesta a la actividad marisquera.

Al hablar de la actividad marisquera no nos referimos solamente a la profesional, sino también a la recreativa (o deportiva). Al fin y al cabo, la estrategia de extracción es la misma

con la salvedad de la ejecución de un mayor esfuerzo por los profesionales expresado en una jornada extractiva más prolongada y un impacto, en principio, más elevado. No obstante, el número de mariscadores deportivos supera claramente la de profesionales, al menos en el estuario del Oka.

Además de los efectos directos e indirectos mencionados sobre la pradera, las perturbaciones producidas por los mariscadores también pueden afectar a las comunidades bentónicas de diversas maneras: alterando la disponibilidad de nutrientes, alterando abundancia y diversidad de los invertebrados infaunales y epifaunales, y potenciando un mayor crecimiento de algas verdes como *Ulva* sp. Parece ser que *Ulva* sp. crece con mayor rapidez en los hoyos o charcos producidos por el marisqueo que sobre llanos fangosos o charcas mareales (Van Alstyne *et al.*, 2011), convirtiéndose en una presión añadida para la pradera.

Sin embargo, otros autores no consideran al marisqueo recreativo como una gran amenaza para la pradera intermareal (Boese, 2002), al menos en el caso de *Zostera marina*. Este autor señala que las praderas permanecen aún en zonas que han sido intensamente perturbadas por mariscadores recreativos durante décadas, sugiriendo que los efectos a largo plazo son menores. No obstante, el hecho de que la pradera no desaparezca no debe considerarse una alteración menor, ya que probablemente dicha pradera habría alcanzado superficies mayores en caso de no existir dicho marisqueo o en caso de ser ésta de una intensidad menor. Esta situación es la que se encuentra en el estuario del Oka. Además, aunque el número de mariscadores profesionales se ha estancado e incluso disminuido en la última década, parece que la presión no lo ha hecho en la misma medida debido a un aumento en el número de mariscadores no profesionales (especialmente furtivos). En definitiva, el alcance de los efectos o daños de una alteración dependerá de la magnitud y frecuencia de la perturbación (Cabaço *et al.*, 2008) y, por tanto, la recuperación también variará en función de los daños provocados (Short y Wyllie-Echeverria, 1996).

En los escenarios contemplados para el estuario del Oka se ha estimado que, si no se pisara sobre el mismo terreno o no se trabajara sobre la misma superficie, en un año se pisaría el equivalente al 22% (o hasta el 74%, según el escenario) y se agujerearía entre el 3% y 10% de la pradera existente. Sin embargo, en la realidad estas cantidades disminuyen en cierta medida, ya que parte del pisoteo suele darse sobre la misma superficie y el agujereo también (después de dejarse un tiempo de recuperación). Por tanto, la superficie de pradera que queda intacta e inalterada es mayor que la calculada pero, desafortunadamente, sigue siendo imposible calcular. En el Oka hay ciertas áreas que quedan intactas, principalmente

por su dificultad de acceso y dificultad de marisqueo: corresponden a las praderas más internas establecidas sobre sedimento fangoso. Por tanto, esto significa que las zonas arenosas (más accesibles y cómodas de trabajar) se ven sometidas a una presión continua y acumulada.

Frente a esta elevada presión marisquera, es esperanzador, desde el punto de vista de la conservación de la pradera, que el número de mariscadores profesionales al bivalvo se haya estancado o disminuido y que no se estén repartiendo nuevas licencias durante los últimos años. Sin embargo, el aumento de mariscadores deportivos y, especialmente, de furtivos es un dato preocupante, principalmente por el desconocimiento de la magnitud del daño que provocan y por ser un público no identificado (y por eso inaccesible) a la hora de desarrollar campañas de concienciación y sensibilización dirigidas al sector.

En estas zonas donde coinciden distintos intereses humanos es crucial la gestión de las actividades a desarrollar, especialmente cuando está en juego la supervivencia de una especie y/o hábitat de gran interés. Por ello, debe (re)definirse la estructura de la gestión, reconociendo la importancia de la comunicación, del intercambio de información, del reparto de responsabilidades y, por tanto, de la participación de los usuarios del recurso en su gestión (Guimaraes *et al.*, 2012).

La elevada frecuencia e intensidad de perturbación actual en el estuario del Oka afectan negativamente al natural desarrollo de *Zostera noltii*. Para parar esta tendencia de regresión de las praderas se debe trabajar, entre otras cosas, con los mariscadores. Se les deben explicar los beneficios de las praderas marinas, como un paso necesario para cambiar algunas de las acciones y técnicas agresivas relacionadas con el marisqueo (Cochón y Sánchez, 2005). En el Oka ha quedado patente el desconocimiento de los mariscadores sobre la pradera en general y la especie que la forma en particular. El conocimiento de la importancia de un recurso es el primer paso para su gestión, protección y uso sostenible (De la Torre y Ronnback, 2004; Patterson *et al.*, 2009; Guimaraes *et al.*, 2012).

En definitiva, la variedad de usos de las zonas con praderas del estuario del Oka, el desconocimiento del gran valor de dicho medio y la presencia de un elevado número de usuarios (donde los furtivos son parte importante) están afectando negativamente a la presencia y desarrollo de la pradera marina. Sin una protección efectiva, los hábitats de *Z. noltii* se encuentran bajo una importante amenaza (Guimaraes *et al.*, 2012), y no hay mejor protección que la ejercida por los propios usuarios. El diseño de áreas protegidas es un proceso complejo debido a la competencia por el uso y el espacio por las distintas actividades (Nordlund y Gullström, 2013). Por ello, es aconsejable la implicación de todos los actores e



interesados. Con el consenso y acuerdo de todos se podrán proponer modelos de gestión con calendarios de usos, con rotación de usos, con tipologías de zonas, con métodos menos agresivos o con otras medidas que conduzcan a la conservación del medio y sus recursos.

## 4.5 CARTOGRAFIADO DE *ZOSTERA NOLTII* MEDIANTE IMÁGENES HIPERESPECTRALES CASI/AEROTRANSPORTADAS

Otra de las tareas planificadas inicialmente en este proyecto fue estudiar la evolución reciente de las poblaciones naturales de *Zostera noltii* mediante sensores aerotransportados. Para ello, se procedió a la adquisición de imágenes provenientes del sensor hiperespectral *Compact Airborne Spectrographic Imager* (CASI) en la Reserva de la Biosfera de Urdaibai. En el presente apartado nos hemos marcado el objetivo inicial de evaluar el potencial de los datos hiperespectrales aerotransportados para la discriminación y cartografiado de las praderas marinas de *Z. noltii*. En definitiva, se pretende evaluar la idoneidad de esta metodología para futuros estudios referidos a la evolución de las marismas. Para ello, se contrató el servicio de un vuelo con un sensor CASI al *Institut Cartogràfic de Catalunya* (ICC).

### 4.5.1 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 88). 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

Para la configuración espectral del sensor CASI (*Compact Airborne Spectrographic Imager*), se eligieron 25 bandas con amplitudes espectrales similares. En la Tabla 13 se muestran la configuración espectral para el sensor. Para cada banda se detallan los límites espectrales 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 y 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



**Figura 88.** Sensor CASI y avión Cessna Grand Caravan 208B, propiedades del ICC.

**Tabla 13.** 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       |       |             |

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

El día 3 de julio del 2012 se tomaron las imágenes hiperespectrales con el sensor óptico aerotransportado CASI 550 en el estuario del Oka, según el plan de vuelo de la Figura 89. 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 88), 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 inerciales 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.

El preprocesado de las imágenes comprende tres fases:

- Corrección radiométrica (Figura 90A)
- Corrección geométrica (Figura 90B)
- Corrección atmosférica (en proceso)



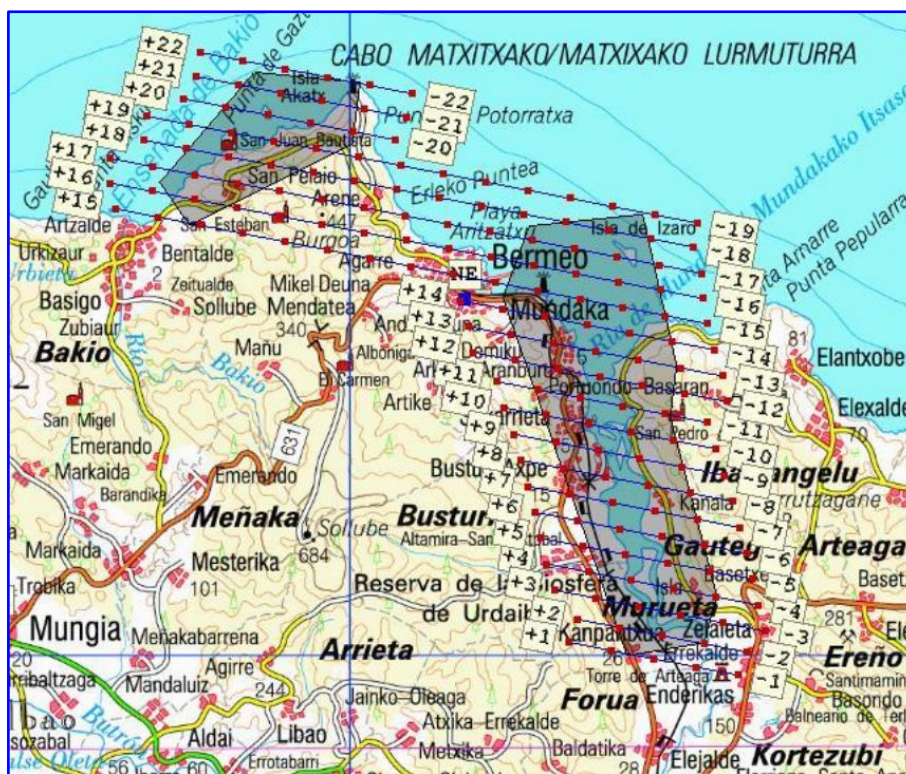


Figura 89. Plan de vuelo.

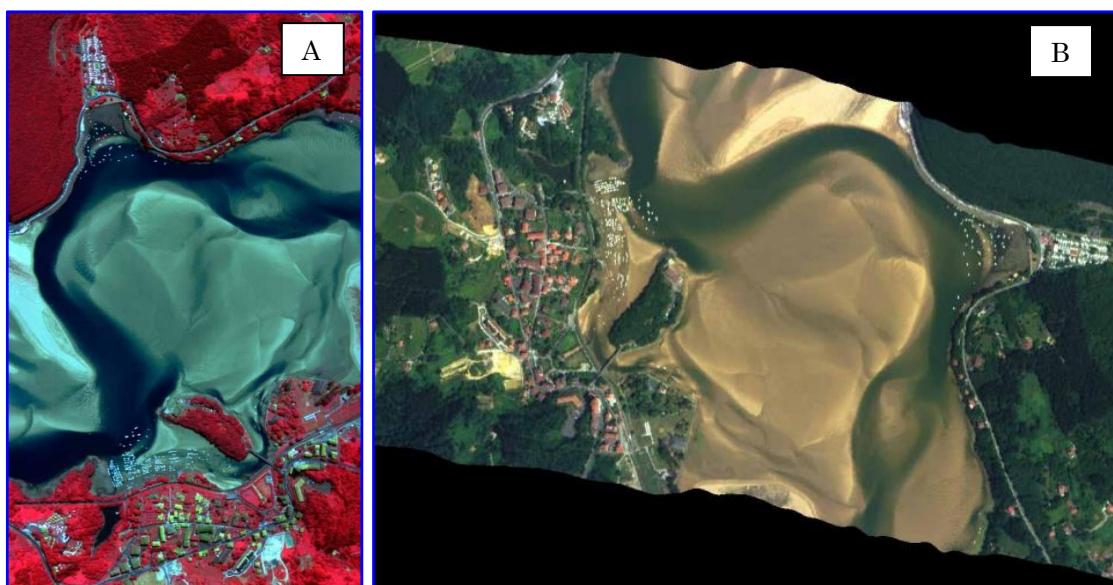


Figura 90. **A.** Subescena de la corrección radiométrica de la pasada 10 en la zona cercana a Sukarrieta (RGB: bandas 23, 16, 6); **B.** Muestra de la corrección geométrica (RGB: bandas 13, 6, 2).

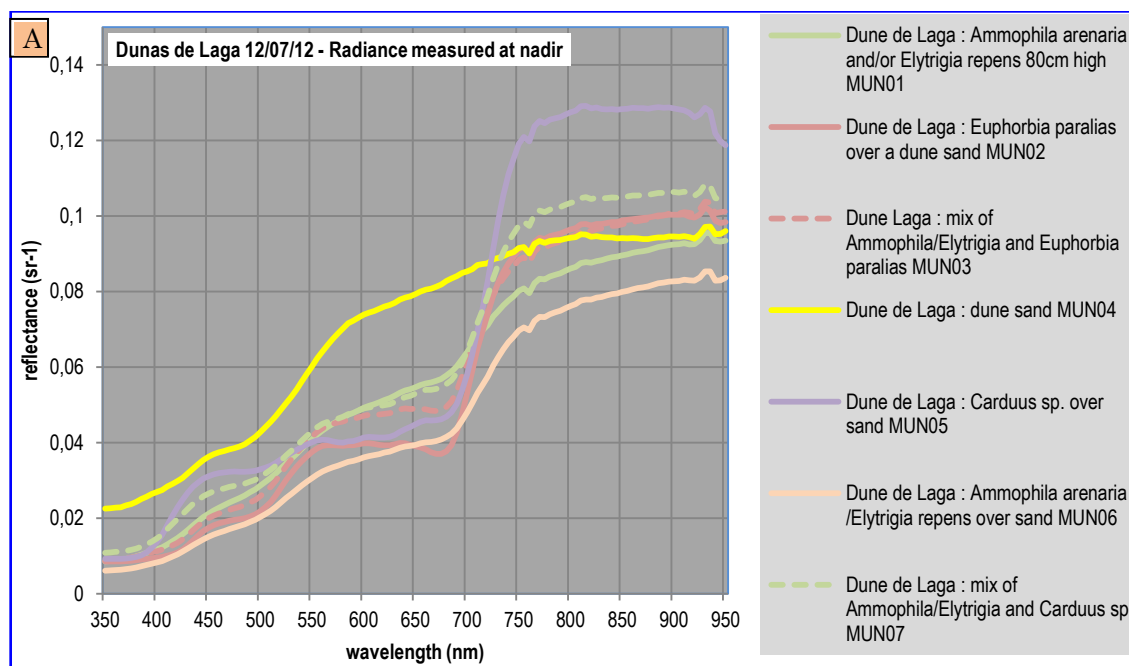
### 4.5.3 Medidas de campo

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:

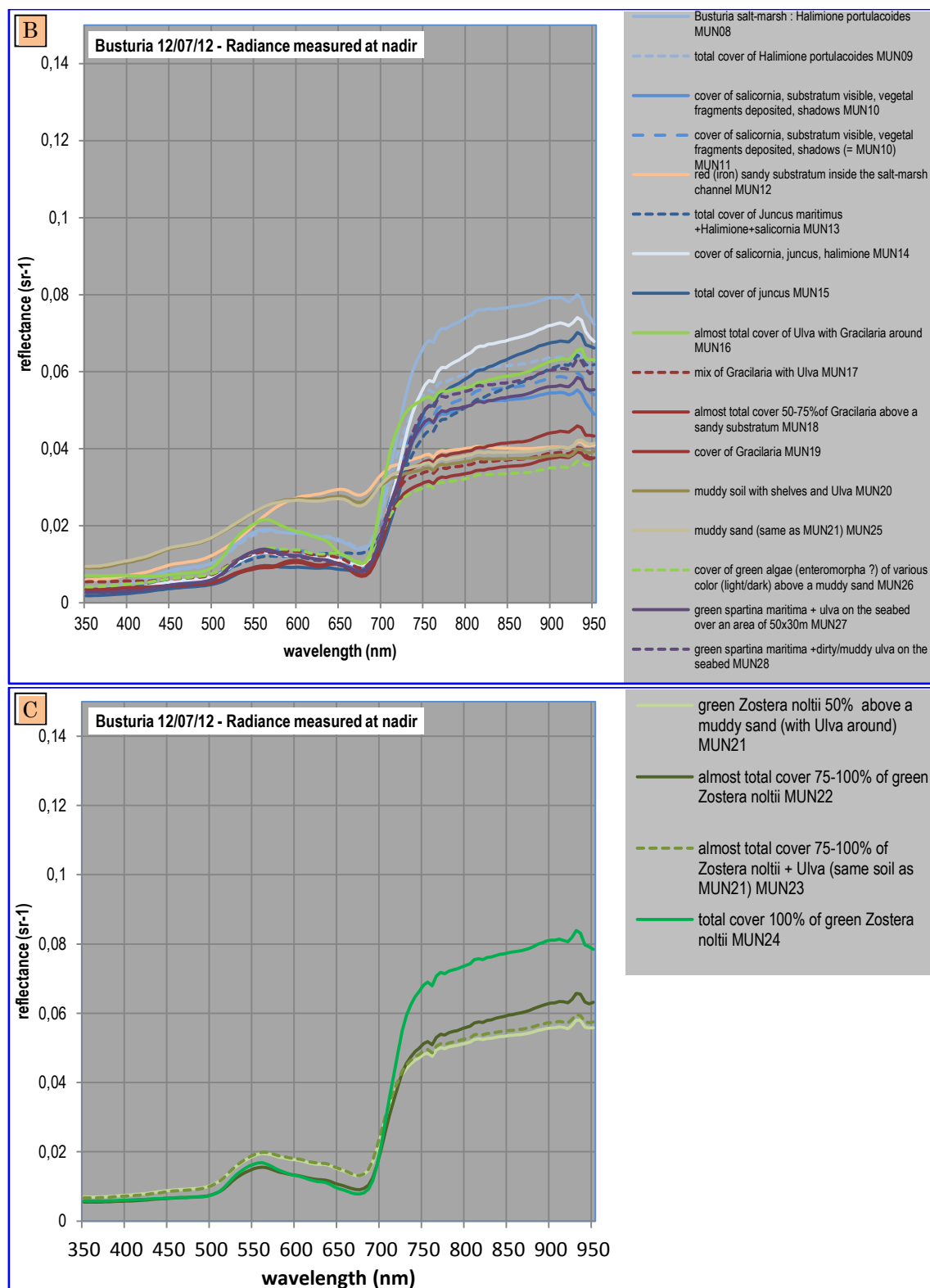
- a. Medidas espectrales de campo (Tabla 14 y Figura 91).
- b. Densidad (número de haces) de *Z. noltii* emergida en un gradiente mediante trípode [4 intervalos (0-25%, 25-50, 50-75, 75-100 sobre arenas o fangos) bien representados: 8 por intervalo], y *Z. noltii* sumergida (ausencia y presencia en Arquetas) (Figura 92). 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 93).
- e. Puntos GPS para definir zonas de entrenamiento para la clasificación (en zonas homogéneas de 6 x 6 m).
- f. Puntos GPS de *Z. noltii* (en zonas homogéneas de 4 x 4 m).

**Tabla 14.** Relación de los hábitats en los que se tomaron medidas espectrales de campo

| Id    | Hábitat   |
|-------|---|
| MUN01 | Dune de Laga : <i>Ammophila arenaria</i> and/or <i>Elytrigia repens</i> 80cm high               |
| MUN02 | Dune de Laga : <i>Euphorbia paralias</i> over a dune sand                                       |
| MUN03 | Dune Laga : mix of <i>Ammophila/Elytrigia</i> and <i>Euphorbia paralias</i>                     |
| MUN04 | Dune de Laga : dune sand  |
| MUN05 | Dune de Laga : <i>Carduus</i> sp. over sand   |
| MUN06 | Dune de Laga : <i>Ammophila arenaria</i> / <i>Elytrigia repens</i> over sand                    |
| MUN07 | Dune de Laga : mix of <i>Ammophila/Elytrigia</i> and <i>Carduus</i> sp.                         |
| MUN08 | Busturia salt-marsh : <i>Halimione portulacoides</i>  |
| MUN09 | total cover of <i>Halimione portulacoides</i>   |
| MUN10 | cover of <i>Salicornia</i> , substratum visible, vegetal fragments deposited, shadows           |
| MUN11 | cover of <i>Salicornia</i> , substratum visible, vegetal fragments deposited, shadows (= MUN10) |
| MUN12 | red (iron) sandy substratum inside the salt-marsh channel                                       |
| MUN13 | total cover of <i>Juncus maritimus</i> with <i>H. portulacoides</i> and <i>Salicornia</i> spp.  |
| MUN14 | cover of <i>Salicornia</i> spp, <i>Juncus</i> , <i>H. portulacoides</i>                         |
| MUN15 | total cover of <i>Juncus</i> sp.  |
| MUN16 | almost total cover of <i>Ulva</i> with <i>Gracilaria</i> around                                 |
| MUN17 | mix of <i>Gracilaria</i> with <i>Ulva</i>   |
| MUN18 | almost total cover 50-75% of <i>Gracilaria</i> above a sandy substratum                         |
| MUN19 | cover of <i>Gracilaria</i>  |
| MUN20 | muddy soil with shelves and <i>Ulva</i>   |
| MUN21 | green <i>Zostera noltii</i> 50% above a muddy sand (with <i>Ulva</i> around)                    |
| MUN22 | almost total cover 75-100% of green <i>Zostera noltii</i>                                       |
| MUN23 | almost total cover 75-100% of <i>Z. noltii</i> and <i>Ulva</i> (same soil as MUN21)             |
| MUN24 | total cover 100% of green <i>Z. noltii</i>  |
| MUN25 | muddy sand (same as MUN21)  |
| MUN26 | cover of green algae of various color (light/dark) above a muddy sand                           |
| MUN27 | <i>Spartina maritima</i> and <i>Ulva</i> on the seabed over an area of 50x30m                   |
| MUN28 | <i>Spartina maritima</i> and <i>Ulva</i> on the seabed  |



**Figura 91.** Medidas espectrales de campo con el sensor TRIOS realizado por el grupo de Virginie Lafon, **A.** Hábitats de dunas; **B.** Hábitats marismenos; **C.** Diferentes coberturas de *Zostera noltii*.

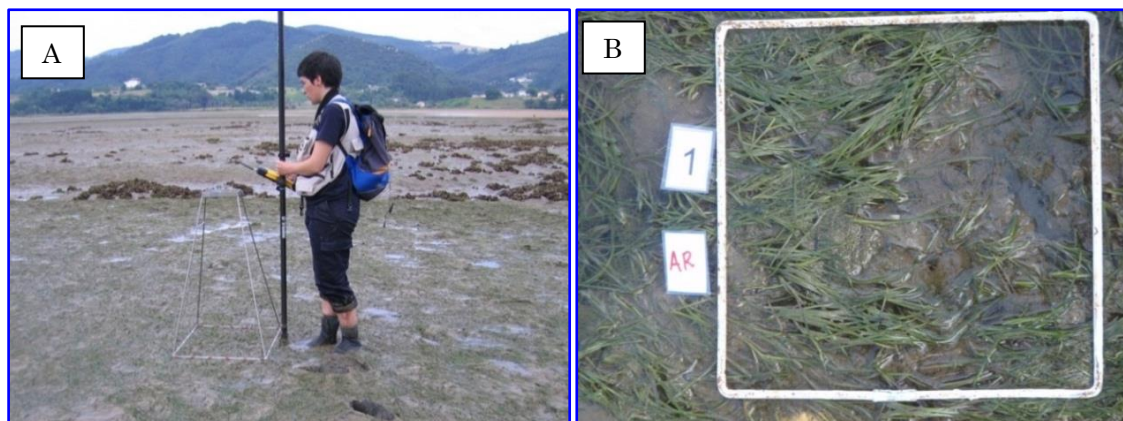


**Figura 91 (continuación).** Medidas espectrales de campo con el sensor TRIOS realizado por el grupo de Virginie Lafon, **A.** Hábitats de dunas; **B.** Hábitats marismenos; **C.** Diferentes coberturas de *Zostera noltii*.

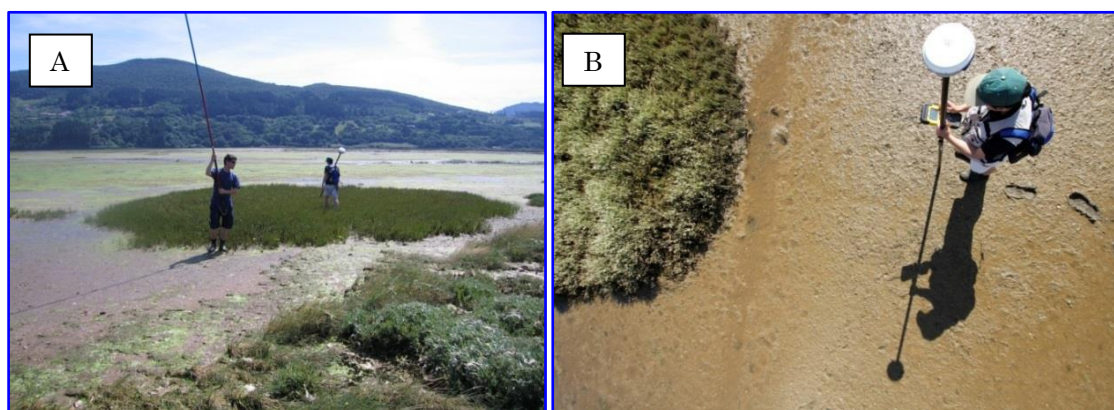


A partir del análisis de los espectros presentados en la Figura 91, vemos que la reflectividad es más alta en hábitats de dunas que en los hábitats marismeños y que en los puntos de *Z. noltii* analizados. Esto se debe a la presencia de la arena y su baja absorbancia. Como puede verse en Figura 91A y Figura 91B, los espectros de sustratos arenosos (MUN 4; MUN 12; MUN 20; MUN 25) son aquellos que muestran una reflectividad mayor en las bandas del visible (de 380 nm a 750 nm). En los espectros de la vegetación se observan valores bajos de reflectividad debidos al efecto absorbente de los pigmentos de las hojas (clorofilas, xantofilas y carotenos) que absorben en el rango 400 a 500 nm y un segundo pico de absorción de clorofila en torno a los 680 nm. Los espectros de *Ulva* (MUN 16) y *Halimione* (MUN 8; MUN 9) presentan mayor reflectividad en las bandas verde (495-570 nm) y amarilla (570-590 nm) que los espectros de *Gracilaria* (MUN 17; MUN 18; MUN19); *Spartina* (MUN 27; MUN28); *Juncus* (MUN 13); *Salicornia* (MUN 10; MUN 11) y el hábitat mixto de *Salicornia*, *Juncus* y *Halimione* (MUN 14).

En lo que respecta a los espectros recogidos para las diferentes coberturas de *Z. noltii*, MUN 21 y MUN 23 son los que mayor reflectividad presentan en las bandas del visible y menor absorción en el pico de la clorofila. Esto puede estar relacionado a que ambos espectros fueron tomados en puntos con el mismo tipo de sustrato de fondo. Entre los espectros de *Z. noltii* observamos un contraste nítido en la reflectividad espectral en el infrarrojo cercano (a partir de 700 nm), siendo mayor la reflectividad en estas bandas en *Z. noltii* a 100% de cobertura (MUN 24). Es en estas bandas donde se detecta el vigor de vegetación, siendo más clara su discriminación frente a otro tipo de cubierta. En los espectros de los hábitats marismeños también se ve como *Halimione* (MUN8), el hábitat mixto de *Salicornia*, *Juncus* y *Halimione* (MUN 14) y el Juncal (MUN 13) presentan una mayor reflectividad en el infrarrojo cercano.



**Figura 92.** Medidas de campo con trípode. **A.** Vista del trípode; **B.** Foto tomada desde el soporte superior del trípode.



**Figura 93.** **A.** Medidas de campo con pértiga y GPS. **B.** Fotografía obtenida mediante pértiga de 4 m de altura.

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

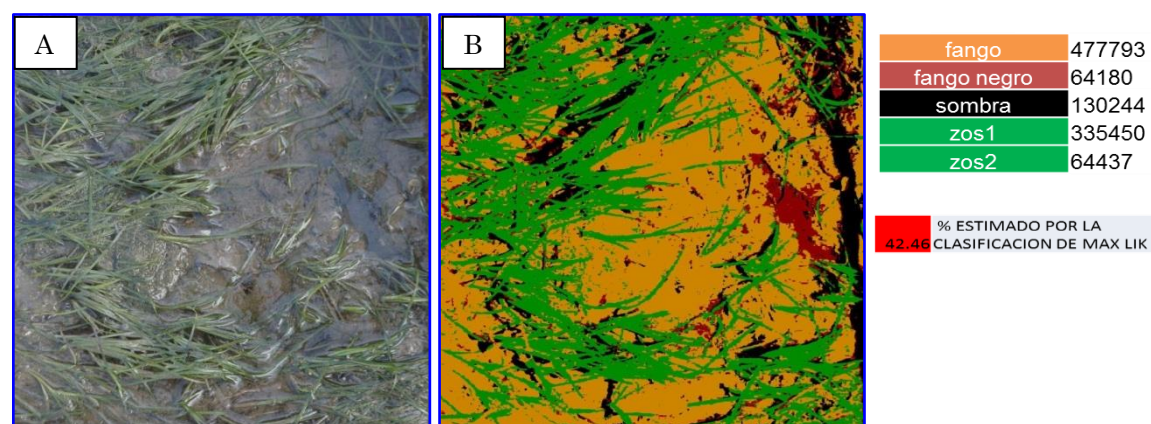
El estudio del potencial de discriminación a partir de las imágenes adquiridas y corregidas y los datos obtenidos en el campo se ha realizado mediante sistemas de información geográfica y métodos estadísticos de clasificación supervisada durante el año 2013.

#### 4.5.4.1 Metodología: Discriminación de *Z. noltii* a diferentes densidades de recubrimiento

El objetivo es realizar un análisis específico del potencial de discriminación de las praderas marinas de *Z. noltii* con el fin de definir el porcentaje de cobertura a partir del cual se puede discriminar con fiabilidad dicha especie.

Para ello se estimó la densidad (número de haces) de *Z. noltii* emergida *in situ* en cuadrados de 0,0625 m<sup>2</sup> en un gradiente de cobertura aproximado (4 intervalos: 0-25%, 25-50, 50-75, 75-100, sobre arenas y/o fangos). A partir de la densidad y la superficie de una hoja promedio, se ha estimado 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).

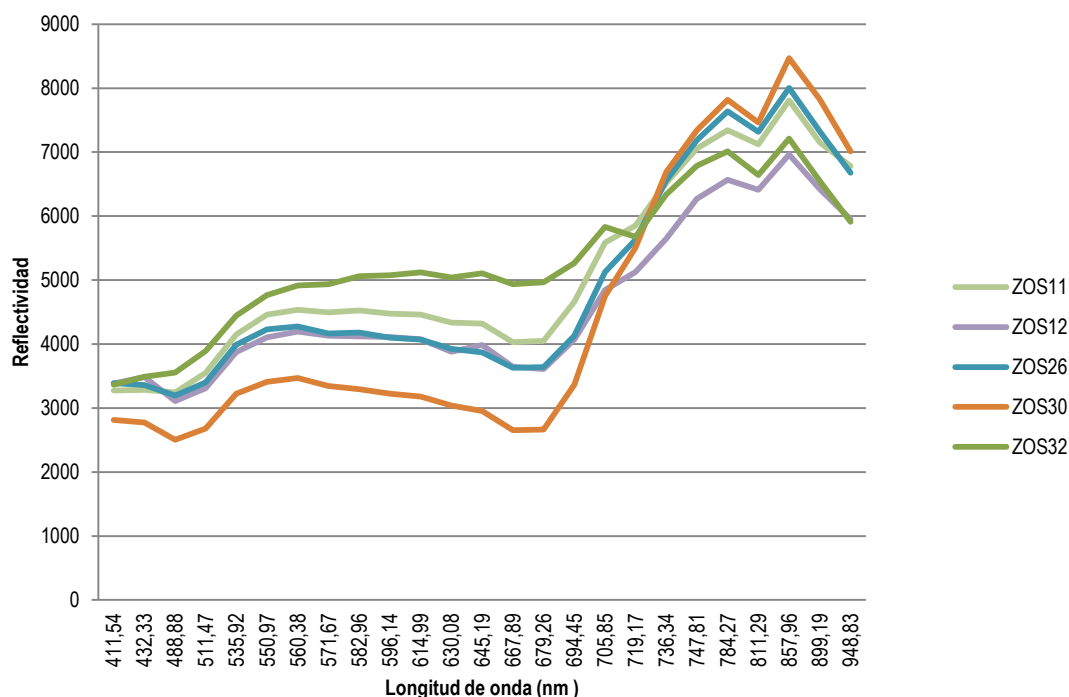
Para estimar el porcentaje de cobertura, en primer lugar se tomaron fotografías mediante trípode (Figura 92); en segundo lugar se procesaron dichas fotografías mediante un programa de clasificación supervisada de ENVI-IDL para obtener una estima cuantitativa del recubrimiento de *Z. noltii* sobre el suelo (Figura 94).



**Figura 94.** Ejemplo de los resultados de la clasificación de imágenes. **A.** Foto original tomada con trípode; **B.** Foto clasificada.

Los diferentes muestreos de densidad/cobertura se analizaron en función de la signatura espectral del CASI. Para ello se volcaron los puntos muestreados al programa ENVI-IDL, creando tantas Regiones de Interés (ROIs) como puntos muestreo. A partir de la herramienta ROI de este programa se obtuvieron los valores de reflectividad de cada ROI de *Z. noltii* en cada una de 25 bandas del vuelo CASI. En la Figura 95 se muestra un gráfico de reflectividad para dos ROIs de *Z. noltii* de baja cobertura (ZOS 11 y ZOS 12), dos ROIs de *Z.*

*noltii* de alta cobertura (ZOS 26 y ZOS 30) y un ROI control de 0% de cobertura (ZOS 32). De igual manera que en los espectros de campo, observamos menor reflectividad en las bandas del visible para los ROIs con *Z. noltii* (ZOS 11, ZOS 12, ZOS 26, ZOS 30) que para el ROI control sin *Z. noltii* (ZOS 32). En torno a la longitud de onda de 680 nm (pico de la clorofila), los ROIs que más absorben son aquellos con una cobertura de *Z. noltii* superior. En el infrarrojo cercano (a partir de 700 nm), los ROIs de mayor cobertura son los que mayor reflectividad presentan.



**Figura 95.** Signaturas espectrales de *Z. noltii* procedentes de CASI.

Con el fin de determinar cuántas clases de cobertura podemos discriminar, se calculó un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*). Este tipo de índices combinan la reflectividad en las regiones del rojo e infrarrojo cercano. Para calcular el NDVI de las imágenes CASI nos hemos basado en aquellas longitudes de onda donde las coberturas muestran diferencias espectrales en dichas regiones del rojo y del infrarrojo cercano, así hemos calculado un NDVI a partir de la siguiente fórmula:

$$NDVI = (R_{784.27} - R_{679.26}) / (R_{784.27} + R_{679.26})$$



Una vez calculado el NDVI para cada tipo de cobertura hemos estimado una regresión no lineal entre la cobertura y el NDVI basándonos en Bargain *et al.* (2012). Donde hemos aplicado la siguiente función exponencial:

$$NDVI = a + b (1 - \exp(-c \cdot \text{cobertura}))$$

Donde,  $a$ ,  $b$  y  $c$  son los parámetros a estimar. NDVI es el valor del índice como variable dependiente y cobertura, es la cobertura de *Z. noltii* en cada punto de muestreo y representa a la variable independiente.

#### 4.5.4.2 Metodología: Clasificación supervisada de los hábitats intermareales

El objetivo principal de esta tarea es la generación de una cartografía de hábitats de la zona intermareal de la Reserva de Urdaibai mediante imágenes hiperespectrales CASI.

##### *Mosaico de pasadas*

El vuelo CASI constó de un total de 22 pasadas que fueron “mosaicadas” mediante un *feathering* (promedio ponderado de píxeles superpuestos) de 2 píxeles. La visualización de *composites* de 3 bandas detectó que ciertas bandas son muy sensibles a las condiciones del ángulo de adquisición de las imágenes, lo cual produce grandes cambios en la radiometría de una pasada a otra. Con el fin de minimizar dichos artefactos, se procedió a excluir dichas bandas del análisis posterior (banda 1 y banda 2).

##### *Definición de hábitats*

La definición de hábitats se ha realizado mediante la comparación de los datos aerotransportados y visitas sobre el terreno. En nuestro caso, se ha llevado a cabo con muestreos específicos coincidiendo con el vuelo CASI (3-4/07/2012), si bien para ciertos hábitats (p.e. arenas, bosque de ribera, pastizal) se ha completado mediante información del terreno procedente de años anteriores (27/06/2008, 16-17/10/2008 y 20-21/08/2008) (Galparsoro *et al.*, 2008; Chust *et al.*, 2010). Para la definición de hábitats correspondientes a comunidades biológicas específicas, el muestreo ha consistido en la toma de muestras de organismos bentónicos (principalmente algas) para su posterior identificación taxonómica en el laboratorio. Las visitas han sido realizadas en condiciones de bajamar y mediante el soporte de las fotografías aéreas y un GPS.

### Clasificación mediante algoritmos estadísticos

Se ha evaluado el potencial discriminador de los datos hiperespectrales CASI para la clasificación automática de hábitats. Se han utilizado métodos de clasificación supervisada basados en algoritmos estadísticos mediante programas de tratamiento de imágenes aéreas y de satélite (ENVI-IDL). En primer lugar, se han definido zonas de referencia (zonas de entrenamiento) de tipos diferentes de hábitats que cubren la zona supralitoral, intermareal y submareal (Tabla 15). Los algoritmos de clasificación están basados en el criterio de máxima verosimilitud y tienen en cuenta los valores espectrales de las 25 bandas del espectro visible e infrarrojo (Treitz y Howarth, 2000; Chust *et al.*, 2004; Phinn *et al.*, 2008). De las 25 bandas iniciales, se excluyeron aquéllas que generaban artefactos importantes debido al “mosaicado” de las pasadas del vuelo (banda 1 y banda 2).

**Tabla 15.** Tabla resumen de las zonas de referencia (zonas de entrenamiento) de los diferentes tipos de hábitats que cubren la zona supralitoral, intermareal y submareal. En la tabla se muestran el número de polígonos y número de píxeles por hábitat utilizados en el proceso de clasificación y validación.

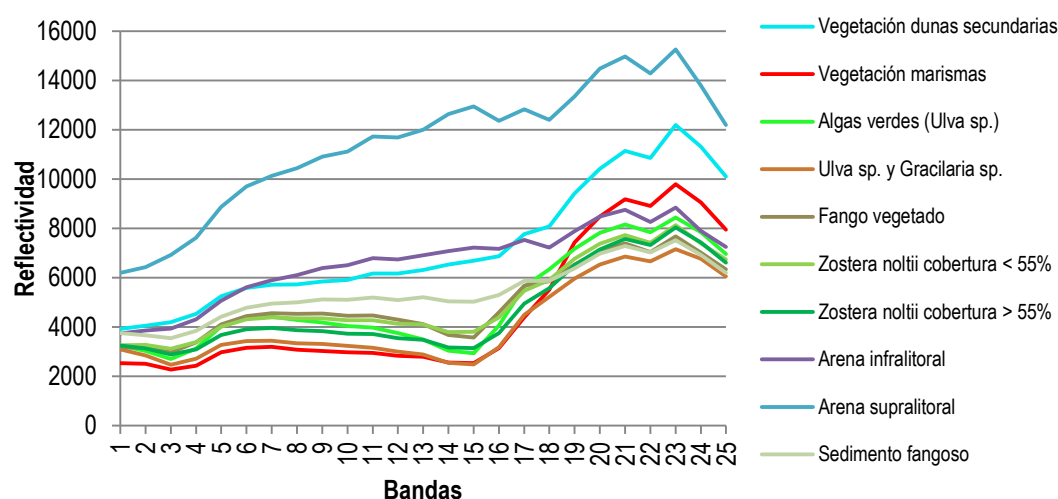
| Número | Hábitat                                 | Clasificación       |                   | Validación          |                   |
|--------|---|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
|        |   | Número de polígonos | Número de píxeles | Número de polígonos | Número de píxeles |
| 1      | Vegetación dunas secundarias            | 15                  | 2931              | 15                  | 1354              |
| 2      | Carrizal                                | 6                   | 96                | 6                   | 92                |
| 3      | Vegetación marismas                     | 21                  | 327               | 22                  | 345               |
| 4      | Algas verdes ( <i>Ulva</i> sp.)         | 6                   | 81                | 7                   | 80                |
| 5      | <i>Ulva</i> sp. y <i>Gracilaria</i> sp. | 3                   | 48                | 3                   | 48                |
| 6      | Fango vegetado                          | 4                   | 64                | 3                   | 48                |
| 7      | <i>Zostera noltii</i> cobertura < 55%   | 7                   | 31                | 6                   | 25                |
| 8      | <i>Zostera noltii</i> cobertura > 55%   | 6                   | 26                | 6                   | 27                |
| 9      | Arena infralitoral                      | 26                  | 6212              | 2                   | 41                |
| 10     | Arena supralitoral                      | 33                  | 4708              | 14                  | 500               |
| 11     | Masa de agua                            | 42                  | 2634              | 38                  | 2611              |
| 12     | Sedimento fangoso                       | 8                   | 146               | 2                   | 66                |
| 13     | Bosque de ribera                        | 5                   | 1329              | 3                   | 944               |
| 14     | Pastizal                                | 8                   | 7144              | 3                   | 3681              |

El análisis ha consistido en evaluar de forma combinada la contribución de las 23 bandas en la mejora de la fiabilidad de la clasificación. Esto se ha realizado comparando el conjunto de las 23 bandas con otras cinco clasificaciones basadas en:

- tres bandas del visible (bandas 3, 7 y 12)
- tres bandas del visible (bandas 3, 7 y 12) y una banda del infrarrojo (banda 22)
- seis bandas del visible (bandas 3, 7, 14, 15, 18 y 20) y una banda del infrarrojo (banda 22)
- nueve bandas del visible (bandas 3, 4, 7, 12, 14, 15, 16, 18 y 20) y una del infrarrojo (banda 22)

- once bandas del visible (bandas 4, 5, 7, 8, 13, 14, 15, 17, 18, 19 y 20) y cuatro bandas del infrarrojo (bandas 21, 22, 23, 24)

La selección de bandas para la primera y la segunda clasificación se ha basado en Chust *et al.* (2010), siendo las bandas seleccionadas las utilizadas convencionalmente en fotointerpretación (Chust *et al.*, 2008). Para seleccionar las bandas en el resto de clasificaciones se han analizado las firmas espectrales del CASI en las zonas de referencias muestreadas (Figura 96). Así se han seleccionado aquellas bandas en las que la respuesta de los hábitats analizados mostraba diferencias espectrales.



**Figura 96.** Signaturas espectrales procedentes de CASI para los hábitats a clasificar.

### Validación

La evaluación de la fiabilidad de la clasificación de los hábitats se ha efectuado comparando las cartografías con zonas de referencia (diferentes a las utilizadas en el proceso de entrenamiento). Para ello, se han realizado visitas sobre el terreno seleccionando los polígonos clasificados y valorando su correcta asignación a la clase de hábitat. Esta comparación se expresa cuantitativamente mediante una matriz de error (Stehman, 1997; Foody, 2002) que permite derivar medidas de fiabilidad de clasificación para cada clase (Tabla 16): fiabilidad del usuario ( $FU_i = n_{ii}/n_{i+}$ ) (probabilidad de que un píxel clasificado dentro de una clase pertenezca realmente a dicha clase) y fiabilidad del productor ( $FP_j = n_{jj}/n_{+j}$ ) (proporción de píxeles pertenecientes a una clase que han sido correctamente clasificados).

Estas medias expresan, en relación inversa, el error de comisión y omisión, respectivamente. Una metodología similar ha sido aplicada con éxito previamente en la costa vasca (Chust *et al.*, 2007, 2008, 2010).

**Tabla 16.** Matriz de confusión.

| Clasificación | Validación |     |     |     |
|---------------|------------|-----|-----|-----|
|               | nAA        | nAB | nAC | nAD |
|               | nBA        | nBB | nBC | nBD |
|               | nCA        | nCB | nCC | nCD |
|               | nDA        | nDB | nDC | nDD |

A nivel global de la clasificación, se ha empleado el coeficiente de acuerdo Kappa (Chuvieco, 1996; Foody, 2002) el cual resuelve el problema del sesgo debido a la diferente proporción de cada clase:

$$\text{Kappa} = \frac{n \sum_{k=1}^q n_{kk} \sum_{k=1}^q n_{k+} n_{+k}}{n^2 \sum_{k=1}^q n_{k+} n_{+k}}$$

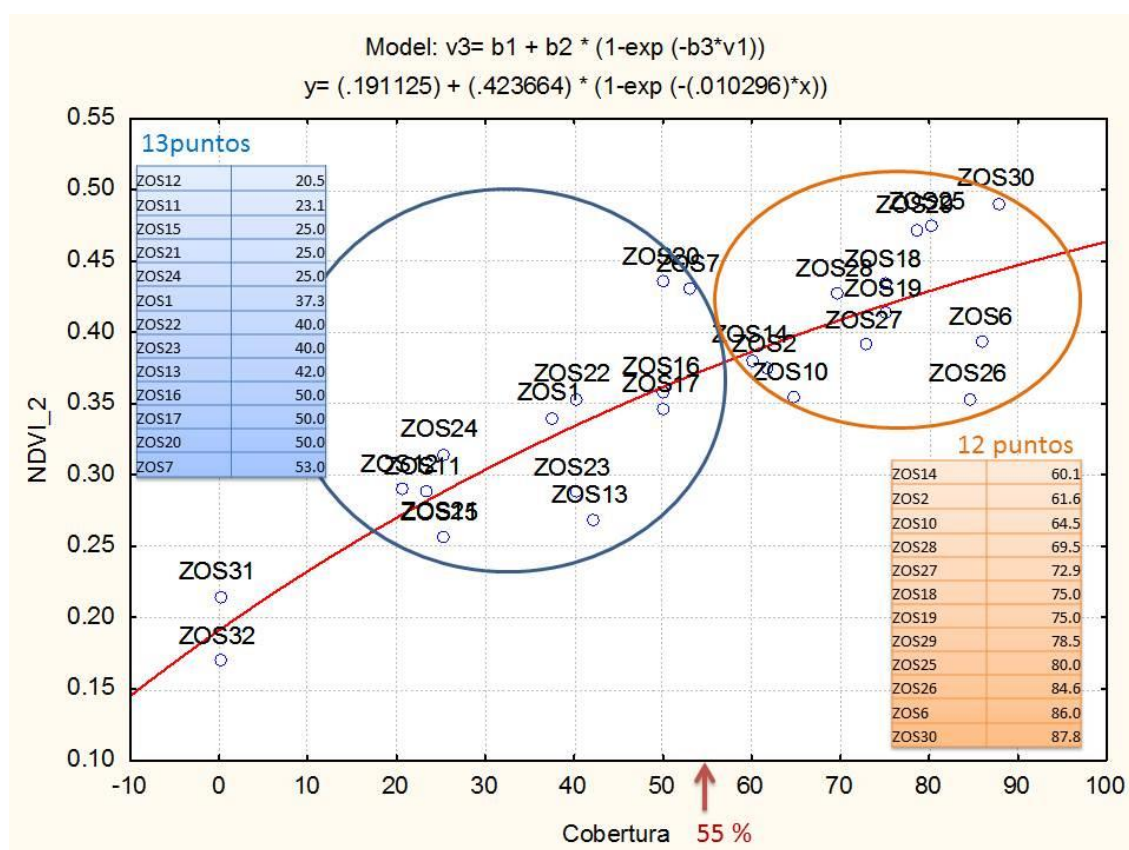
#### 4.5.4.3 Resultados: Discriminación de *Z. noltii* a diferentes densidades de recubrimiento

A la hora de aplicar el modelo no lineal, se realizó una primera aproximación con todos los puntos ROIs de *Z. noltii* y una segunda excluyendo aquellos puntos ROIs que parecían mostrar una respuesta espectral diferente a la esperada. Se analizaron todos los puntos ROIs de *Z. noltii* con respuestas espectrales no esperadas y se excluyeron un total de 5 puntos por los siguientes motivos: en el momento del vuelo la marea puede haber cubierto el punto (ZOS03); presencia de *Ulva rigida* en el fondo del punto ROI (ZOS04 y ZOS05) o presencia de *Ulva rigida* y *Gracilaria* (ZOS08 y ZOS09). Se calculó la  $r^2$  para ambas



aplicaciones del modelo, presentando mayor ajuste el modelo con los 27 puntos ( $r^2=0,59$ ) frente al modelo con los 30 puntos ( $r^2=0,29$ ).

A partir del gráfico obtenido al aplicar el modelo de regresión no lineal (Figura 97) se identificó un punto de corte en la cobertura del 55% a partir del cual se clasificaron los dos grupos de cobertura. El primero grupo lo integran 13 puntos y el segundo 12 puntos.



**Figura 97.** Modelo de regresión no lineal estimado a partir de la función exponencial basada en la cobertura. En la figura se presentan los dos grupos de cobertura que se espera poder estimar. El primero lo integran 13 puntos y el segundo 12 puntos. El punto de corte se ha situado en el 55% de cobertura.

#### 4.5.4.4 Resultados: Clasificación supervisada de los hábitats intermareales

Una vez aplicado el algoritmo de clasificación supervisada de máxima verosimilitud para cada una de las combinaciones de bandas determinadas, se obtuvieron los mapas

clasificados que fueron validados con el fin de obtener los datos referentes a la fiabilidad de las clasificaciones (Tabla 17).

A nivel global de clasificación todas las clasificaciones, excepto la basada en las 3 bandas del visible, presentan un alto coeficiente de acuerdo Kappa (valor mayor a 0,98) (Tabla 17). La clasificación basada en 10 bandas además de presentar el mayor valor de Kappa, es la más consistente ya que sus valores promedios de fiabilidad del productor y del usuario están equilibrados y son mayores al 91%.

**Tabla 17.** Resumen de los datos de fiabilidad para cada una de las clasificaciones generadas.

| Clasificación | Bandas  | nº bandas | Kappa  | Promedio Fiabilidad del Productor | Promedio Fiabilidad del Usuario |
|---------------|---|-----------|--------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1             | bandas 3-7-12                                   | 3         | 0,8698 | 82,58                             | 67,09                           |
| 2             | bandas 3-7-12-22                                | 4         | 0,9808 | 91,59                             | 91,16                           |
| 3             | bandas 3-7-14-15-18-20-22                       | 7         | 0,9862 | 91,39                             | 92,36                           |
| 4             | bandas 3-4-7-12-14-15-16-18-20-22               | 10        | 0,9886 | 91,88                             | 93,26                           |
| 5             | bandas 4-5-7-8-13-14-15-17-18-19-20-21-22-23-24 | 15        | 0,9874 | 87,53                             | 92,90                           |
| 6             | bandas 25- banda1 y banda2                      | 23        | 0,9838 | 80,68                             | 93,75                           |

En la Tabla 18 y Tabla 19 se muestran los resultados de fiabilidad obtenidos para cada clase de hábitat según las diferentes clasificaciones y la fiabilidad promedio de cada clase de hábitat considerando los resultados obtenidos en todas las clasificaciones. Las clases de hábitat vegetación de dunas, arena supralitoral, sedimento fangoso y bosque de ribera son las clases que mayor grado de acierto han obtenido. En el caso de las clases de hábitat de *Z. noltii* los valores de fiabilidad son bajos, lo que muestra que se tratan de dos clases difíciles de discriminar. La clasificación basada en las 23 bandas es la clasificación que presenta una mayor confusión entre clases. Además de la baja fiabilidad en las clases de hábitat de *Z. noltii* también se detecta baja fiabilidad en las clases de hábitat carrizal; *Ulva* sp. y *Gracilaria* sp y fango vegetado. Esto puede deberse a que en las bandas de los extremos la respuesta de las diferentes clases puede no estar tan diferenciada como en el resto de bandas lo que crea confusión en la clasificación.

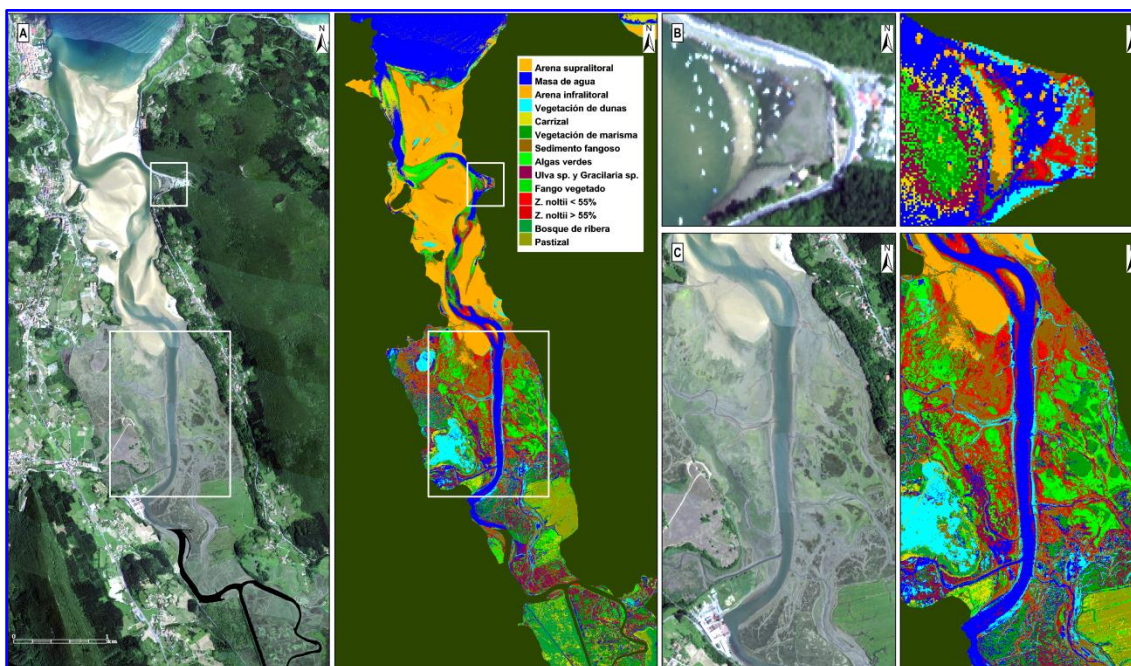
**Tabla 18.** Resumen de los datos de fiabilidad del productor para cada clase de hábitat y su promedio derivado de los resultados obtenidos en todas las clasificaciones.

| Clase                                   | Fiabilidad del productor (%) |          |          |           |           |           | Promedio por clase |
|---|------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
|   | 3 bandas                     | 4 bandas | 7 bandas | 10 bandas | 15 bandas | 23 bandas |                    |
| Vegetación dunas                        | 97,12                        | 99,85    | 99,85    | 99,7      | 99,7      | 99,41     | 99,27              |
| Carrizal                                | 82,61                        | 88,04    | 85,87    | 89,13     | 80,43     | 69,57     | 82,61              |
| Vegetación marismas                     | 92,71                        | 95,92    | 96,21    | 96,79     | 97,67     | 99,13     | 96,41              |
| Algas verdes ( <i>Ulva</i> sp.)         | 88,75                        | 95       | 92,5     | 95        | 100       | 98,75     | 95,00              |
| <i>Ulva</i> sp. y <i>Gracilaria</i> sp. | 35,42                        | 91,67    | 81,25    | 81,25     | 79,17     | 56,25     | 70,84              |
| Sedimento fangoso                       | 96,97                        | 98,48    | 100      | 100       | 100       | 100       | 99,24              |
| Fango vegetado                          | 95,83                        | 97,92    | 95,83    | 97,92     | 87,5      | 79,17     | 92,36              |
| <i>Zostera noltii</i> cobertura < 55%   | 60                           | 68       | 76       | 72        | 52        | 20        | <b>58,00</b>       |
| <i>Zostera noltii</i> cobertura > 55%   | 44,44                        | 55,56    | 55,56    | 55,56     | 29,63     | 7,41      | <b>41,36</b>       |
| Arena supralitoral                      | 97,4                         | 100      | 100      | 100       | 100       | 100       | 99,57              |
| Masa agua                               | 87,44                        | 100      | 100      | 100       | 100       | 100       | 97,91              |
| Arena infralitoral                      | 92,68                        | 95,12    | 97,56    | 100       | 100       | 100       | 97,56              |
| Bosque de ribera                        | 98,2                         | 98,62    | 99,79    | 99,58     | 99,68     | 99,89     | 99,29              |
| Pastizal                                | 86,53                        | 98,04    | 98,99    | 99,38     | 99,62     | 99,89     | 97,08              |

**Tabla 19.** Resumen de los datos de fiabilidad del usuario para cada clase de hábitat y su promedio derivado de los resultados obtenidos en todas las clasificaciones.

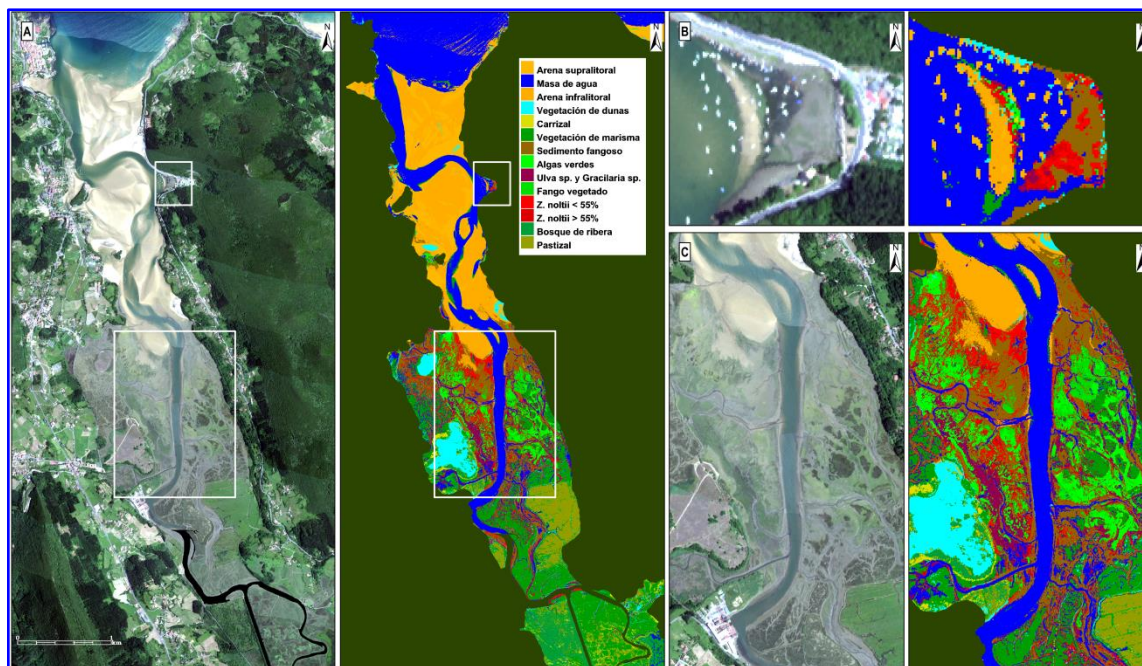
| Clase                                   | Fiabilidad del usuario (%) |          |          |           |           |           | Promedio por clase |
|---|----------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
|   | 3 bandas                   | 4 bandas | 7 bandas | 10 bandas | 15 bandas | 23 bandas |                    |
| Vegetación dunas                        | 96,98                      | 99,93    | 99,85    | 99,85     | 99,85     | 99,85     | 99,39              |
| Carrizal                                | 16,56                      | 87,1     | 95,18    | 90,11     | 94,87     | 98,46     | 80,38              |
| Vegetación marismas                     | 83,91                      | 88,44    | 91,92    | 94,05     | 95,44     | 88,08     | 90,31              |
| Algas verdes ( <i>Ulva</i> sp.)         | 22,83                      | 98,7     | 96,1     | 97,44     | 89,89     | 86,81     | 81,96              |
| <i>Ulva</i> sp. y <i>Gracilaria</i> sp. | 19,77                      | 88       | 90,7     | 92,86     | 84,44     | 90        | 77,63              |
| Sedimento fangoso                       | 69,57                      | 94,2     | 95,65    | 97,06     | 97,06     | 91,67     | 90,87              |
| Fango vegetado                          | 83,64                      | 95,92    | 95,83    | 95,92     | 100       | 100       | 95,22              |
| <i>Zostera noltii</i> cobertura < 55%   | 33,33                      | 60,71    | 59,38    | 62,07     | 54,17     | 62,5      | <b>55,36</b>       |
| <i>Zostera noltii</i> cobertura > 55%   | 22,22                      | 68,18    | 71,43    | 78,95     | 88,89     | 100       | <b>71,61</b>       |
| Arena supralitoral                      | 96,82                      | 99,8     | 99,6     | 99,21     | 99,21     | 98,43     | 98,85              |
| Masa agua                               | 98,36                      | 99,69    | 99,66    | 99,66     | 99,69     | 99,62     | 99,45              |
| Arena infralitoral                      | 100                        | 100      | 100      | 100       | 100       | 100       | 100,00             |
| Bosque de ribera                        | 95,47                      | 95,68    | 97,82    | 98,53     | 97,21     | 97,22     | 96,99              |
| Pastizal                                | 99,84                      | 99,83    | 99,86    | 99,95     | 99,92     | 99,92     | 99,89              |

A continuación se muestran tres ejemplos de las clasificaciones obtenidas. En la Figura 98 (clasificación basada en las 3 bandas del visible) se pueden observar las praderas de *Z. noltii* clasificadas de manera bastante precisa en referencia a la cartografía realizada por Garmendia et al. (2013b) tanto en la zona de Arketas (Figura 98B) como en la zona intermareal cercana a San Kristobal (Figura 98C). Aunque los hábitats de *Z. noltii* están bien representados, esta clasificación es más confusa que la clasificación basada en las tres bandas del visible y la banda del infrarrojo (Figura 99) y que la clasificación basada en las nueve bandas del visible y la banda del infrarrojo (Figura 100). En los mapas resultantes de estas dos últimas clasificaciones, los hábitats de *Z. noltii* están mejor delimitados y el resto de hábitats mejor discriminados. Comparando las Figura 98A, Figura 99A y Figura 100A se observa cómo la clasificación basada en las tres bandas del visible confunde zonas del canal con hábitats de marisma y los bordes de los canales con vegetación de dunas terciarias.

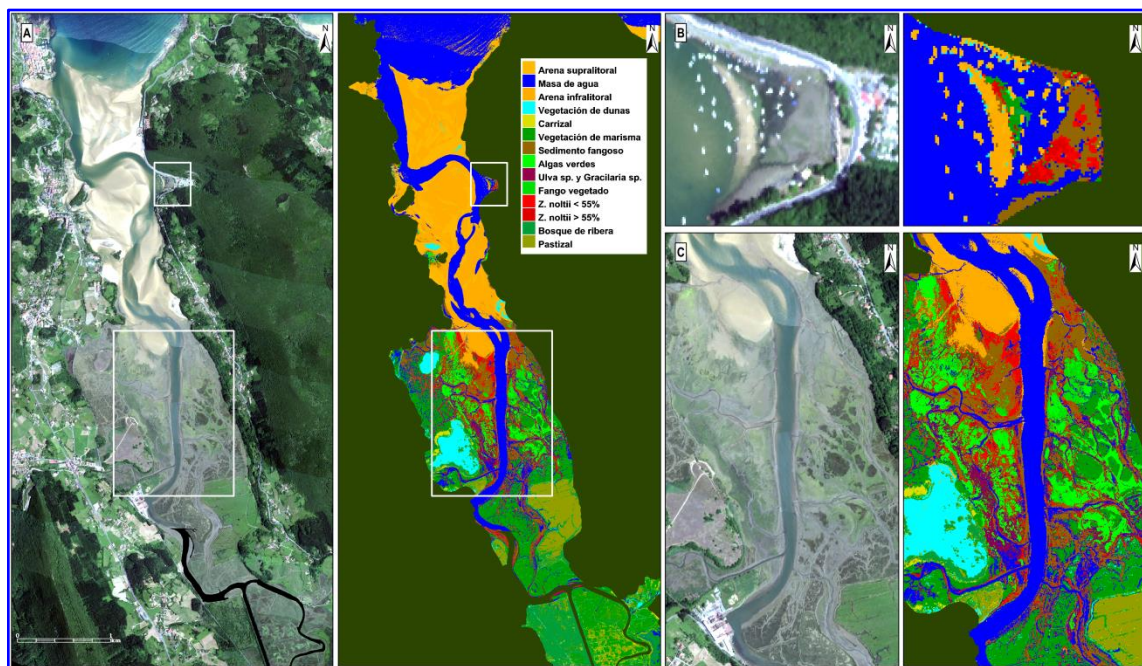


**Figura 98.** Mapa resultante de la clasificación realizada mediante el algoritmo de máxima verosimilitud utilizando la combinación de tres bandas del visible (banda 3, banda 7 y banda 12). **A.** Imagen de todo el estuario; **B.** Zoom a la zona de Arketas; **C.** Zoom a la zona intermareal cercana a San Kristobal.





**Figura 99.** Mapa resultante de la clasificación realizada mediante el algoritmo de máxima verosimilitud utilizando la combinación de tres bandas del visible (banda 3, banda 7 y banda 12) y una banda del infrarrojo cercano (banda 22). **A.** Imagen de todo el estuario; **B.** Zoom a la zona de Arketas; **C.** Zoom a la zona intermareal cercana a San Kristobal.



**Figura 100.** Mapa resultante de la clasificación realizada mediante el algoritmo de máxima verosimilitud utilizando la combinación de nueve bandas del visible (bandas 3, 4, 7, 12, 14, 15, 16, 18 y 20) y una banda del infrarrojo cercano (banda 22). **A.** Imagen de todo el estuario; **B.** Zoom a la zona de Arketas; **C.** Zoom a la zona intermareal cercana a San Kristóbal.

Teniendo en cuenta los resultados de la validación, se ha seleccionado la clasificación basada en diez bandas (la más fiable) para hacer un análisis del poder de discriminación del hábitat de *Z. noltii* en todo su rango de cobertura de 20 a 100%. Para ello ambas clases de hábitats de *Z. noltii* se combinaron creándose una sola clase. Se han generado matrices de confusión derivadas de la clasificación sin combinar las clases (Tabla 20) y con las clases combinadas (Tabla 21). En estas matrices se observa el grado de confusión para cada tipo de hábitat expresado en porcentaje. Como puede observarse en la Tabla 20 ambas clases de *Z. noltii* son las que mayor confusión presentan, dicha confusión se da principalmente entre las propias clases (píxeles que deberían clasificarse como *Z. noltii* cobertura < 55% se clasifican como *Z. noltii* cobertura > 55% y viceversa). Es por ello que suponemos que si se combinan las clases de hábitat de *Z. noltii* el grado de acierto de la clasificación aumentará. Esa mejora se observa en la Tabla 21, donde el hábitat combinado de *Z. noltii* (cobertura de 20 a 100%) se clasifica con un acierto del 90%. De las trece clases de hábitats, seis se clasifican en un 100% dentro de la clase a la que pertenecen. Vegetación de marismas, fango vegetado y algas verdes superan el 95%. Mientras que las clases de carrizal y *Ulva* sp. y *Gracilaria* sp. se confunden con otro tipo de hábitats al ser clasificadas y su porcentaje de clasificación baja a 89% y 81% respectivamente.

| Clasificación                           | VALIDACIÓN       |          |                     |              |   |                   |                |                        |                        |                    |                        |                 |        | Total |
|---|------------------|----------|---------------------|--------------|---|-------------------|----------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|-----------------|--------|-------|
|   | Vegetación dunas | Carrizal | Vegetación marismas | Algas verdes | <i>Ulva</i> sp. y <i>Gracilaria</i> sp. | Sedimento fangoso | Fango vegetado | <i>Z. noltii</i> < 55% | <i>Z. noltii</i> > 55% | Arena supralitoral | Masa agua infralitoral | Arena de ribera | Bosque |       |
| Vegetación dunas                        | 100              | 0        | 1                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0      | 13,71 |
| Carrizal                                | 0                | 89       | 0                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0      | 0,92  |
| Vegetación marismas                     | 0                | 3        | 97                  | 3            | 4                                       | 0                 | 0              | 0                      | 4                      | 0                  | 0                      | 0               | 0      | 3,58  |
| Algas verdes                            | 0                | 0        | 0                   | 95           | 2                                       | 0                 | 2              | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0      | 0,79  |
| <i>Ulva</i> sp. y <i>Gracilaria</i> sp. | 0                | 0        | 0                   | 0            | 81                                      | 0                 | 0              | 12                     | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0      | 0,43  |
| Sedimento fangoso                       | 0                | 0        | 0                   | 0            | 2                                       | 100               | 0              | 4                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0      | 0,69  |
| Fango vegetado                          | 0                | 0        | 0                   | 3            | 0                                       | 0                 | 98             | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0      | 0,5   |
| <i>Z. noltii</i> < 55%                  | 0                | 0        | 0                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 72                     | 41                     | 0                  | 0                      | 0               | 0      | 0,29  |
| <i>Z. noltii</i> > 55%                  | 0                | 0        | 0                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 12                     | 56                     | 0                  | 0                      | 0               | 0      | 0,19  |
| Arena supralitoral                      | 0                | 0        | 0                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                      | 0                      | 100                | 0                      | 0               | 0      | 5,11  |
| Masa agua                               | 0                | 0        | 1                   | 0            | 10                                      | 0                 | 0              | 0                      | 0                      | 0                  | 100                    | 0               | 0      | 26,57 |
| Arena infralitoral                      | 0                | 0        | 0                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 100             | 0      | 0,42  |
| Bosque de ribera                        | 0                | 7        | 1                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 100    | 9,68  |
| Pastizal                                | 0                | 1        | 0                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0      | 37,12 |
| Total                                   | 100              | 100      | 100                 | 100          | 100                                     | 100               | 100            | 100                    | 100                    | 100                | 100                    | 100             | 100    | 100   |

**Tabla 20.** Matriz de confusión (expresada en porcentaje) derivada de la comparación entre los hábitats clasificados mediante el método de máxima verosimilitud utilizando 10 bandas del vuelo CASI y los hábitats de referencia recogidos en campo para validación.

| Clasificación                           | VALIDACIÓN       |          |                     |              |   |                   |                |                  |                        |                        |                    |                        |                 | Total |
|---|------------------|----------|---------------------|--------------|---|-------------------|----------------|------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|-----------------|-------|
|   | Vegetación dunas | Carrizal | Vegetación marismas | Algas verdes | <i>Ulva</i> sp. y <i>Gracilaria</i> sp. | Sedimento fangoso | Fango vegetado | <i>Z. noltii</i> | <i>Z. noltii</i> < 55% | <i>Z. noltii</i> > 55% | Arena supralitoral | Masa agua infralitoral | Arena de ribera |       |
| Vegetación dunas                        | 100              | 0        | 1                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 13,7  |
| Carrizal                                | 0                | 89       | 0                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0,92  |
| Vegetación marismas                     | 0                | 3        | 97                  | 3            | 4                                       | 0                 | 0              | 2                | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 3,58  |
| Algas verdes                            | 0                | 0        | 0                   | 95           | 2                                       | 0                 | 2              | 0                | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0,79  |
| <i>Ulva</i> sp. y <i>Gracilaria</i> sp. | 0                | 0        | 0                   | 0            | 81                                      | 0                 | 0              | 6                | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0,43  |
| Sedimento fangoso                       | 0                | 0        | 0                   | 0            | 2                                       | 100               | 0              | 2                | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0,69  |
| Fango vegetado                          | 0                | 0        | 0                   | 3            | 0                                       | 0                 | 98             | 0                | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0,5   |
| <i>Z. noltii</i>                        | 0                | 0        | 0                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 90               | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 0,49  |
| Arena supralitoral                      | 0                | 0        | 0                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                | 0                      | 100                    | 0                  | 0                      | 0               | 5,11  |
| Masa agua                               | 0                | 0        | 1                   | 0            | 10                                      | 0                 | 0              | 0                | 0                      | 0                      | 100                | 0                      | 0               | 26,6  |
| Arena infralitoral                      | 0                | 0        | 0                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                | 0                      | 0                      | 0                  | 100                    | 0               | 0,42  |
| Bosque de ribera                        | 0                | 7        | 1                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 100             | 9,68  |
| Pastizal                                | 0                | 1        | 0                   | 0            | 0                                       | 0                 | 0              | 0                | 0                      | 0                      | 0                  | 0                      | 0               | 37,1  |
| Total                                   | 100              | 100      | 100                 | 100          | 100                                     | 100               | 100            | 100              | 100                    | 100                    | 100                | 100                    | 100             | 100   |

**Tabla 21.** Matriz de confusión (expresada en porcentaje) derivada de la comparación entre los hábitats clasificados mediante el método de máxima verosimilitud utilizando 10 bandas del vuelo CASI y los hábitats de referencia recogidos en campo para validación. La matriz se ha creado combinando los hábitats de *Zostera noltii* para crear una sola clase que comprende todo su rango de cobertura (del 20-10%).

Al combinar los hábitats de *Z. noltii* en una sola clase el coeficiente de acuerdo Kappa para la clasificación basada en las 10 bandas, aumenta de 0,988 a 0,99. Esto que se debe al fuerte aumento en la fiabilidad a la hora de clasificar la clase de *Z. noltii*. En la Tabla 22 se presenta el resumen de fiabilidad de la clasificación basada en 10 bandas cuando se evalúa combinando los hábitats de *Z. noltii*.

**Tabla 22.** Resumen de los datos de fiabilidad del productor y del usuario para cada clase de hábitat (las clases de *Z. noltii* ha diferentes coberturas se han combinado en una sola clase) y su promedio derivado de los resultados obtenidos en todas las clasificaciones.

| Clases de hábitat                              | Fiabilidad del productor (%) | Fiabilidad del usuario (%) |
|--|------------------------------|----------------------------|
| Vegetación dunas                               | 99,7                         | 99,85                      |
| Carrizal                                       | 89,13                        | 90,11                      |
| Vegetación marismas                            | 96,79                        | 94,05                      |
| Algas verdes ( <i>Ulva</i> sp.)                | 95                           | 97,44                      |
| <i>Ulva</i> sp. y <i>Gracilaria</i> sp.        | 81,25                        | 92,86                      |
| Sedimento fangoso                              | 100                          | 97,06                      |
| Fango vegetado                                 | 97,92                        | 95,92                      |
| <i>Zostera noltii</i> cobertura del 20 al 100% | 90,38                        | 97,92                      |
| Arena supralitoral                             | 100                          | 99,21                      |
| Masa agua                                      | 100                          | 99,66                      |
| Arena infralitoral                             | 100                          | 100                        |
| Bosque de ribera                               | 99,58                        | 98,53                      |
| Pastizal                                       | 99,38                        | 99,95                      |
| Promedio                                       | 96,09                        | 97,12                      |

Los datos proporcionados por el sensor hiperespectral aerotransportado ofrecen unos resultados bastante prometedores para la realización de estudios de distribución de praderas marinas, y especialmente muy útil para cartografiar superficies grandes (mayores a las que ocupan en los estuarios vascos) y para el objetivo de cartografiar otros hábitats del ecosistema estuárico (p. ej. marismas, juncas, fangales con *Ulva*, etc.). El estudio sugiere además que se podría cartografiar la densidad de hojas de *Z. noltii* en las zonas donde la planta está presente. Este tipo de datos se presta además a ser analizado con posterioridad para extraer información adicional cuyo objetivo no haya sido establecido inicialmente (p. ej. línea de costa, urbanización). El coste del vuelo y el procesado de las imágenes, no obstante, es elevado para el objetivo exclusivo de cartografiar las praderas marinas de los estuarios vascos, comparado al coste de una cartografía realizada in situ con GPS.



Por tanto, comparando las dos metodologías empleadas para cartografiar las praderas marinas en el País Vasco, se concluye que:

-la cartografía con GPS a pie de campo es más económica, más fiable, más rápida. Teniendo en cuenta la presencia y extensión actual de las praderas del País Vasco, este método se considera suficiente para su cartografiado; sin embargo, se recopila una información limitada (solamente aquella planificada en el inicio del muestreo).

-la cartografía con el sensor aerotransportado supone un mayor coste económico y requiere un mayor tiempo para el tratamiento de los resultados, pero puede abarcar grandes superficies, incluir zonas de difícil acceso, recoger gran cantidad de información (además de la correspondiente a las praderas) que pueden estudiarse con otros objetivos no planteados en un inicio. Este método únicamente sería recomendable para el País Vasco, en el caso de no limitarse a las praderas marinas y que la información recogida se analizara y explotara para múltiples objetivos.

#### 4.5.4.5 Conclusiones

El objetivo principal de este estudio ha sido evaluar el potencial de los datos hiperespectrales aerotransportados para la discriminación y cartografiado de las praderas marinas de *Z. noltii*. Según los resultados obtenidos podemos concluir que:

- A partir de la aplicación del índice de vegetación de diferencia normalizada basado en los datos hiperespectrales obtenidos mediante el CASI, es posible estimar la cobertura de las praderas de *Z. noltii* en las zonas de presencia de la especie.
- La combinación de 10 bandas provenientes del sensor hiperespectral CASI permiten clasificar y, por lo tanto, cartografiar 13 diferentes tipos de hábitats que cubren la zona supralitoral, intermareal y submareal con un grado de acierto del 96,09%.
- A partir de la combinación de 10 bandas espectrales seleccionadas es posible discriminar las praderas de *Z. noltii* con un grado de acierto del 90% en zonas de alta densidad de la planta. No obstante, mucha extensión de *Z. noltii* se encuentra con baja densidad que el CASI no es capaz de detectar, y por ello la zona común entre la cartografía GPS y la del CASI coinciden solo en un 25%.

## 5 CONCLUSIONES

### 5.1 CONCLUSIONES DE 2013

En el transcurso de los distintos trabajos que se han llevado a cabo a lo largo de este año 2013 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 son las siguientes:

**1.** Los diferentes **trasplantes realizados** a lo largo de los últimos años en la ría del Butroe presentan en 2013 los siguientes **crecimientos** respecto a la superficie inicialmente trasplantada: **75%** los de 2009; **150%** los de 2011; **220%** y **80%** las dos zonas trasplantadas en 2012.

**2.** En cuanto a la recuperación de las zonas donantes de plantas en el estuario del Oka, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- **Tras 43 meses**, la zona donante del trasplante de 2010 (sedimento fangoso) en el Oka se considera **completamente recuperada**.
- **Tras 12 meses**, prácticamente **se ha recuperado** la zona donante del trasplante de 2012.
- La zona donante del trasplante de 2011 ya se había recuperado a los 7 meses después de realizada la intervención.

**3.** En lo referente a los **ensayos** de germinación de **semillas**:

- La **tasa de germinación** de las semillas del Oka es **elevada** (87%), superior a la del Bidasoa (62%) y similar a las de otras poblaciones europeas. Además, estas semillas presentan una **rápida germinación**: en 7 días han germinado el 46% de las del Bidasoa y el 52% del Oka; en 16 días el 52% del Bidasoa y el 70% del Oka. Posteriormente la tasa se ralentiza mucho. Las semillas del Bidasoa se han visto afectadas en mayor medida que las del Oka por el desarrollo de un “hongo” que no ha sido identificado de manera precisa.
- Las **semillas sembradas** en campo (Bidasoa y Butroe) **no** han producido **nuevas plantas**. Quizás habría que aumentar el número de semillas teniendo en cuenta su bajo porcentaje de desarrollo.

- No se han podido obtener **plántulas** mediante germinación de semillas **en laboratorio**. Se debe mejorar la técnica.

**4.** Los trabajos realizados sobre el **efecto del marisqueo** en las praderas de *Zostera noltii* ofrecen los siguientes resultados:

- El estuario del Oka se ve sometida en la actualidad a una **elevada frecuencia e intensidad de marisqueo**. Este marisqueo se desarrolla en gran parte sobre la pradera marina.
- A pesar de que el número de mariscadores profesionales está descendiendo, la presencia de mariscadores recreativos y furtivos parece que va en aumento, por lo que la presión sobre la pradera no parece disminuir.
- El **marisqueo** en el estuario del Oka **afecta negativamente** tanto a la densidad como a la biomasa de la pradera marina.
- El efecto negativo es mayor en sedimentos fangosos que en sedimentos arenosos.
- *Zostera noltii* se ve más afectada por el pisoteo que por la actividad de agujereado que se realiza para la extracción de organismos.
- El **desconocimiento** sobre las praderas marinas y su importancia como elemento fundamental del ecosistema estuárico es **total** por parte de los mariscadores. Esta falta de información se convierte en una amenaza a la hora de ejecutar distintas actividades en este entorno: los usuarios desconocen la gravedad del impacto de su actividad.

**5.** Del trabajo de cartografiado de las praderas de *Zostera noltii* a partir de un vuelo puede concluirse lo siguiente:

- A partir de la aplicación del índice de vegetación de diferencia normalizada basado en los **datos hiperespectrales** obtenidos mediante el CASI, **es posible estimar la cobertura** de las praderas de *Z. noltii* en las zonas de presencia de la especie.
- La combinación de 10 bandas provenientes del sensor hiperespectral CASI permite **clasificar** y, por lo tanto, **cartografiar** 13 diferentes **tipos de hábitats** que cubren la zona supralitoral, intermareal y submareal con un grado de acierto del 96,09%.
- A partir de la combinación de 10 bandas espectrales seleccionadas es posible discriminar las praderas de *Z. noltii* con un grado de acierto del 90% en zonas de alta densidad de la planta. No obstante, mucha extensión de *Z. noltii* se encuentra con baja densidad que el CASI no es capaz de detectar, y por ello la zona común entre la cartografía GPS y la del CASI coinciden solo en un 25%.

## 5.2 RESUMEN DE CONCLUSIONES (2008-2013)

En el transcurso de los estudios correspondientes a las praderas marinas del País Vasco que se vienen realizando desde el año 2008 dentro del convenio firmado entre AZTI-Tecnalia y URA, hasta el momento se han obtenido las siguientes conclusiones más relevantes:

**1. Caracterización hábitat de praderas vascas.** Las poblaciones vascas de *Zostera noltii* se encuentran establecidas en los estuarios, en zonas relativamente protegidas, tanto en sedimentos fangosos como en arenosos, pero siempre en la zona intermareal de poca pendiente. La mayor superficie ocupada por esta especie corresponde a la franja de altura mareal entre 1,5 y 2,5 m (referido al cero de Bilbao), hallándose sus límites de presencias extremas a 0,25 m y 3,54 m de altura; la pendiente varía entre 0,01 y 8,36°; el tamaño medio de grano varía entre 1,47 y 5,91 phi; y la velocidad de reflujo entre 0 y 35,81 cm.s<sup>-1</sup>; pueden formar densos agregados, estando poco definidas y compartiendo el espacio con otras especies (fundamentalmente de algas) o también pueden presentarse distribuidas por agregados, con forma circular y pequeño tamaño, muy densas y bien definidas.

**2. Estuarios receptores.** En base a su elevado grado de artificialización o humanización, encauzamiento y ausencia de llanuras intermareales los estuarios de Oiartzun, Urumea, Deba y Nervión son descartados como receptores potenciales de praderas. Artibai aún presenta valores elevados de contaminación. De esta manera, quedan 4 estuarios cuyas posibilidades de recibir trasplantes han de ser analizadas en mayor profundidad: Oria, Urola, Butroe y Barbadun.

**3. Estuario para la primera prueba.** Dentro de los candidatos potenciales, el estuario del Butroe es el que, entre los estuarios vascos que en la actualidad no presentan poblaciones de *Zostera noltii*, ofrece unas condiciones ambientales de mejor calidad y, por tanto, las mayores garantías de poder acoger de manera exitosa una actuación de trasplante con plantas procedentes de otro estuario vasco.

**4. Estuario donante.** Entre las praderas marinas existentes en el País Vasco, el estuario del Oka es el más apropiado para actuar como donante de ejemplares de *Zostera noltii* por ser la población más cercana al estuario receptor (Butroe), y tras haberse confirmado las diferencias genóticas existentes entre las poblaciones vascas de *Z. noltii*.

**5. Metodología de trasplante.** En base a las posibilidades de manipulación y resultados obtenidos, el parche o cepellón (conjunto de plantas y sedimento sobre el que ésta se asienta)



ha resultado ser una unidad de trasplante (UT) adecuada para la ejecución de trasplantes de *Zostera noltii* a pequeña escala. En las distintas pruebas realizadas, se ha confirmado que 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.

**6. Recuperación de la población donante.** En sedimentos fangosos se requiere unos 17 meses para rellenarse la zanja producida y otros 26 meses para su colonización natural por *Zostera noltii* a partir de la población circundante.

**7. Recuperación de la población donante.** En sedimentos arenosos la recuperación natural (únicamente la colonización vegetal) de la alteración provocada por la extracción de UTs requiere entre 7 y 12 meses.

**8. Arenas vs Fangos.** Los sedimentos arenosos parecen medios más idóneos para el desarrollo de las praderas: los trasplantes en sedimentos arenosos presentan un crecimiento inicial más acelerado que los sedimentos fangosos.

**9. Zona receptora.** La correcta selección de la zona receptora es crucial. Deben tenerse en cuenta los eventos puntuales que se repiten cada año. Fracasó la prueba del trasplante en arenas cercanas al canal del Butroe (por una riada que se llevó todo el sustrato). También fracasó la prueba realizada en las arenas del Urola (por ser un medio con elevado hidrodinamismo, reflejado en la movilidad del sedimento).

**10. Idoneidad del Butroe.** Los sedimentos fangosos del Butroe son adecuados para recibir trasplantes de pradera marina. A pesar de que la zona sufre episodios de movilización de sedimento (aportes y erosión) y de crecimiento de macroalgas (que se repite anualmente en primavera), factores importantes que pueden obstaculizar el buen desarrollo de la planta, en la actualidad sobreviven UTs trasplantadas en 2009, 2011 y 2012: tras 54 meses de los 0,48 m<sup>2</sup> iniciales se mantiene el 75%; tras 29 meses de los 1,23 m<sup>2</sup> iniciales se tiene un 150%; tras 18 meses de los 0,82 m<sup>2</sup> iniciales se tiene un 220%; y tras 18 meses de los 2,05 m<sup>2</sup> iniciales se mantiene un 80%.

**11. Cartografía actualizada.** La superficie total ocupada por *Z. noltii* en los estuarios vascos en 2012 fue de 19,79 ha: 17,20 ha en el Oka, 1,97 ha en el Bidasoa y 0,62 ha en el Lea.

**12. Evolución reciente de la superficie de pradera marina.** 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.

**13. Estructura genética de las poblaciones.** 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.

**14. Vulnerabilidad.** 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.

**15. Floración.** Se han encontrado flores de *Zostera noltii* en las praderas marinas de los estuarios vascos entre junio y noviembre (ambos inclusive). Teniendo en cuenta las fases de desarrollo de las flores y frutos, los meses que presentan una mayor garantía para una buena recolección de semillas son septiembre y octubre.

**16. Semillas.** Las semillas procedentes del Oka presentan una mayor viabilidad que las del Bidasoa, al menos en su fase inicial. La tasa de germinación de las semillas del Oka es elevada (87%), superior a la del Bidasoa (62%) y similar a las de otras poblaciones europeas. Además, estas semillas presentan una rápida germinación: en 7 días han germinado el 46% de las del Bidasoa y el 52% del Oka; en 16 días el 52% del Bidasoa y el 70% del Oka. Posteriormente la tasa se ralentiza mucho.

**17. Idoneidad de Hábitat (*Habitat Suitability*).** Se han comparado 3 modelos de idoneidad de hábitat para *Z. noltii*: Modelo Aditivo Generalizado (GAM), Análisis Factorial de Nicho Ecológico (ENFA) y Máxima Entropía (MaxEnt). El modelo GAM mostró una mayor predicción con un valor de varianza explicada del 95% y por lo tanto tiene la capacidad de explicar muy satisfactoriamente la distribución de la especie. El modelo está basado en cuatro variables ambientales: 1) altura intermareal, que es la variable más explicativa (70,1%); 2) velocidad máxima de la corriente es la segunda variable más importante (56,6%); 3) la variable relativa a la media granulométrica es la tercera (36,3%), y 4) pendiente de la planicie intermareal que es la variable que menos explica (11,8%). El mapa generado mediante el Modelo Aditivo Generalizado (GAM) para *Zostera noltii* refleja que hay mucho hábitat disponible para dicha especie en el estuario del Oka que no está siendo ocupado actualmente; corresponden a zonas de la parte central del estuario a ambos lados del canal, tanto en San Kristobal como en Kanala.

**18. Imágenes aéreas.** Los datos hiperespectrales obtenidos mediante el sensor hiperespectral CASI se consideran una buena metodología de cartografiado ya que permiten una correcta estimación de la cobertura de las praderas de *Z. noltii* en las zonas de presencia de la especie. También permiten clasificar y, por lo tanto, cartografiar 13 diferentes tipos de hábitats que cubren la zona supralitoral, intermareal y submareal con un grado de acierto del 96%.

**19. Arketas.** El fondeadero de Arketas debe reordenarse para que las embarcaciones no afecten o afecten lo menos posible a la pradera marina. En verano aumenta el número de embarcaciones a motor en esta zona, precisamente las que se fondean en el centro de la ensenada, justo encima de la pradera.

**20. Marisqueo.** El marisqueo en el estuario del Oka afecta negativamente tanto a la densidad como a la biomasa de la pradera marina. El efecto es mayor en sedimentos fangosos que en sedimentos arenosos. *Zostera noltii* se ve más afectada por la alteración producida debido al pisoteo que por la actividad de agujereo que se realiza para la extracción de organismos. A pesar de que el número de mariscadores profesionales está descendiendo en los últimos años, las praderas marinas del Oka continúan sometidas a una elevada frecuencia e intensidad de marisqueo debido al aumento de mariscadores recreativos y furtivos.

**21. Marisqueo histórico.** Las praderas de *Z. noltii* llevan conviviendo con la actividad marisquera durante varias décadas y han sobrevivido. Sin embargo, ésta no deja de ser una presión continua que impide un crecimiento natural, un aumento de su superficie y la posible colonización de otros hábitats idóneos para su desarrollo.

**22. Información y concienciación.** El desconocimiento sobre las praderas marinas y su importancia como elemento fundamental del ecosistema estuárico es total por parte de los mariscadores y por gran parte de la población general. Esta falta de información se convierte en una amenaza a la hora de ejecutar distintas actividades en este entorno: los usuarios desconocen la gravedad del impacto de su actividad. La información al público de la existencia del presente proyecto, de sus objetivos y resultados tienen una gran importancia. Se debe informar sobre los valores y funciones ecológicas de las praderas marinas y tratar de inculcar la conveniencia de su protección y conservación. En este sentido, la concienciación es una estrategia imprescindible para contar con la aprobación y colaboración de los habitantes así como de los usuarios de la zona (mariscadores, pescadores, dueños de embarcaciones).

## 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. Se considera imprescindible la continuación de los trabajos para mejorar el conocimiento de las praderas marinas. A continuación se presenta una serie de propuestas de trabajo en este sentido:

- Continuar con el seguimiento de los trasplantes realizados hasta la fecha.
- Estudiar la posibilidad de realizar nuevas actuaciones de trasplante y aprovechar esos 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.
- Aplicar el modelo de idoneidad de hábitat (*Habitat Suitability*) en distintos estuarios vascos para la búsqueda de nuevas zonas potenciales receptoras de trasplante.
- 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.
- Desarrollar un nuevo experimento de evaluación del marisqueo sobre las praderas marinas.
- Regular y controlar el marisqueo en las zonas de pradera marina, intentando instaurar un modelo de gestión participativa con el compromiso y responsabilidad compartida de todos los actores. Se podría abordar la zonificación del espacio ocupado por *Zostera noltii*, la regulación de actividades, el establecimiento de un registro centralizado de actividades desarrolladas en las praderas de *Zostera noltii* (especialmente para mariscadores profesionales)...
- Estudiar el desarrollo de apartados específicos para las praderas marinas dentro de los planes de gestión de los tres estuarios principales (Oka, Bidasoa y Lea).
- Informar, concienciar y educar a los usuarios de los estuarios (especialmente a los mariscadores), 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 en las zonas ocupadas por praderas marinas.
- Mantener contactos con expertos de otros grupos de investigación para intercambio de experiencias sobre fanerógamas marinas (su conservación, gestión, repoblaciones...).



## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Alexandre, A., R. Santos y E. Serrao, 2005. Effects of clam harvesting on sexual reproduction of the seagrass *Zostera noltii*. Marine Ecology Progress Series, 198: 115-122.
- 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.
- Auby, I., C.A. Bost y H. Budzinski, 2011. Régression des herbiers de zostères dans le Bassin d'Arcachon: état des lieux et recherche des causes Gironde Conseil General: 194 pp.
- Austin, M.P., 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. Ecological Modelling, 157: 101-118.
- Bargain, A., M. Robin, E. Le Men, A. Huete y L. Barillé, 2012. Spectral response of the seagrass *Zostera noltii* with different sediment backgrounds. Aquatic Botany, 98: 45-56.
- 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>
- Boese, B.L., 2002. Effects of recreational clam harvesting on eelgrass (*Zostera marina*) and associated infaunal invertebrates: in situ manipulative experiments. Aquatic Botany, 73: 63-74.
- 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. Aguirrezabalaga, I. Cruz, A. Laza, M.A. Marquiegui, J. Martínez, E. Orive, J.Mª Ruiz, S. Seoane, J.C. Sola y 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. 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., S. Alexandre y R. Santos, 2005. Population-level effects of clam harvesting on the seagrass *Zostera noltii*, Marine Ecology Progress Series, 298: 123-129.

- 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. Santos y C.M. Duarte, 2008. The impact of sediment burial and erosion on seagrasses: A review. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 79: 354-366.
- 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., D. Ducrot y J.L. Pretus, 2004. Land cover discrimination potential of radar multitemporal series and optical multispectral images in a Mediterranean cultural landscape. International Journal of Remote Sensing, 5: 3513-3528.
- Chust, G., I. Galparsoro, Á. Borja, J. Franco, B. Beltrán y A. Uriarte, 2007. Detección de cambios recientes en la costa vasca mediante ortofotografía. Lurralde, 30: 59-72.
- Chust, G., I. Galparsoro, Á. Borja, J. Franco y A. Uriarte, 2008. Coastal and estuarine habitat mapping, using LIDAR height and intensity and multi-spectral imagery. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 78: 633-643.
- Chust, G., Á. Borja, A. del Campo, P. Liria, J. Franco, I. Muxika, R. Roa, J.G. Rodríguez y 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.
- Chuvieco, E., 1996. Fundamentos de Teledetección Espacial. Rialp, Madrid, 568 pp.
- Cochón, G. y J.M. Sánchez, 2005. Variations of seagrass beds in Pontevedra (North-Western Spain): 1947-2001. Thalassas, 21(2): 9-19.
- 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.

- Cullen-Unsworth, L. y R. Unsworth, 2013. Seagrass Meadows, Ecosystem Services, and Sustainability. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 55: 14-28.
- 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.
- De la Torre, C. y O. Ronnback, 2004. Links between humans and seagrass-an example from tropical East Africa. *Ocean and Coastal Management*, 47: 361-387.
- Duarte, C.M., J. Borum, F.T. Short y D.I. Walker, 2008. 18 Seagrass ecosystems: their global status and prospects. In: *Aquatic Ecosystems*, N.V.C Polunin (Ed.), Cambridge University Press: 281-294.
- Ekrich, C.E. y J.G. Holmquist, 2000. Trampling in a seagrass assemblage: direct effects, response of associated fauna, and the role of substrate characteristics. *Marine Ecology Progress Series*, 201: 199-209.
- 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.
- Foody, G.M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80: 185-201.
- Galparsoro, I., G. Chust, C. Hernández, Á. Borja, A. del Campo y A. Uriarte, 2008. Seafloor cartography and habitat mapping of the Basque inner continental shelf. In: *Proceedings of the XI International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay*, AZTI-Tecnalia, San Sebastian.
- Garaita, R., 2010. Migración postnupcial de la Espátula común (*Platalea leucorodia*) en Urdaibai, Informe para el Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca (Gobierno Vasco), 78 pp.
- 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., G. Chust, J. Franco y Á. Borja, 2013a. Impacto del fondeadero de embarcaciones sobre la pradera marina de *Zostera noltii* en Arketas (estuario del Oka) y propuesta de medidas correctoras. Documento elaborado por AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua – Uraren Euskal Agentzia, 11 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>.
- Garmendia, J.M., M. Valle, Á. Borja, G. Chust y J. Franco, 2013b. Cartografía de *Zostera noltii* en la costa vasca: cambios recientes en su distribución (2008-2012). *Revista de Investigación Marina*, AZTI-Tecnalia, 20(1): 1-22. <http://www.azti.es/rim>.

- 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.
- Guimaraes, M.H.M.E., A.H. Cunha, R.L. Nzinga y J.F. Marques, 2012. The distribution of seagrass (*Zostera noltii*) in the Ria Formosa lagoon system and the implications of clam farming on its conservation. *Journal of Nature Conservation*, 20(1): 30-40.
- Guisan, A. y N. Zimmermann, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135:147-186.
- Hamburg, S.P. y 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 y 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: 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.
- Nordlund, L.M. y M. Gullström, 2013. Biodiverssity loss in seagrass meadows due to local invertebrate fisheries and harbour activities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 135: 231-240.
- 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.
- Park, S.R., Y.K. Kim, J.H. Kim, C.K. Kang y K.S. Lee, 2011. Rapid recovery of the intertidal seagrass *Zostera japonica* following intense Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) harvesting activity in Korea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 407: 275-283.
- Patterson, J., E. Linden, J.K.P. Edward, D. Wilhelmsson y I. Lofgren, 2009. Community-based environmental education in the fishing villages of Tuticorin and its role in conservation of the environment. *Australian Journal of Adult Learning*, 49(2): 382-393.
- 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 y 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. y S. Wyllie-Echeverria, 1996. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental Conservation*, 23(1): 17-27.
- 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.
- Short, F.T., B. Polidoro, S.R. Livingstone, K.E. Carpenter, S. Bandeira, J.S. Bujang, H.P. Calumpong, T.J.B. Carruthers, R.G. Coles, W.C. Dennison, P.L.A. Erftemeijer, M.D. Fortes, A.S. Freeman, T.G. Jagtap, A.H.M. Kamal, G.A. Kendrick, W. Judson Kenworthy, Y.A. La Nafie, I.M. Nasution, R.J. Orth, A. Prathep, J.C. Sanciango, B. v. Tussenbroek, S.G. Vergara, M. Waycott y J.C. Zieman, 2011. Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *Biological Conservation*, 144: 1961-1971.
- Silván, F. y 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.
- Stehman, S.V., 1997. Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 62: 77-89.
- Talavera, S., 2010. *Zostera* L. en Castroviejo, S., Aedo, C., Láinz, 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.
- Treitz, P. y P. Howarth, 2000. High Spatial Resolution Remote Sensing Data for Forest Ecosystem Classification: An Examination of Spatial Scale. *Remote Sensing of Environment*, 72: 268-289.
- 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.

- Valle, M., M.M. van Katwijk, D.J. de Jong, T.J. Bouma, A.M. Schipper, G. Chust, B.M. Benito, J.M. Garmendia y Á. Borja, 2013. Comparing the performance of species distribution models of *Zostera marina*: Implications for conservation. *Journal of Sea Research*, 83: 56-64.
- Van Alstyne, K.L., J.C. Flanagan y S.A. Gifford, 2011. Recreational clam harvesting affects sediment nutrient remineralization and the growth of the green macroalga *Ulva lactuca*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 401: 57-62.
- van Katwijk, M.M., D.C.R. Hermus, D.J. de Jong, R.M. Asmus y V.N. de Jonge, 2000. Habitat suitability of the Wadden Sea for restoration of *Zostera marina* beds. *Helgoland Marine Research*, 54: 117-128.
- 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 y 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.
- Wynberg, R.P. y G.M. Branch, 1997. Trampling associated with bait-collection for sandprawns *Callinassa kraussi* Stebbing: effects on the biota of an intertidal sandflat. *Environmental Conservation*, 24: 139-148.
- 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:

A Itziar Canive (estudiante de Biología en prácticas) por su colaboración en los muestreos del experimento de evaluación del impacto del marisqueo.

Al Parque Ecológico de Plaiaundi y al Patronato de la Reserva de Urdaibai por autorizar y facilitar los muestreos y experimentos en las marismas de Txingudi (Bidasoa) y dentro de la Reserva de la Biosfera (Oka), respectivamente.

A Juan Jose Badiola, Amalia Salazar, Rosa Mintegi y Alejandro Diez (mariscadores profesionales de la Cofradía de pescadores de Mundaka), por colaborar desinteresadamente en la obtención de datos y permitir el acompañamiento en su jornada laboral.

A Rafael Garaita, Joseba del Villar y José Ignacio García-Plazaola por ceder información detallada sobre afluencia humana en el Oka (informes sobre la espátula).



## 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 (3)

#### A.-ORALES (4):

1.- "Estado de las poblaciones de *Zostera noltii* en los estuarios vascos y acciones para su recuperación". Garmendia, J.M., Valle, M., Borja, Á., Chust, G. & Franco, J. **"TV Congreso Nacional de Biodiversidad y I Congreso Ibérico de Biodiversidad"** organizado por Neiker-Tecnalia, Bilbao (Bizkaia), 6-8 febrero, 2013.

2.- "Coupling hydromorphologic and habitat models to project changes in seagrass distribution under two sea level rise scenarios". Valle, M., Chust, G., del Campo, A., Garmendia, J.M., Borja, Á. & Franco, J. **"GEOHAB 2013 – Marine Geological and Biological Habitat Mapping"**, Roma (Italia), 6-10 mayo, 2013.

3.- "Modelling the response of *Zostera noltii* seagrass and saltmarshes to climate change". Valle, M., Chust, G., del Campo, A., Garmendia, J.M., Borja, Á., Wisz, M.S. & Olsen, S.M. **"ICES Annual Science Conference 2013"** organizado por ICES (International Council for the Exploration of the Sea), Reykjavik (Islandia), 23-27 Septiembre, 2013

4.- "Las praderas marinas vascas en 2012 y estudios sobre el efecto del marisqueo (datos preliminares)". Garmendia, J.M., Valle, M., Borja, Á., Chust, G. & Franco, J. **II Jornadas Técnicas "Las praderas marinas en el litoral español: Conservación, Uso y Gestión"** en el marco del proyecto Life +Posidonia Andalucía, Málaga, 9-10 octubre de 2013.

### ► PUBLICACIONES (4)

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

2.- Valle, M., M.M. van Katwijk, D.J. de Jong, T.J. Bouma, A.M. Schipper, G. Chust, B.M. Benito, J.M. Garmendia y Á. Borja. 2013. Comparing the performance of species distribution models of *Zostera marina*: implications for conservation. *Journal of Sea Research*. **83**: 56-64.

3.- Chust, G., A. Albaina, A. Aranburu, Á. Borja, O.E. Diekmann, A. Estonba, J. Franco, J.M. Garmendia, M. Iriondo, I. Muxika, F. Rendo, J.G. Rodríguez, O. Ruiz-Larrañaga, E.A. Serrao y M. Valle. 2013. Connectivity, neutral theories, and the assessment of species vulnerability to global change in temperate estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. **131**: 52-63.

4.- Valle, M., G. Chust, A. del Campo, M.S. Wisz, S.M. Olsen, J.M. Garmendia y Á. Borja. Aceptado En prensa. Projecting future distribution of *Zostera noltii* under climate change scenarios at its biogeographical range and at local levels. *Biological Conservation*.



**IV Congreso de BIODIVERSIDAD**  
Bilbao, 6, 7 y 8 de febrero de 2013

## Estado de las poblaciones de *Zostera noltii* en los estuarios vascos y acciones para su recuperación

J.M. GARMENDIA, M. VALLE, Á. BORJA, G. CHUST, J. FRANCO  
[jgarmendia@azti.es](mailto:jgarmendia@azti.es) AZTI-TECNALIA



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



ur agentzia  
agencia vasca del agua


2/5/2013 1

## Coupling hydromorphologic and habitat models to project changes in seagrass distribution under two sea level rise scenarios


MIREIA VALLE, GUILLEM CHUST, ANDREA DEL CAMPO, JOXE MIKEL GARMENDIA, ÁNGEL BORJA, JAVIER FRANCO

MARINE ENVIRONMENT MANAGEMENT AREA

CONTACT  
Txatxarramendi ugarte a z/g E-48395 Sukarrieta, Bizkaia.  
Mail: [mvalle@azti.es](mailto:mvalle@azti.es)  
T. +34 667 174 451



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





**GEOHAB**  
Marine Geological and Biological  
Habitat Mapping

ICES Annual Science Conference 2013 23-27 Sep 2013, Reykjavik, Iceland

## Modelling the response of *Zostera noltii* seagrass and saltmarshes to climate change

Mireia Valle<sup>(1)</sup>, Guillem Chust<sup>(1)</sup>, Andrea del Campo<sup>(1)</sup>, Mary S. Wisz<sup>(2)</sup>, Steffen M. Olsen<sup>(3)</sup>, Joxe M. Garmendia<sup>(1)</sup>, Ángel Borja<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Fundación AZTI, Spain  
<sup>(2)</sup> Aarhus University, Denmark  
<sup>(3)</sup> Danish Meteorological Institute, Denmark


II Jornadas Técnicas "Las praderas marinas en el litoral español: Conocimiento, Valorización y Gestión"



## Las praderas marinas vascas en 2012 y estudios sobre el efecto del marisqueo (resultados preliminares)

J.M. GARMENDIA, M. VALLE, Á. BORJA, G. CHUST, J. FRANCO  
[jgarmendia@azti.es](mailto:jgarmendia@azti.es) AZTI-TECNALIA




10/11/2013 1





Journal of Sea Research 83 (2013) 56–64



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Sea Research

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/seares](http://www.elsevier.com/locate/seares)



## Comparing the performance of species distribution models of *Zostera marina*: Implications for conservation<sup>☆</sup>

Mireia Valle<sup>a,\*</sup>, Marieke M. van Katwijk<sup>b</sup>, Dick J. de Jong<sup>c</sup>, Tjeerd J. Bouma<sup>d</sup>, Aafke M. Schipper<sup>b</sup>, Guillem Chust<sup>a</sup>, Blas M. Benito<sup>e</sup>, Joxe M. Garmendia<sup>f</sup>, Ángel Borja<sup>f</sup>

<sup>a</sup> AZTI-Tecnalia, Marine Research Division, Txautarramendi 1/a z/g, 48395, Sukarrieta, Spain

<sup>b</sup> Radboud University Nijmegen, Department of Environmental Science, Institute for Water and Wetland Research, Heyendaalseweg 135, 6525 AJ Nijmegen, The Netherlands

<sup>c</sup> Directorate-general for Public Works and Water Management, Division Zealand of the Ministry of the Infrastructure and Environment, P.O. Box 80339, NL-4330 EA Middelburg, The Netherlands

<sup>d</sup> Royal Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ), P.O. Box 140, 4400 AC Yersele, The Netherlands

<sup>e</sup> University of Granada, Department of Ecology, Andalusian Environmental Centre, Avda. del Mediterráneo s/n, 18006, Granada, Spain

<sup>f</sup> AZTI-Tecnalia, Marine Research Division, Herrera Kaia, Portualdea z/g, E-20110 Hendaia, Spain

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 13 December 2012

Received in revised form 5 March 2013

Accepted 8 March 2013

Available online 15 March 2013

#### Keywords:

Intertidal

Dynamics

Conservation

Seagrasses

Ecosystem Management

Wadden Sea

### ABSTRACT

Intertidal seagrasses show high variability in their extent and location, with local extinctions and (re-)colonizations being inherent in their population dynamics. Suitable habitats are identified usually using Species Distribution Models (SDM), based upon the overall distribution of the species; thus, accounting solely for spatial variability. To include temporal effects caused by large interannual variability, we constructed SDMs for different combinations and fusions of yearly distribution data. The main objectives were to: (i) assess the spatio-temporal dynamics of an intertidal seagrass bed of *Zostera marina*; (ii) select the most accurate SDM techniques to model different temporal distribution data subsets of the species; (iii) assess the relative importance of the environmental variables for each data subset; and (iv) evaluate the accuracy of the models to predict species conservation areas, addressing implications for management. To address these objectives, a time series of 14-year distribution data of *Zostera marina* in the Ems estuary (The Netherlands) was used to build different data subsets: (1) total presence area; (2) a conservative estimate of the total presence area, defined as the area which had been occupied during at least 4 years; (3) core area, defined as the area which had been occupied during at least 2/3 of the total period; and (4–6) three random selections of monitoring years. On average, colonized and disappeared areas of the species in the Ems estuary showed remarkably similar transition probabilities of 12.7% and 12.9%, respectively. SDMs based upon machine-learning methods (Boosted Regression Trees and Random Forest) outperformed regression-based methods. Current velocity and wave exposure were the most important variables predicting the species presence for widely distributed data. Depth and sea floor slope were relevant to predict conservative presence area and core area. It is concluded that, the fusion of the spatial distribution data from four monitoring years could be enough to establish an accurate habitat suitability model of *Zostera marina* in the Ems estuary. The methodology presented offers a promising tool for selecting realistic conservation areas for those species that show high population dynamics, such as many estuarine and coastal species.

© 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

Seagrasses play an important role in maintaining a diverse and healthy coastal ecosystem (Björk et al., 2008) and providing many environmental functions, which lead seagrass ecosystems to be amongst the

most valuable ecosystems in the world (Costanza et al., 1997). However, their habitat is being fragmented and lost worldwide (Duarte, 2002; Hughes et al., 2009), with rates of decline accelerating in recent years (Waycott et al., 2009), and seagrass beds disappearing completely in some areas (Green and Short, 2003; Kirkman, 1997; Short et al., 2006). In contrast to this global crisis of seagrass ecosystems, recent researches have detected a recovery of mixed intertidal beds of *Zostera marina* and *Zostera noltii* in the North Frisian Wadden Sea (Germany) (Dolch et al., 2012), and a steady and linear increase in *Z. noltii* meadow areas within Bourgneuf Bay (France) (Barillé et al., 2010). These encouraging results reveal the potential for seagrass recovery, highlighting the importance of the assignment of suitable areas to permit the conservation of these valuable ecosystems.

Abbreviations: SDM, Species Distribution Models; TPA, total presence area; CPA, conservative presence area.

<sup>☆</sup> Given his role as Managing Guest Editor, Ángel Borja had no involvement in the peer-review of this article and has no access to information regarding its peer-review. Full responsibility for the editorial process for this article was delegated to Joan-Carlos Marques.

\* Corresponding author. Tel.: +34 667174451.

E-mail address: [mvalle@azti.es](mailto:mvalle@azti.es) (M. Valle).

1385-1101/\$ – see front matter © 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2013.03.002>

Estuarine, Coastal and Shelf Science 131 (2013) 52–63

Contents lists available at ScienceDirect



Estuarine, Coastal and Shelf Science

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecss](http://www.elsevier.com/locate/ecss)



## Connectivity, neutral theories and the assessment of species vulnerability to global change in temperate estuaries



Guillem Chust<sup>a,\*</sup>, Aitor Albaina<sup>b</sup>, Aizkorri Aranburu<sup>a</sup>, Ángel Borja<sup>a</sup>, Onno E. Diekmann<sup>c</sup>, Andone Estonba<sup>b</sup>, Javier Franco<sup>a</sup>, Joxe M. Garmendia<sup>a</sup>, Mikel Iriondo<sup>b</sup>, Iñigo Muxika<sup>a</sup>, Fernando Rendo<sup>b</sup>, J. Germán Rodríguez<sup>a</sup>, Otsanda Ruiz-Larrañaga<sup>b</sup>, Ester A. Serrão<sup>c</sup>, Mireia Valle<sup>a</sup>

<sup>a</sup> AZTI-Tecnalia, Marine Research Division, Herrera kaia portualdea z/g, 20110 Pasaia, Spain

<sup>b</sup> Laboratory of Genetics, Dpt. Genetics, Physical Anthropology & Animal Physiology, University of the Basque Country (UPV/EHU), Leioa 48940, Spain

<sup>c</sup> CCMAR-CIMAR, University of Algarve, Gambelas, P-8005-129 Faro, Portugal

### ARTICLE INFO

Article history:  
Received 23 August 2012  
Accepted 6 August 2013  
Available online 17 August 2013

Keywords:  
*Zostera*  
*Cerastoderma*  
diversity  
climate change  
estuary  
neutral theory

### ABSTRACT

One of the main adaptation strategies to global change scenarios, aiming to preserve ecosystem functioning and biodiversity, is to maximize ecosystem resilience. The resilience of a species metapopulation can be improved by facilitating connectivity between local populations, which will prevent demographic stochasticity and inbreeding. This investigation estimated the degree of connectivity among estuarine species along the north-eastern Iberian coast, in order to assess community vulnerability to global change scenarios. To address this objective, two connectivity proxy types have been used based upon genetic and ecological drift processes: 1) DNA markers for the bivalve cockle (*Cerastoderma edule*) and seagrass *Zostera noltii*, and 2) the decrease in the number of species shared between two sites with geographic distance. Neutral biodiversity theory predicts that dispersal limitation modulates this decrease, and this has been explored in estuarine plants and macroinvertebrates. Results indicate dispersal limitation for both saltmarsh plants and seagrass beds community and *Z. noltii* populations; this suggests they are especially vulnerable to expected climate changes on their habitats. In contrast, unstructured spatial pattern found in macroinvertebrate communities and in *C. edule* genetic populations in the area suggests that estuarine soft-bottom macroinvertebrates with planktonic larval dispersal strategies may have a high resilience capacity to moderate changes within their habitats. Our findings allow environmental managers to prioritize the most vulnerable species and habitats to be restored.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

### 1. Introduction

The most important direct drivers of global biodiversity loss and ecosystem service changes are habitat change, climate change, invasive alien species, overexploitation and pollution (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). The undergoing destruction and degradation of natural habitats (Halpern et al., 2008) and, as a consequence, the increasing number of threatened species (He and Hubbell, 2011), are particularly severe at the coast, where human population is concentrated (Costanza et al., 1997; McGranahan et al., 2007) and the artificialization and urbanization is increasing at a greater rate than for inland areas (European

Environment Agency, 2006). Climate change is also considered as one of the major threats to coastal and estuarine ecosystems for the 21st Century (FitzGerald et al., 2008; Defeo et al., 2009; Reid et al., 2009; Philippart et al., 2011).

In this context, the conservation of estuarine biota is a priority. One of the main adaptation strategies to global change scenarios to preserve ecosystem functioning and biodiversity is to maximize ecosystem resilience (Mawdsley et al., 2009). The resilience is the system ability to absorb rapid environmental change (Heller and Zavaleta, 2009). The resilience of a species metapopulation can be improved by facilitating connectivity among local populations, which will prevent demographic stochasticity and inbreeding (Loew, 2000). Despite the fundamental role played by dispersal and population connectivity in determining the resilience of populations (e.g. Hastings and Botsford, 2006; Cowen et al., 2007; Bradbury et al., 2008; Cowen and Sponaugle, 2009), there is still

\* Corresponding author.  
E-mail address: [gchust@azti.es](mailto:gchust@azti.es) (G. Chust).

## 10 ANEXOS

**Anexo I.** Distancia recorrida (Dist.), superficie pisoteada (Pisada), número de agujeros y tipo (A, B, otros) realizados dentro y fuera de la pradera por cada uno de los cuatro (1, 2, 3, 4) mariscadores acompañados en la zona de Axpe (Oka). Valores absolutos (nº, m y m<sup>2</sup>) y porcentajes (%).

Jornada corta (3h 15min).

| 1<br>20/03/2013     | Dist.<br>(m) | Pisada<br>(m <sup>2</sup> ) | Aguj. A<br>(nº) | Aguj. A<br>(m <sup>2</sup> ) | Otros<br>aguj.   | Aguj. total<br>(m <sup>2</sup> ) |
|---------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|------------------------------|------------------|----------------------------------|
| No <i>Zostera</i>   | 1.135        | 68,1                        | 533             | 12,0                         | 0                | 12,0                             |
| <i>Zostera</i>      | 885          | 53,1                        | 402             | 9,0                          | 3 40x40; 1 20x20 | 9,6                              |
| TOT                 | 2.020        | 121,2                       | 935             | 21,0                         |                  | 21,6                             |
| % No <i>Zostera</i> | 56,2         | 56,2                        | 57,0            | 57,0                         | 0                | 55,6                             |
| % <i>Zostera</i>    | 43,8         | 43,8                        | 43,0            | 43,0                         | 100              | 44,4                             |

Jornada larga (4h 15min).

| 2<br>25/03/2013     | Dist.<br>(m) | Pisada<br>(m <sup>2</sup> ) | Aguj. A<br>(nº) | Aguj. A<br>(m <sup>2</sup> ) | Otros<br>aguj. | Aguj. total<br>(m <sup>2</sup> ) |
|---------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|----------------------------------|
| No <i>Zostera</i>   | 658          | 39,48                       | 111             | 2,5                          | 0              | 2,5                              |
| <i>Zostera</i>      | 2.467        | 148,02                      | 838             | 18,9                         | 3 20x20        | 19,0                             |
| TOT                 | 3.125        | 187,5                       | 949             | 21,4                         |                | 21,5                             |
| % No <i>Zostera</i> | 21,1         | 21,1                        | 11,7            | 11,7                         | 0              | 11,6                             |
| % <i>Zostera</i>    | 78,9         | 78,9                        | 88,3            | 88,3                         | 100            | 88,4                             |

Jornada corta (3h 10min).

| 3<br>28/03/2013     | Dist.<br>(m) | Pisada<br>(m <sup>2</sup> ) | Aguj. B<br>(nº) | Aguj. B<br>(m <sup>2</sup> ) | Otros<br>aguj. | Aguj. total<br>(m <sup>2</sup> ) |
|---------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|----------------------------------|
| No <i>Zostera</i>   | 849          | 50,94                       | 94              | 1,9                          | 0              | 1,9                              |
| <i>Zostera</i>      | 1.872        | 112,32                      | 421             | 8,4                          | 0              | 8,4                              |
| TOT                 | 2.721        | 163,26                      | 515             | 10,3                         |                | 10,3                             |
| % No <i>Zostera</i> | 31,2         | 31,2                        | 18,3            | 18,3                         | 0              | 18,3                             |
| % <i>Zostera</i>    | 68,8         | 68,8                        | 81,7            | 81,7                         | 0              | 81,7                             |

Jornada corta (3h 10min).

| 4<br>29/03/2013     | Dist.<br>(m) | Pisada<br>(m <sup>2</sup> ) | Aguj. A<br>(nº) | Aguj. A<br>(m <sup>2</sup> ) | Otros<br>aguj. | Aguj. total<br>(m <sup>2</sup> ) |
|---------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|----------------------------------|
| No <i>Zostera</i>   | 1.019        | 61,14                       | 81              | 1,8                          | 0              | 1,8                              |
| <i>Zostera</i>      | 1.752        | 105,12                      | 418             | 9,4                          | 25*            | 18,4                             |
| TOT                 | 2.771        | 166,26                      | 499             | 11,2                         |                | 20,3                             |
| % No <i>Zostera</i> | 36,8         | 36,8                        | 16,2            | 16,2                         | 0              | 9,0                              |
| % <i>Zostera</i>    | 63,2         | 63,2                        | 83,8            | 83,8                         | 100            | 91,0                             |

**\*Nota:** 25 agujeros con un total de 9,04 m<sup>2</sup> (3 de 20x20; 2 de 20x50; 3 de 30x30; 1 de 30x50; 1 de 30x80; 3 de 40x40; 2 de 40x70; 1 de 40x80; 2 de 40x100; 1 de 40x250; 3 de 50x70; 1 de 60x60; 1 de 70x70; 1 de 200x150). Medidas en cm.

**Anexo II.** Distancia recorrida (Dist.), superficie pisoteada (Pisada), número de agujeros tipo C realizados dentro y fuera de la pradera por el mariscador de cebo vivo acompañado en la zona de Kanala (Oka). Valores absolutos (nº, m y m²) y porcentajes (%).

Jornada corta (3h 00min).

| 20/09/2013   | Dist.<br>(m) | Pisada<br>(m²) | Aguj. C<br>(nº) | Aguj.<br>C (m²) | Aguj. total<br>(m²) |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| No Zostera   | 1.805        | 108,3          | 1.449           | 7,2             | 7,2                 |
| Zostera      | 38,5         | 2,31           | 24              | 0,1             | 0,1                 |
| TOT          | 1.843,5      | 110,61         | 1.473           | 7,4             | 7,4                 |
| % No Zostera | 97,9         | 97,9           | 98,4            | 98,4            | 98,4                |
| % Zostera    | 2,1          | 2,1            | 1,6             | 1,6             | 1,6                 |

**Anexo III.** Integración de la información de mariscadores. Promedio de mariscadores a la almeja y al cebo vivo. Alteración provocada por un mariscador/hora: distancia recorrida, superficie pisada y superficie agujereada dentro y fuera de la pradera de *Zostera noltii* en las zonas de Axpe y Kanala del estuario del Oka.

1 jornada de 3,40 horas.

| Promedio<br>cebo vivo | Distancia<br>recorrida<br>(m) | Superficie<br>pisada (m²) | agujeros<br>(m²) |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------|
| No Zostera            | 1.805                         | 108,3                     | 7,2              |
| Zostera               | 39                            | 2,3                       | 0,1              |
| TOT                   | 1.844                         | 110,6                     | 7,4              |
| % No Zostera          | 97,9                          | 97,9                      | 98,4             |
| % Zostera             | 2,1                           | 2,1                       | 1,6              |

1 jornada de 3,73 horas.

| Promedio<br>almeja | Distancia<br>recorrida<br>(m) | Superficie<br>pisada (m²) | agujeros<br>(m²) |
|--------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------|
| No Zostera         | 915                           | 54,9                      | 4,5              |
| Zostera            | 1.744                         | 104,6                     | 13,9             |
| TOT                | 2.659                         | 159,6                     | 18,4             |
| % No Zostera       | 34,4                          | 34,4                      | 24,7             |
| % Zostera          | 65,6                          | 65,6                      | 75,3             |

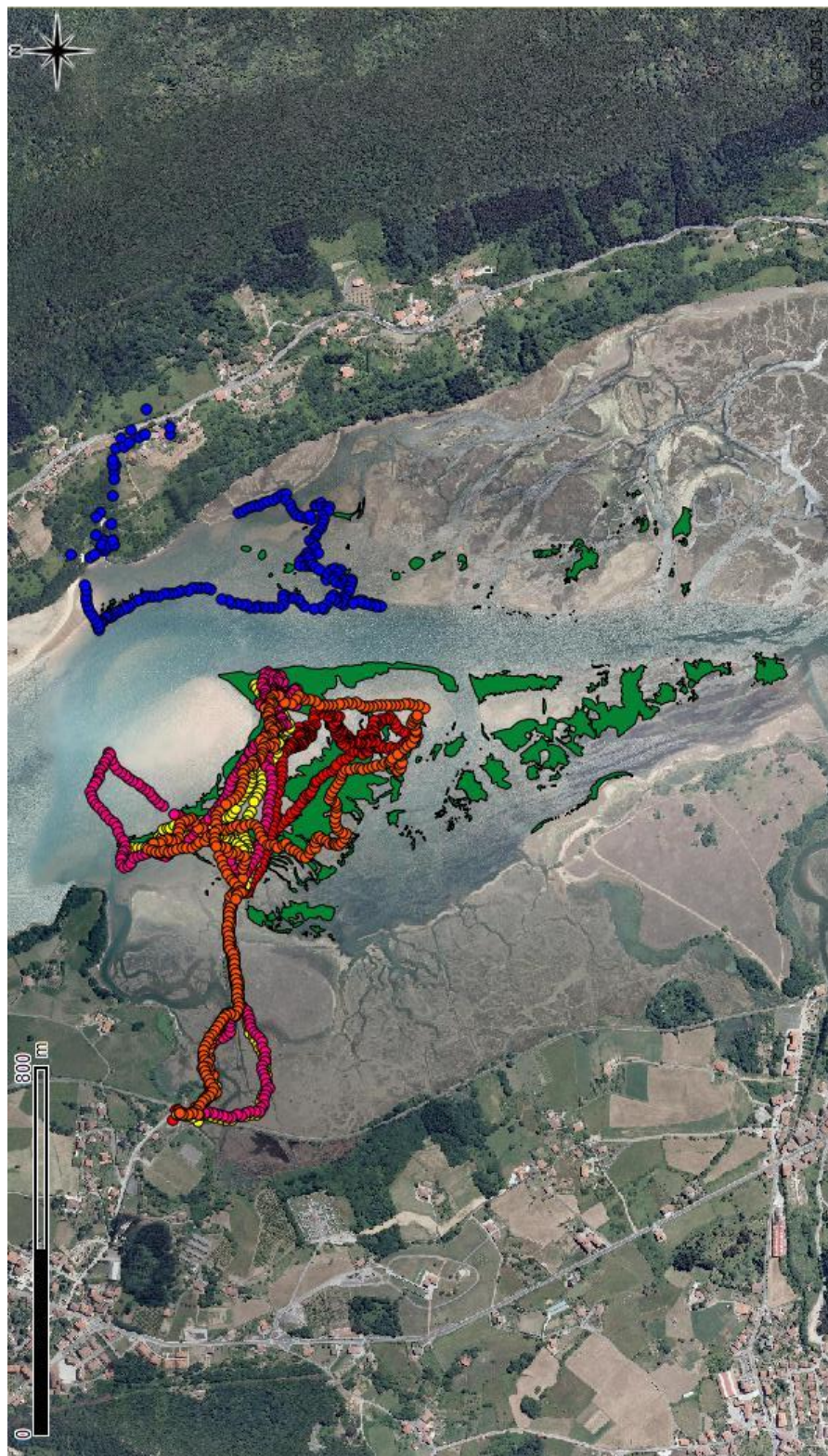
1 jornada de 3,56 horas.

| Promedio<br>cebo vivo y<br>almeja | Distancia<br>recorrida<br>(m) | Superficie<br>pisada (m²) | agujeros<br>(m²) |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------|
| No Zostera                        | 1.360                         | 81,6                      | 5,9              |
| Zostera                           | 891                           | 53,5                      | 7,0              |
| TOT                               | 2.251                         | 135,1                     | 12,9             |
| % No Zostera                      | 60,4                          | 60,4                      | 45,8             |
| % Zostera                         | 39,6                          | 39,6                      | 54,2             |

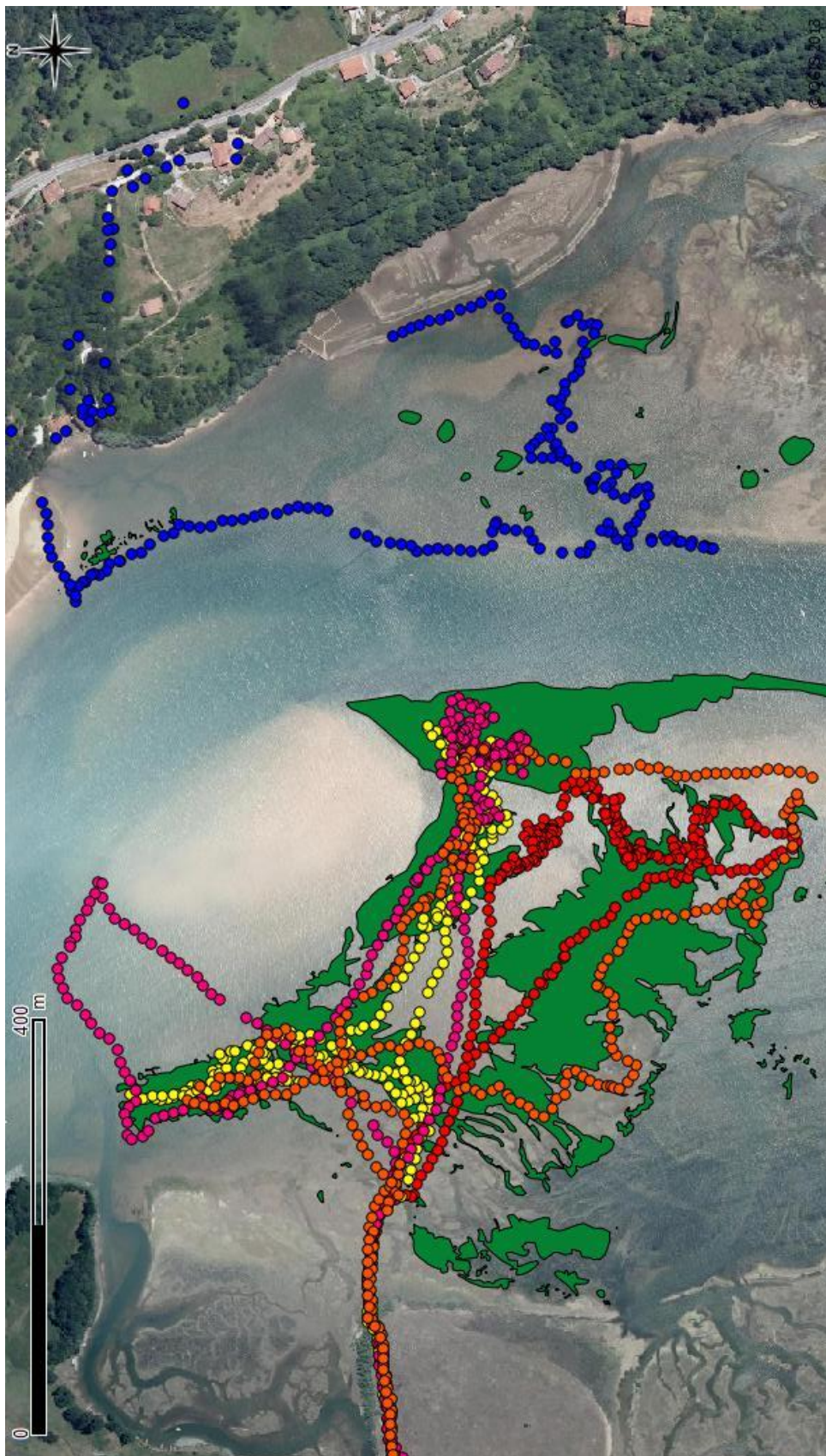
| 1 mariscador<br>en 1 hora | Distancia<br>recorrida<br>(m) | Superficie<br>pisada (m²) | agujeros<br>(m²) |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------|
| No Zostera                | 382                           | 22,9                      | 1,7              |
| Zostera                   | 250                           | 15,0                      | 2,0              |
| TOT                       | 632                           | 37,9                      | 3,6              |
| % No Zostera              | 60,4                          | 60,4                      | 45,8             |
| % Zostera                 | 39,6                          | 39,6                      | 54,2             |



**Anexo IV.** Recorridos realizados en cada jornada de marisqueo. Muestreos de acompañamiento a mariscadores profesionales en el estuario del Oka. En verde ocupación de *Zostera noltii* en verano de 2012; en amarillo, rosa, naranja y rojo recorrido de mariscadores a bivalvos; en azul mariscador a cebo vivo.







# Anexo V. Experimentos de evaluación del impacto humano en las praderas de *Zostera noltii*.

**Tabla V.1.** Densidad (n° de haces/m²). Muestras recogidas en cuadrados de 25 x 25 cm (0,0625 m²). 3 réplicas en arena y 2 réplicas en fango. D-Densidad; Prom-Promedio; d.e.-desviación estándar; A-Arena; F-Fango; M-Marisqueo; P-Pisoteo. En naranja se resaltan las muestras que se encontraban bajo una capa de algas, lo cual ha podido influir en el resultado.

| ARENA                        |                              | Densidad (n° haces/m²) |      |      |         |      |      |         |      |      |
|------------------------------|------------------------------|------------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
|                              |                              | t=0                    |      |      | t=2 mes |      |      | t=4 mes |      |      |
|                              |                              | D                      | Prom | d.e. | D       | Prom | d.e. | D       | Prom | d.e. |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)                        | 2000                   |      |      | 2336    |      |      | 3616    |      |      |
|                              |                              | 1776                   | 2064 | 325  | 2496    | 2251 | 297  | 1152    | 2219 | 1265 |
|                              |                              | 2416                   |      |      | 1920    |      |      | 1888    |      |      |
|                              | B (20)                       | 1648                   |      |      | 2304    |      |      | 3104    |      |      |
|                              |                              | 1488                   | 1637 | 144  | 880     | 1616 | 713  | 1200    | 2027 | 976  |
|                              |                              | 1776                   |      |      | 1664    |      |      | 1776    |      |      |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)                        | 2208                   |      |      | 240     |      |      | 272     |      |      |
|                              |                              | 1712                   | 1669 | 561  | 688     | 827  | 667  | 64      | 432  | 469  |
|                              |                              | 1088                   |      |      | 1552    |      |      | 960     |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | B (20)                       | 1232                   |      |      | 1904    |      |      | 1632    |      |      |
|                              |                              | 1904                   | 1547 | 338  | 2608    | 1627 | 1145 | 3296    | 1643 | 1648 |
|                              |                              | 1504                   |      |      | 368     |      |      | 0       |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | C (50)                       | 1392                   |      |      | 2032    |      |      | 1984    |      |      |
|                              |                              | 1552                   | 1499 | 92   | 288     | 773  | 1100 | 1280    | 1088 | 1006 |
|                              |                              | 1552                   |      |      | 0       |      |      | 0       |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | D (20x4)                     | 1280                   |      |      | 944     |      |      | 1344    |      |      |
|                              |                              | 1728                   | 1771 | 513  | 896     | 683  | 412  | 1360    | 1131 | 383  |
|                              |                              | 2304                   |      |      | 208     |      |      | 688     |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
| FANGO                        | Experimento 1<br>(pisoteo)   | 1952                   |      |      | 2256    |      |      | 2320    |      |      |
|                              |                              | 1936                   | 1712 | 402  | 752     | 1435 | 762  | 2784    | 2219 | 622  |
|                              |                              | 1248                   |      |      | 1296    |      |      | 1552    |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | Experimento 2<br>(marisqueo) | 1472                   |      |      | 2640    |      |      | 2528    |      |      |
|                              |                              | 1264                   | 1368 | 147  | 2032    | 2336 | 430  | 1792    | 2160 | 520  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | Experimento 1<br>(pisoteo)   | 1360                   |      |      | 1072    |      |      | 96      |      |      |
|                              |                              | 1328                   | 1344 | 23   | 2352    | 1712 | 905  | 1088    | 592  | 701  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | Experimento 2<br>(marisqueo) | 1840                   |      |      | 320     |      |      | 0       |      |      |
|                              |                              | 784                    | 1312 | 747  | 432     | 376  | 79   | 480     | 240  | 339  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
| FANGO                        | Experimento 1<br>(pisoteo)   | 1472                   |      |      | 2640    |      |      | 2528    |      |      |
|                              |                              | 1264                   | 1368 | 147  | 2032    | 2336 | 430  | 1792    | 2160 | 520  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | Experimento 2<br>(marisqueo) | 1360                   |      |      | 1072    |      |      | 96      |      |      |
|                              |                              | 1328                   | 1344 | 23   | 2352    | 1712 | 905  | 1088    | 592  | 701  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
| FANGO                        | Experimento 1<br>(pisoteo)   | 1840                   |      |      | 320     |      |      | 0       |      |      |
|                              |                              | 784                    | 1312 | 747  | 432     | 376  | 79   | 480     | 240  | 339  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | Experimento 2<br>(marisqueo) | 752                    |      |      | 2032    |      |      | 1776    |      |      |
|                              |                              | 880                    | 816  | 91   | 1536    | 1784 | 351  | 1136    | 1456 | 453  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
| FANGO                        | Experimento 1<br>(pisoteo)   | 736                    |      |      | 1856    |      |      | 1440    |      |      |
|                              |                              | 496                    | 616  | 170  | 992     | 1424 | 611  | 1312    | 1376 | 91   |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | Experimento 2<br>(marisqueo) | 816                    |      |      | 1280    |      |      | 1600    |      |      |
|                              |                              | 1360                   | 1088 | 385  | 2192    | 1736 | 645  | 1856    | 1728 | 181  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
| FANGO                        | Experimento 1<br>(pisoteo)   | 544                    |      |      | 896     |      |      | 1120    |      |      |
|                              |                              | 1200                   | 872  | 464  | 1136    | 1016 | 170  | 880     | 1000 | 170  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | Experimento 2<br>(marisqueo) | 1472                   |      |      | 2640    |      |      | 2528    |      |      |
|                              |                              | 1264                   | 1368 | 147  | 2032    | 2336 | 430  | 1792    | 2160 | 520  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
| FANGO                        | Experimento 1<br>(pisoteo)   | 1360                   |      |      | 1072    |      |      | 96      |      |      |
|                              |                              | 1328                   | 1344 | 23   | 2352    | 1712 | 905  | 1088    | 592  | 701  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | Experimento 2<br>(marisqueo) | 1840                   |      |      | 320     |      |      | 0       |      |      |
|                              |                              | 784                    | 1312 | 747  | 432     | 376  | 79   | 480     | 240  | 339  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
| FANGO                        | Experimento 1<br>(pisoteo)   | 752                    |      |      | 2032    |      |      | 1776    |      |      |
|                              |                              | 880                    | 816  | 91   | 1536    | 1784 | 351  | 1136    | 1456 | 453  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | Experimento 2<br>(marisqueo) | 736                    |      |      | 1856    |      |      | 1440    |      |      |
|                              |                              | 496                    | 616  | 170  | 992     | 1424 | 611  | 1312    | 1376 | 91   |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
| FANGO                        | Experimento 1<br>(pisoteo)   | 816                    |      |      | 1280    |      |      | 1600    |      |      |
|                              |                              | 1360                   | 1088 | 385  | 2192    | 1736 | 645  | 1856    | 1728 | 181  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
| FANGO                        | Experimento 1<br>(pisoteo)   | 544                    |      |      | 896     |      |      | 1120    |      |      |
|                              |                              | 1200                   | 872  | 464  | 1136    | 1016 | 170  | 880     | 1000 | 170  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              | Experimento 2<br>(marisqueo) | 1472                   |      |      | 2640    |      |      | 2528    |      |      |
|                              |                              | 1264                   | 1368 | 147  | 2032    | 2336 | 430  | 1792    | 2160 | 520  |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |
|                              |                              |                        |      |      |         |      |      |         |      |      |

**Tabla V.2.** Longitud (mm) de la hoja más larga de cada haz. Muestras recogidas en cuadrados de 10 x 10 cm (0,01 m<sup>2</sup>). 2 réplicas en arena y 2 réplicas en fango. n-nº de hojas medidas en cada réplica; Prom-Promedio; d.e.-desviación estándar. En naranja se resaltan las muestras sin valor.

| ARENA                        |             | Longitud hoja más larga (mm) |      |      |         |       |      |         |      |      |         |      |      |
|------------------------------|-------------|------------------------------|------|------|---------|-------|------|---------|------|------|---------|------|------|
|                              |             | t=0                          |      |      | t=2 mes |       |      | t=4 mes |      |      | t=7 mes |      |      |
|                              |             | n                            | Prom | d.e. | n       | Prom  | d.e. | n       | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)       | 14                           | 52,0 | 7,1  | 23      | 94,2  | 26,7 | 22      | 66,7 | 22,8 | 54      | 68,4 | 26,0 |
|                              |             | 22                           | 53,9 | 11,4 | 39      | 86,2  | 23,7 | 30      | 71,5 | 18,4 | 42      | 90,9 | 34,8 |
|                              | B (20)      | 38                           | 63,5 | 14,8 | 41      | 88,7  | 25,7 | 25      | 62,8 | 23,8 | 48      | 62,5 | 16,2 |
|                              |             | 20                           | 58,5 | 14,2 | 33      | 75,7  | 21,9 | 25      | 65,3 | 12,4 | 49      | 77,6 | 23,4 |
|                              | C (50)      | 28                           | 55,0 | 10,8 | 26      | 66,2  | 20,0 | 34      | 92,1 | 26,5 | 49      | 63,1 | 18,8 |
|                              |             | 30                           | 55,6 | 9,9  | 13      | 67,9  | 21,3 | 30      | 69,4 | 16,6 | 24      | 85,5 | 18,3 |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)       | 9                            | 55,6 | 9,3  | 21      | 82,9  | 20,3 | 49      | 70,2 | 18,8 | 34      | 63,8 | 16,1 |
|                              |             | 22                           | 56,5 | 11,7 | 23      | 74,9  | 17,2 | 23      | 69,5 | 19,1 | 21      | 55,7 | 13,8 |
|                              | B (20)      | 25                           | 59,3 | 12,7 | 24      | 110,7 | 67,0 | 28      | 82,1 | 30,8 | 56      | 66,9 | 16,8 |
|                              |             | 16                           | 55,4 | 9,0  | 24      | 88,1  | 21,3 | 49      | 62,2 | 17,3 | 31      | 54,3 | 17,0 |
|                              | C (50)      | 26                           | 47,7 | 9,7  | 36      | 75,0  | 29,4 | 33      | 87,0 | 23,9 | 25      | 84,0 | 25,2 |
|                              |             | 12                           | 56,8 | 13,1 | 18      | 88,6  | 27,7 | 25      | 60,6 | 23,8 | 23      | 81,3 | 14,6 |
|                              | D<br>(20x4) | 13                           | 63,2 | 13,4 | 34      | 82,2  | 22,6 | 26      | 67,1 | 23,3 | 26      | 74,1 | 17,8 |
|                              |             | 37                           | 50,9 | 10,4 | 15      | 93,7  | 37,2 | 29      | 89,1 | 24,4 | 54      | 84,4 | 23,4 |

| FANGO                        |             | Longitud hoja más larga (mm) |      |      |         |      |      |         |       |      |         |      |      |
|------------------------------|-------------|------------------------------|------|------|---------|------|------|---------|-------|------|---------|------|------|
|                              |             | t=0                          |      |      | t=2 mes |      |      | t=4 mes |       |      | t=7 mes |      |      |
|                              |             | n                            | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. | n       | Prom  | d.e. | n       | Prom | d.e. |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)       | 14                           | 52,4 | 10,8 | 16      | 67,9 | 21,1 | 25      | 101,3 | 25,9 | 22      | 69,2 | 17,3 |
|                              |             | 18                           | 50,9 | 10,3 | 12      | 75,0 | 20,6 | 33      | 110,9 | 26,8 | 49      | 67,5 | 16,4 |
|                              | B (20)      | 22                           | 48,6 | 12,7 | 20      | 70,3 | 18,8 | 8       | 70,1  | 21,8 | 13      | 54,2 | 15,5 |
|                              |             | 17                           | 45,3 | 9,4  | 26      | 57,5 | 19,9 | 15      | 55,9  | 13,3 | 20      | 75,9 | 21,0 |
|                              | C (50)      | 36                           | 42,3 | 8,3  | 7       | 62,1 | 11,2 | 0       |       |      | 9       | 69,6 | 15,8 |
|                              |             | 26                           | 45,9 | 8,2  | 7       | 44,9 | 7,0  | 6       | 67,7  | 15,8 | 16      | 84,3 | 17,9 |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)       | 22                           | 39,8 | 7,2  | 39      | 58,7 | 18,8 | 43      | 70,0  | 17,7 | 40      | 42,4 | 13,1 |
|                              |             | 15                           | 41,3 | 7,2  | 24      | 63,9 | 20,7 | 29      | 67,2  | 13,5 | 39      | 46,0 | 10,6 |
|                              | B (20)      | 31                           | 43,5 | 7,5  | 16      | 60,2 | 13,0 | 15      | 107,7 | 30,3 | 13      | 39,3 | 11,5 |
|                              |             | 12                           | 41,6 | 7,3  | 10      | 85,5 | 20,0 | 23      | 65,7  | 19,1 | 45      | 50,6 | 11,9 |
|                              | C (50)      | 14                           | 38,9 | 7,8  | 53      | 54,9 | 15,0 | 55      | 83,2  | 19,0 | 25      | 52,6 | 12,5 |
|                              |             | 10                           | 42,2 | 9,5  | 32      | 44,9 | 12,2 | 33      | 99,8  | 58,4 | 24      | 58,2 | 20,3 |
|                              | D<br>(20x4) | 14                           | 39,1 | 9,3  | 44      | 49,9 | 16,2 | 35      | 68,8  | 19,8 | 21      | 53,0 | 14,7 |
|                              |             | 18                           | 43,9 | 8,1  | 25      | 61,4 | 16,7 | 19      | 79,7  | 18,5 | 42      | 49,1 | 16,0 |



**Tabla V.3.** Anchura (mm) de la hoja más larga de cada haz. Muestras recogidas en cuadrados de 10 x 10 cm (0,01 m<sup>2</sup>). 2 réplicas en arena y 2 réplicas en fango. n-nº de hojas medidas en cada réplica; Prom-Promedio; d.e.-desviación estándar. En naranja se resaltan las muestras sin valor.

| ARENA                        |             | Anchura hoja más larga (mm) |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|------------------------------|-------------|-----------------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
|                              |             | t=0                         |      |      | t=2 mes |      |      | t=4 mes |      |      | t=7 mes |      |      |
|                              |             | n                           | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)       | 14                          | 0,90 | 0,12 | 23      | 1,1  | 0,1  | 22      | 0,9  | 0,1  | 54      | 0,9  | 0,1  |
|                              |             | 22                          | 0,91 | 0,09 | 39      | 1,0  | 0,3  | 30      | 0,8  | 0,2  | 42      | 1,0  | 0,1  |
|                              | B (20)      | 38                          | 0,92 | 0,15 | 41      | 1,1  | 0,2  | 25      | 1,0  | 0,1  | 48      | 0,7  | 0,1  |
|                              |             | 20                          | 1,09 | 0,14 | 33      | 1,0  | 0,1  | 25      | 0,9  | 0,1  | 49      | 1,0  | 0,1  |
|                              | C (50)      | 28                          | 1,03 | 0,14 | 26      | 1,1  | 0,2  | 34      | 1,0  | 0,2  | 49      | 0,9  | 0,2  |
|                              |             | 30                          | 1,04 | 0,11 | 13      | 1,2  | 0,2  | 30      | 1,1  | 0,2  | 24      | 0,9  | 0,1  |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)       | 9                           | 0,88 | 0,11 | 21      | 1,1  | 0,1  | 49      | 0,8  | 0,1  | 34      | 0,8  | 0,1  |
|                              |             | 22                          | 0,97 | 0,10 | 23      | 1,2  | 0,1  | 23      | 1,0  | 0,2  | 21      | 0,7  | 0,1  |
|                              | B (20)      | 25                          | 0,92 | 0,09 | 24      | 1,2  | 0,2  | 28      | 1,1  | 0,2  | 56      | 0,9  | 0,1  |
|                              |             | 16                          | 0,94 | 0,14 | 24      | 1,1  | 0,1  | 49      | 1,2  | 0,2  | 31      | 0,9  | 0,1  |
|                              | C (50)      | 26                          | 0,94 | 0,13 | 36      | 1,2  | 0,1  | 33      | 1,1  | 0,1  | 25      | 1,1  | 0,1  |
|                              |             | 12                          | 0,95 | 0,14 | 18      | 1,0  | 0,1  | 25      | 1,0  | 0,2  | 23      | 1,0  | 0,1  |
|                              | D<br>(20x4) | 13                          | 0,98 | 0,13 | 34      | 1,2  | 0,2  | 26      | 1,1  | 0,1  | 26      | 0,8  | 0,1  |
|                              |             | 37                          | 1,01 | 0,12 | 15      | 1,2  | 0,2  | 29      | 1,1  | 0,2  | 54      | 0,9  | 0,1  |

| FANGO                        |             | Anchura hoja más larga (mm) |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|------------------------------|-------------|-----------------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
|                              |             | t=0                         |      |      | t=2 mes |      |      | t=4 mes |      |      | t=7 mes |      |      |
|                              |             | n                           | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)       | 14                          | 0,94 | 0,14 | 16      | 1,5  | 0,2  | 25      | 1,1  | 0,1  | 22      | 0,8  | 0,1  |
|                              |             | 18                          | 0,89 | 0,13 | 12      | 1,3  | 0,2  | 33      | 1,3  | 0,2  | 49      | 0,8  | 0,1  |
|                              | B (20)      | 22                          | 0,96 | 0,11 | 20      | 1,2  | 0,1  | 8       | 1,1  | 0,2  | 13      | 0,9  | 0,1  |
|                              |             | 17                          | 0,90 | 0,15 | 26      | 1,1  | 0,1  | 15      | 1,3  | 0,2  | 20      | 0,9  | 0,1  |
|                              | C (50)      | 36                          | 0,92 | 0,13 | 7       | 1,3  | 0,1  | 0       |      |      | 9       | 1,1  | 0,2  |
|                              |             | 26                          | 0,95 | 0,13 | 7       | 1,2  | 0,1  | 6       | 1,1  | 0,1  | 16      | 1,0  | 0,1  |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)       | 22                          | 0,88 | 0,11 | 39      | 1,1  | 0,1  | 43      | 0,9  | 0,1  | 40      | 0,7  | 0,1  |
|                              |             | 15                          | 0,85 | 0,09 | 24      | 1,1  | 0,1  | 29      | 0,9  | 0,1  | 39      | 0,7  | 0,1  |
|                              | B (20)      | 31                          | 0,86 | 0,08 | 16      | 1,1  | 0,2  | 15      | 1,0  | 0,1  | 13      | 0,8  | 0,1  |
|                              |             | 12                          | 0,88 | 0,15 | 10      | 1,3  | 0,1  | 23      | 1,0  | 0,1  | 45      | 0,7  | 0,1  |
|                              | C (50)      | 14                          | 0,91 | 0,11 | 53      | 1,0  | 0,2  | 55      | 0,9  | 0,1  | 25      | 0,9  | 0,2  |
|                              |             | 10                          | 0,89 | 0,14 | 32      | 1,1  | 0,1  | 33      | 0,9  | 0,1  | 24      | 0,8  | 0,1  |
|                              | D<br>(20x4) | 14                          | 0,97 | 0,08 | 44      | 1,1  | 0,1  | 35      | 1,2  | 0,2  | 21      | 0,8  | 0,1  |
|                              |             | 18                          | 0,92 | 0,12 | 25      | 1,3  | 0,1  | 19      | 1,0  | 0,1  | 42      | 0,8  | 0,1  |

**Tabla V.4.** N° de hojas por haz. Muestras recogidas en cuadrados de 10 x 10 cm (0,01 m<sup>2</sup>). 2 réplicas en arena y 2 réplicas en fango. n-n° de hojas medidas en cada réplica; Prom-Promedio; d.e.-desviación estándar. En naranja se resaltan las muestras sin valor.

| ARENA                        |             | n° hojas/haz |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|------------------------------|-------------|--------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
|                              |             | t=0          |      |      | t=2 mes |      |      | t=4 mes |      |      | t=7 mes |      |      |
|                              |             | n            | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)       | 14           | 3,1  | 0,6  | 23      | 2,4  | 0,8  | 22      | 2,6  | 0,5  | 54      | 2,5  | 0,5  |
|                              |             | 22           | 3,0  | 0,7  | 39      | 2,8  | 0,7  | 30      | 2,7  | 0,6  | 42      | 2,7  | 0,7  |
|                              | B (20)      | 38           | 3,3  | 1,0  | 41      | 2,5  | 0,5  | 25      | 2,8  | 0,6  | 48      | 2,1  | 0,3  |
|                              |             | 20           | 3,2  | 1,0  | 33      | 2,3  | 0,5  | 25      | 2,8  | 0,6  | 49      | 2,6  | 0,6  |
|                              | C (50)      | 28           | 2,9  | 0,7  | 26      | 2,8  | 0,6  | 34      | 2,7  | 0,6  | 49      | 2,5  | 0,5  |
|                              |             | 30           | 3,2  | 1,0  | 13      | 2,9  | 0,6  | 30      | 2,8  | 0,9  | 24      | 2,5  | 0,6  |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)       | 9            | 3,1  | 0,8  | 21      | 2,5  | 0,6  | 49      | 2,7  | 0,6  | 34      | 2,5  | 0,5  |
|                              |             | 22           | 3,0  | 1,0  | 23      | 3,1  | 0,9  | 23      | 3,0  | 0,6  | 21      | 2,4  | 0,5  |
|                              | B (20)      | 25           | 3,0  | 0,6  | 24      | 3,0  | 0,8  | 28      | 2,8  | 0,7  | 56      | 2,4  | 0,5  |
|                              |             | 16           | 3,7  | 0,9  | 24      | 3,3  | 0,7  | 49      | 2,7  | 0,8  | 31      | 2,3  | 0,5  |
|                              | C (50)      | 26           | 3,0  | 0,5  | 36      | 2,6  | 0,6  | 33      | 2,6  | 0,7  | 25      | 2,9  | 0,5  |
|                              |             | 12           | 3,8  | 0,9  | 18      | 2,4  | 0,5  | 25      | 2,7  | 0,7  | 23      | 2,7  | 0,5  |
|                              | D<br>(20x4) | 13           | 3,2  | 0,7  | 34      | 3,1  | 0,8  | 26      | 2,8  | 0,8  | 26      | 2,6  | 0,5  |
|                              |             | 37           | 3,3  | 0,7  | 15      | 3,5  | 0,8  | 29      | 2,8  | 0,6  | 54      | 2,4  | 0,5  |

| FANGO                        |             | n° hojas/haz |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|------------------------------|-------------|--------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
|                              |             | t=0          |      |      | t=2 mes |      |      | t=4 mes |      |      | t=7 mes |      |      |
|                              |             | n            | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. | n       | Prom | d.e. |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)       | 14           | 2,9  | 0,7  | 16      | 2,9  | 0,9  | 25      | 2,8  | 0,6  | 22      | 2,7  | 0,5  |
|                              |             | 18           | 2,8  | 0,6  | 12      | 3,1  | 0,8  | 33      | 2,9  | 0,7  | 49      | 2,6  | 0,5  |
|                              | B (20)      | 22           | 2,8  | 0,7  | 20      | 3,3  | 1,0  | 8       | 2,4  | 0,5  | 13      | 2,5  | 0,5  |
|                              |             | 17           | 2,8  | 1,0  | 26      | 3,0  | 0,8  | 15      | 2,9  | 0,8  | 20      | 2,5  | 0,5  |
|                              | C (50)      | 36           | 2,9  | 0,8  | 7       | 3,3  | 0,8  | 0       |      |      | 9       | 2,4  | 0,5  |
|                              |             | 26           | 3,0  | 0,9  | 7       | 2,7  | 0,8  | 6       | 3,8  | 0,8  | 16      | 2,9  | 0,5  |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)       | 22           | 2,8  | 0,8  | 39      | 2,8  | 0,6  | 43      | 2,5  | 0,6  | 40      | 2,3  | 0,4  |
|                              |             | 15           | 2,5  | 0,6  | 24      | 2,7  | 0,7  | 29      | 2,8  | 0,5  | 39      | 2,3  | 0,5  |
|                              | B (20)      | 31           | 3,0  | 0,9  | 16      | 2,8  | 0,9  | 15      | 2,7  | 0,5  | 13      | 2,2  | 0,4  |
|                              |             | 12           | 2,9  | 0,8  | 10      | 2,9  | 0,7  | 23      | 2,7  | 0,5  | 45      | 2,5  | 0,5  |
|                              | C (50)      | 14           | 2,8  | 0,9  | 53      | 2,8  | 0,6  | 55      | 2,9  | 0,5  | 25      | 2,7  | 0,5  |
|                              |             | 10           | 3,2  | 1,2  | 32      | 2,6  | 0,6  | 33      | 2,6  | 0,5  | 24      | 2,5  | 0,6  |
|                              | D<br>(20x4) | 14           | 2,8  | 0,9  | 44      | 2,8  | 0,0  | 35      | 2,9  | 0,8  | 21      | 2,3  | 0,5  |
|                              |             | 18           | 3,0  | 0,7  | 25      | 2,8  | 0,0  | 19      | 2,8  | 0,6  | 42      | 2,4  | 0,5  |

**Tabla V.5.** Biomاسas totales en peso seco (g) de cada réplica y promedios (prom) y desviación estándar (d.e.) para cada muestra. Muestras recogidas en cuadrados de 10 x 10 cm (0,01 m<sup>2</sup>). 2 réplicas en arena y 2 réplicas en fango. En naranja se resaltan las muestras sin valor por error de medida.

| ARENA                        |             | Biomasa (g peso seco) |         |         |         | Biomasa (g peso seco) |        |         |         |         |
|------------------------------|-------------|-----------------------|---------|---------|---------|-----------------------|--------|---------|---------|---------|
|                              |             | t=0                   | t=2 mes | t=4 mes | t=7 mes |                       | t=0    | t=2 mes | t=4 mes | t=7 mes |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)       | 0,1489                | 0,2952  | 0,2423  | 0,6262  | prom                  | 0,1528 | 0,4061  | 0,2334  | 0,7280  |
|                              |             | 0,1567                | 0,5170  | 0,2244  | 0,8299  | d.e.                  | 0,0055 | 0,1568  | 0,0127  | 0,1440  |
|                              | B (20)      | 0,4299                | 0,4169  | 0,2790  | 0,4812  | prom                  | 0,4299 | 0,4037  | 0,2219  | 0,4958  |
|                              |             |                       | 0,3906  | 0,1648  | 0,5104  | d.e.                  |        | 0,0186  | 0,0808  | 0,0207  |
|                              | C (50)      | 0,3686                | 0,3357  | 0,4474  | 0,4683  | prom                  | 0,3729 | 0,2951  | 0,3658  | 0,3817  |
|                              |             | 0,3771                | 0,2544  | 0,2842  | 0,2951  | d.e.                  | 0,0060 | 0,0574  | 0,1154  | 0,1224  |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)       | 0,0817                | 0,5354  | 0,4069  | 0,4065  | prom                  | 0,1516 | 0,4453  | 0,3041  | 0,3794  |
|                              |             | 0,2214                | 0,3552  | 0,2013  | 0,3522  | d.e.                  | 0,0988 | 0,1274  | 0,1454  | 0,0384  |
|                              | B (20)      | 0,2412                | 0,4164  | 0,3383  | 0,5913  | prom                  | 0,1889 | 0,3617  | 0,4367  | 0,4803  |
|                              |             | 0,1366                | 0,3070  | 0,5352  | 0,3692  | d.e.                  | 0,0740 | 0,0773  | 0,1392  | 0,1571  |
|                              | C (50)      | 0,2379                | 0,4624  | 0,4845  | 0,3320  | prom                  | 0,1686 | 0,4014  | 0,4307  | 0,3185  |
|                              |             | 0,0993                | 0,3405  | 0,3770  | 0,3050  | d.e.                  | 0,0980 | 0,0862  | 0,0760  | 0,0191  |
|                              | D<br>(20x4) | 0,1156                | 0,5562  | 0,4258  | 0,3896  | prom                  | 0,2095 | 0,4316  | 0,5606  | 0,5226  |
|                              |             | 0,3035                | 0,3071  | 0,6954  | 0,6557  | d.e.                  | 0,1329 | 0,1761  | 0,1906  | 0,1882  |

| FANGO                        |             | Biomasa (g peso seco) |         |         |         | Biomasa (g peso seco) |        |         |          |         |
|------------------------------|-------------|-----------------------|---------|---------|---------|-----------------------|--------|---------|----------|---------|
|                              |             | t=0                   | t=2 mes | t=4 mes | t=7 mes |                       | t=0    | t=2 mes | t=4 mes  | t=7 mes |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)       | 0,1102                | 0,2952  | 0,4310  | 0,3904  | prom                  | 0,1238 | 0,2547  | 0,5923   | 0,5250  |
|                              |             | 0,1375                | 0,2142  | 0,7536  | 0,6596  | d.e.                  | 0,0193 | 0,0573  | 0,2281   | 0,1904  |
|                              | B (20)      | 0,1661                | 0,3579  | 0,0916  | 0,1285  | prom                  | 0,1373 | 0,3387  | 0,1082   | 0,1720  |
|                              |             | 0,1085                | 0,3196  | 0,1247  | 0,2156  | d.e.                  | 0,0407 | 0,0271  | 0,0234   | 0,0616  |
|                              | C (50)      | 0,2086                | 0,1243  | 0,0000  | 0,1323  | prom                  | 0,1616 | 0,1079  | 0,032645 | 0,1764  |
|                              |             | 0,1146                | 0,0915  | 0,0653  | 0,2206  | d.e.                  | 0,0665 | 0,0232  | 0,046167 | 0,0625  |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)       | 0,0898                | 0,4485  | 0,4166  | 0,4488  | prom                  | 0,0727 | 0,3750  | 0,3412   | 0,3972  |
|                              |             | 0,0555                | 0,3014  | 0,2658  | 0,3455  | d.e.                  | 0,0242 | 0,1040  | 0,1066   | 0,0731  |
|                              | B (20)      | 0,1046                | 0,1056  | 0,2735  | 0,3709  | prom                  | 0,0702 | 0,0993  | 0,3061   | 0,4163  |
|                              |             | 0,0358                | 0,0930  | 0,3388  | 0,4616  | d.e.                  | 0,0487 | 0,0090  | 0,0462   | 0,0642  |
|                              | C (50)      | 0,0617                | 0,3668  | 0,6710  | 0,2883  | prom                  | 0,0560 | 0,3147  | 0,5210   | 0,2847  |
|                              |             | 0,0504                | 0,2625  | 0,3711  | 0,2811  | d.e.                  | 0,0080 | 0,0737  | 0,2121   | 0,0051  |
|                              | D<br>(20x4) | 0,0569                | 0,2853  | 0,2771  | 0,2146  | prom                  | 0,0675 | 0,2360  | 0,2195   | 0,2782  |
|                              |             | 0,0781                | 0,1866  | 0,1618  | 0,3419  | d.e.                  | 0,0150 | 0,0698  | 0,0816   | 0,0901  |

**Tabla V.6.** Biomasa aérea y subterránea en peso seco (g). Muestras recogidas en cuadrados de 10 x 10 cm (0,01 m<sup>2</sup>). 2 réplicas en arena y 2 réplicas en fango. En naranja se resaltan las muestras sin valor por error de medida.

| ARENA                        |             | Biomasa aérea (g peso seco) |         |         |         | Biomasa subterránea (g peso seco) |         |         |         |
|------------------------------|-------------|-----------------------------|---------|---------|---------|-----------------------------------|---------|---------|---------|
|                              |             | t=0                         | t=2 mes | t=4 mes | t=7 mes | t=0                               | t=2 mes | t=4 mes | t=7 mes |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)       | 0,0523                      | 0,1239  | 0,0901  | 0,2433  | 0,0966                            | 0,1712  | 0,1523  | 0,3829  |
|                              |             | 0,0717                      | 0,2674  | 0,1242  | 0,3797  | 0,0850                            | 0,2496  | 0,1002  | 0,4502  |
|                              | B (20)      | 0,1834                      | 0,2259  | 0,1585  | 0,1552  | 0,2466                            | 0,1910  | 0,1205  | 0,3261  |
|                              |             |                             | 0,1839  | 0,0458  | 0,2782  | 0,0951                            | 0,2066  | 0,1190  | 0,2323  |
|                              | C (50)      | 0,1806                      | 0,1378  | 0,1937  | 0,1946  | 0,1880                            | 0,1979  | 0,2538  | 0,2737  |
|                              |             | 0,1495                      | 0,1097  | 0,1510  | 0,1558  | 0,2276                            | 0,1448  | 0,1332  | 0,1394  |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)       | 0,0343                      | 0,2316  | 0,1873  | 0,1120  | 0,0474                            | 0,3038  | 0,2196  | 0,2945  |
|                              |             | 0,0874                      | 0,2038  | 0,1036  | 0,0695  | 0,1340                            | 0,1514  | 0,0977  | 0,2827  |
|                              | B (20)      | 0,1057                      | 0,2921  | 0,1570  | 0,2047  | 0,1355                            | 0,1242  | 0,1813  | 0,3866  |
|                              |             | 0,0679                      | 0,2201  | 0,2995  | 0,1372  | 0,0687                            | 0,0869  | 0,2357  | 0,2320  |
|                              | C (50)      | 0,0884                      | 0,2188  | 0,2799  | 0,1535  | 0,1495                            | 0,2436  | 0,2045  | 0,1785  |
|                              |             | 0,0587                      | 0,1161  | 0,2029  | 0,1143  | 0,0407                            | 0,2244  | 0,1741  | 0,1907  |
|                              | D<br>(20x4) | 0,0591                      | 0,2830  | 0,2669  | 0,1198  | 0,0564                            | 0,2731  | 0,1589  | 0,2697  |
|                              |             | 0,1493                      | 0,1745  | 0,3317  | 0,2818  | 0,1543                            | 0,1326  | 0,3637  | 0,3739  |

| FANGO                        |             | Biomasa aérea (g peso seco) |         |         |         | Biomasa subterránea (g peso seco) |         |         |         |
|------------------------------|-------------|-----------------------------|---------|---------|---------|-----------------------------------|---------|---------|---------|
|                              |             | t=0                         | t=2 mes | t=4 mes | t=7 mes | t=0                               | t=2 mes | t=4 mes | t=7 mes |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)       | 0,0517                      | 0,1915  | 0,2108  | 0,1257  | 0,0585                            | 0,1037  | 0,2202  | 0,2646  |
|                              |             | 0,0616                      | 0,1284  | 0,4683  | 0,2274  | 0,0758                            | 0,0859  | 0,2853  | 0,4322  |
|                              | B (20)      | 0,0838                      | 0,1927  | 0,0577  | 0,0644  | 0,0823                            | 0,1651  | 0,0340  | 0,0640  |
|                              |             | 0,0452                      | 0,1520  | 0,0682  | 0,0954  | 0,0633                            | 0,1676  | 0,0566  | 0,1202  |
|                              | C (50)      | 0,1008                      | 0,0624  | 0,0000  | 0,0592  | 0,1078                            | 0,0619  | 0,0000  | 0,0730  |
|                              |             | 0,0204                      | 0,0321  | 0,0432  | 0,1085  | 0,0941                            | 0,0593  | 0,0221  | 0,1121  |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | A (0)       | 0,0428                      | 0,1944  | 0,1697  | 0,1323  | 0,0470                            | 0,2541  | 0,2469  | 0,3165  |
|                              |             | 0,0249                      | 0,1467  | 0,1297  | 0,0954  | 0,0306                            | 0,1548  | 0,1361  | 0,2501  |
|                              | B (20)      | 0,0288                      | 0,0640  | 0,1283  | 0,1100  | 0,0758                            | 0,0416  | 0,1451  | 0,2609  |
|                              |             | 0,0228                      | 0,0634  | 0,1498  | 0,1393  | 0,0130                            | 0,0295  | 0,1889  | 0,3223  |
|                              | C (50)      | 0,0318                      | 0,1563  | 0,3164  | 0,1126  | 0,0298                            | 0,2105  | 0,3546  | 0,1757  |
|                              |             | 0,0264                      | 0,1465  | 0,1588  | 0,1356  | 0,0240                            | 0,1160  | 0,2123  | 0,1455  |
|                              | D<br>(20x4) | 0,0280                      | 0,1496  | 0,1775  | 0,0866  | 0,0288                            | 0,1357  | 0,0997  | 0,1279  |
|                              |             | 0,0439                      | 0,0926  | 0,0887  | 0,1187  | 0,0342                            | 0,0941  | 0,0731  | 0,2232  |



**Tabla V.7.** Porcentaje (%) de biomasa aérea y subterránea en peso seco. Muestras recogidas en cuadrados de 10 x 10 cm (0,01 m<sup>2</sup>). 2 réplicas en arena y 2 réplicas en fango. En naranja se resaltan las muestras sin valor por error de medida.

| ARENA                        |          | Biomasa aérea (%) |           |         |           |         |           | Biomasa subterránea (%) |           |      |           |         |           |
|------------------------------|----------|-------------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|-------------------------|-----------|------|-----------|---------|-----------|
|                              |          | t=0               |           | t=2 mes |           | t=4 mes |           | t=7 mes                 |           | t=0  |           | t=2 mes |           |
|                              |          | %                 | Prom d.e. | %       | Prom d.e. | %       | Prom d.e. | %                       | Prom d.e. | %    | Prom d.e. | %       | Prom d.e. |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)    | 35,1              | 40,4      | 42,0    | 46,9      | 37,2    | 46,2      | 38,8                    | 42,3      | 64,9 | 59,6      | 58,0    | 53,1      |
|                              |          | 45,8              | 7,5       | 51,7    | 6,9       | 55,3    | 12,8      | 45,8                    | 4,9       | 54,2 | 7,5       | 48,3    | 6,9       |
|                              | B (20)   | 42,7              | 42,7      | 54,2    | 50,6      | 56,8    | 20,5      | 32,2                    | 43,4      | 57,3 | 57,3      | 45,8    | 49,4      |
|                              |          | 49,0              | 44,3      | 47,1    | 42,1      | 27,8    | 20,5      | 54,5                    | 15,7      |      |           | 52,9    | 5,0       |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | C (50)   | 39,6              | 44,3      | 41,1    | 42,1      | 43,3    | 48,2      | 41,6                    | 47,2      | 51,0 | 55,7      | 58,9    | 57,9      |
|                              |          | 42,0              | 40,8      | 43,3    | 50,3      | 53,1    | 7,0       | 52,8                    | 7,9       | 60,4 | 6,6       | 56,9    | 1,5       |
|                              | A (0)    | 39,5              | 1,8       | 57,4    | 10,0      | 46,0    | 3,8       | 27,6                    | 23,6      | 58,0 | 59,2      | 56,7    | 49,7      |
|                              |          | 43,8              | 46,8      | 70,2    | 70,9      | 51,5    | 5,5       | 19,7                    | 5,5       | 60,5 | 1,8       | 42,6    | 10,0      |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | B (20)   | 49,7              | 4,1       | 71,7    | 1,1       | 46,4    | 6,8       | 34,6                    | 35,9      | 56,2 | 53,2      | 29,8    | 29,1      |
|                              |          | 49,7              | 4,1       | 71,7    | 1,1       | 56,0    | 1,8       | 37,2                    | 4,1       | 50,3 | 4,1       | 28,3    | 1,1       |
|                              | C (50)   | 37,2              | 48,1      | 47,3    | 40,7      | 57,8    | 2,8       | 46,2                    | 41,9      | 62,8 | 51,9      | 52,7    | 59,3      |
|                              |          | 59,1              | 15,5      | 34,1    | 9,4       | 53,8    | 2,8       | 37,5                    | 6,2       | 40,9 | 15,5      | 65,9    | 9,4       |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | D (20x4) | 51,2              | 50,2      | 50,9    | 53,9      | 62,7    | 10,6      | 30,8                    | 36,9      | 48,8 | 49,8      | 49,1    | 46,1      |
|                              |          | 49,2              | 1,4       | 56,8    | 4,2       | 47,7    | 8,6       | 43,0                    | 8,6       | 50,8 | 1,4       | 43,2    | 4,2       |
|                              |          |                   |           |         |           |         |           |                         |           |      |           |         |           |
|                              |          |                   |           |         |           |         |           |                         |           |      |           |         |           |
| FANGO                        |          | Biomasa aérea (%) |           |         |           |         |           | Biomasa subterránea (%) |           |      |           |         |           |
|                              |          | t=0               |           | t=2 mes |           | t=4 mes |           | t=7 mes                 |           | t=0  |           | t=2 mes |           |
|                              |          | %                 | Prom d.e. | %       | Prom d.e. | %       | Prom d.e. | %                       | Prom d.e. | %    | Prom d.e. | %       | Prom d.e. |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | A (0)    | 46,9              | 45,9      | 64,9    | 62,4      | 48,9    | 9,3       | 32,2                    | 33,3      | 53,1 | 54,1      | 35,1    | 37,6      |
|                              |          | 44,8              | 1,5       | 59,9    | 3,5       | 62,1    | 1,6       | 34,5                    | 1,5       | 55,2 | 1,5       | 40,1    | 3,5       |
|                              | B (20)   | 50,5              | 46,0      | 53,9    | 50,7      | 62,9    | 5,9       | 50,1                    | 47,2      | 49,5 | 54,0      | 46,1    | 49,3      |
|                              |          | 41,6              | 6,3       | 47,6    | 4,4       | 54,6    | 5,9       | 44,3                    | 4,2       | 58,4 | 6,3       | 52,4    | 4,4       |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | C (50)   | 48,3              | 33,1      | 50,2    | 42,7      | 0,0     | 46,8      | 44,8                    | 47,0      | 51,7 | 66,9      | 49,8    | 57,3      |
|                              |          | 17,8              | 21,6      | 35,1    | 10,7      | 66,2    | 3,1       | 49,2                    | 3,1       | 82,2 | 21,6      | 64,9    | 10,7      |
|                              | A (0)    | 47,7              | 46,3      | 43,4    | 46,0      | 40,7    | 5,7       | 29,5                    | 28,5      | 52,3 | 53,7      | 56,6    | 54,0      |
|                              |          | 44,9              | 2,0       | 48,7    | 3,7       | 48,8    | 1,3       | 27,6                    | 1,3       | 55,1 | 2,0       | 51,3    | 3,7       |
| Experimento 1<br>(pisoteo)   | B (20)   | 27,6              | 45,7      | 60,6    | 64,4      | 46,9    | 1,9       | 29,7                    | 29,9      | 72,4 | 54,3      | 39,4    | 35,6      |
|                              |          | 63,8              | 25,6      | 68,2    | 5,4       | 44,2    | 0,4       | 30,2                    | 0,4       | 36,2 | 25,6      | 31,8    | 5,4       |
|                              | C (50)   | 51,6              | 52,0      | 42,6    | 49,2      | 47,1    | 3,1       | 39,1                    | 43,6      | 48,4 | 48,0      | 57,4    | 50,8      |
|                              |          | 52,3              | 0,5       | 55,8    | 9,3       | 42,8    | 6,5       | 48,2                    | 6,5       | 47,7 | 0,5       | 44,2    | 9,3       |
| Experimento 2<br>(marisqueo) | D (20x4) | 49,3              | 52,8      | 52,4    | 51,0      | 64,0    | 4,0       | 40,4                    | 37,6      | 50,7 | 47,2      | 47,6    | 49,0      |
|                              |          | 56,2              | 4,9       | 49,6    | 2,0       | 54,8    | 6,5       | 34,7                    | 4,0       | 43,8 | 4,9       | 50,4    | 2,0       |
|                              |          |                   |           |         |           |         |           |                         |           |      |           |         |           |
|                              |          |                   |           |         |           |         |           |                         |           |      |           |         |           |

## 11 MAPAS

### ÍNDICE DE MAPAS de cartografía de *Zostera noltii* (2012)

- BIDASOA 1/2 (Escala 1:2500). Cartografía con GPS a pie de campo.
- BIDASOA 2/2 (Escala 1:5000). Cartografía con GPS a pie de campo.
- LEA 1/1 (Escala 1:2500). Cartografía con GPS a pie de campo.
- OKA 1/3a (Escala 1:2500). Cartografía con GPS a pie de campo.
- OKA 1/3b (Escala 1:2500). Clasificación automática a partir de imágenes CASI.
- OKA 2/3a (Escala 1:6000). Cartografía con GPS a pie de campo.
- OKA 2/3b (1:6000). Clasificación automática a partir de imágenes CASI.
- OKA 3/3a (Escala 1:6000). Cartografía con GPS a pie de campo.
- OKA 3/3b (Escala 1:6000). Clasificación automática a partir de imágenes CASI.
- OKA (Escala 1:6000). Composiciones de color de imágenes CASI.





En la costa guipuzcoana se encuentran 2 puntos interesantes, con manchas pequeñas.

-El punto principal se encuentra en la marisma de Itzaberri, dentro del parque Ecológico de Plaiaundi; se encuentra bastante estable.

-En la zona cercana al muro del aeropuerto se observa una mancha muy pequeña; no acaba de estabilizarse y es muy variable; cada año aparecen y desaparecen manchas muy pequeñas.



BIDASOA 1/2 (Escala 1:2500)





☉ En Hendaia se identifican 5 manchas principales.

-2 al sur en puerto Kaneta (separados por una rampa artificial).

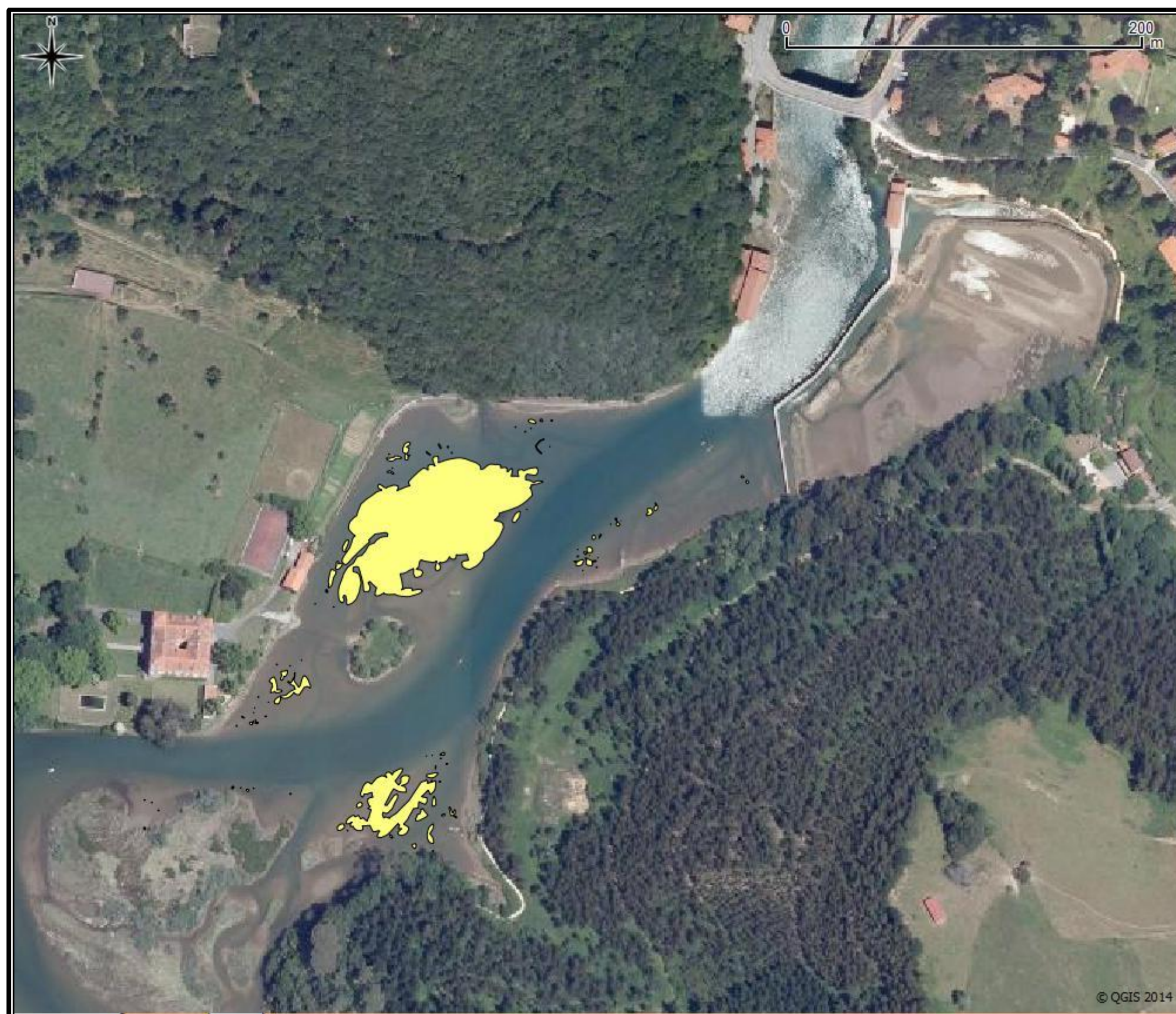
-3 frente al paseo de Beltzenia (2 al sur de la isla de los Pájaros y 1 al este, frente al mirador; este último formado por numerosos parches de aspecto circular).

☉ Siguiendo por el paseo marítimo, hacia el norte, se observan unas pequeñas manchas; parece que se están desarrollando.



BIDASOA 2/2 (Escala 1:5000)





☉ En Lekeitio se identifican 2 manchas principales, una a cada lado del canal del río:

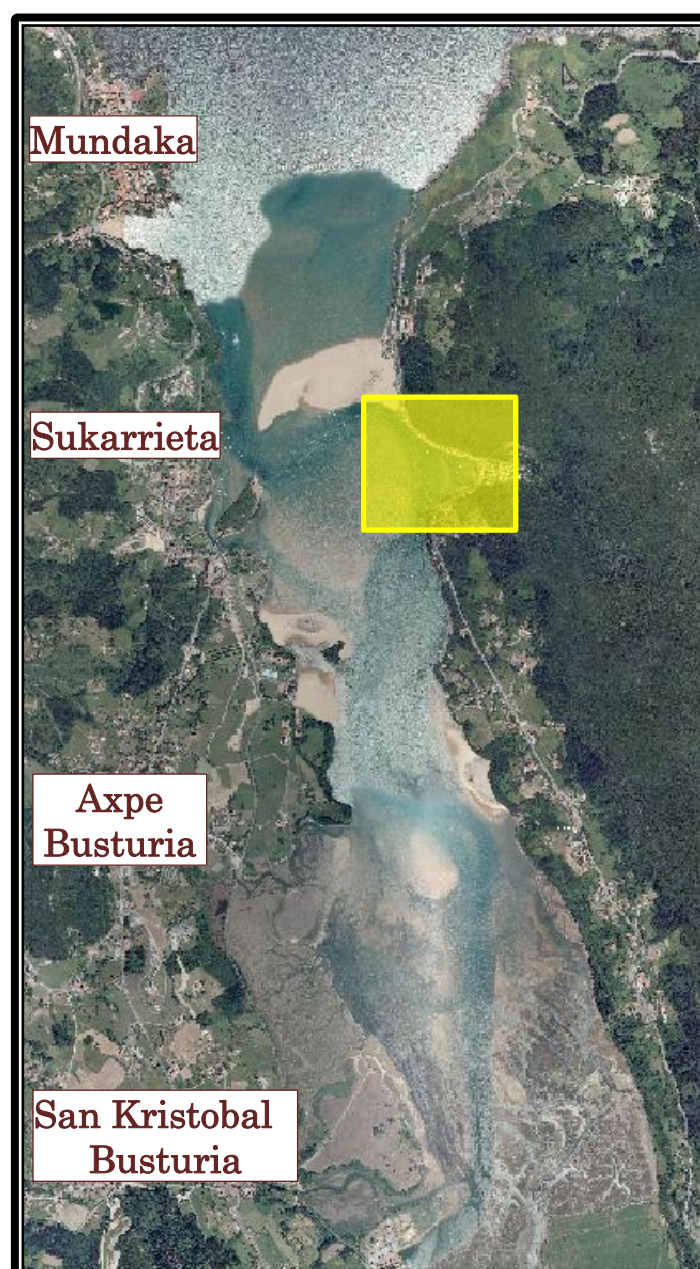
-al norte la mancha más extensa, sobre fondo arenoso.

-al sur una mancha menos densa, sobre fondo fangoso, en algunas zonas con grava.

☉ Además, pueden encontrarse numerosos parches pequeños dispersos en los márgenes, tanto río arriba como río abajo.

LEA 1/1 (Escala 1:2500)



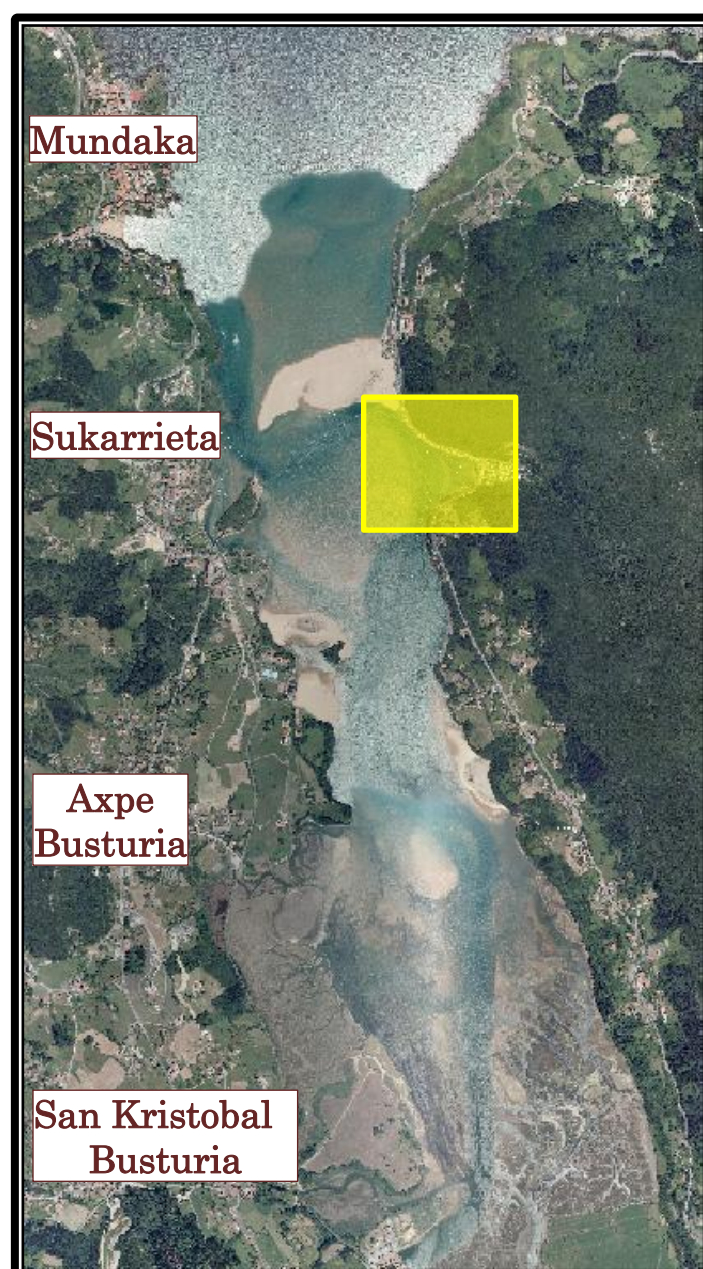


- En la ensenada de Arketas hay una pradera muy densa. Tanto en sedimento arenoso como fangoso, a un nivel de marea muy bajo.
- Sufre distintas presiones: fondeadero de embarcaciones, marisqueo a pie, aporte de arena por el interior y modificación del trayecto del canal principal del río (confinamiento de la pradera).



OKA 1/3 (Escala 1:2500)





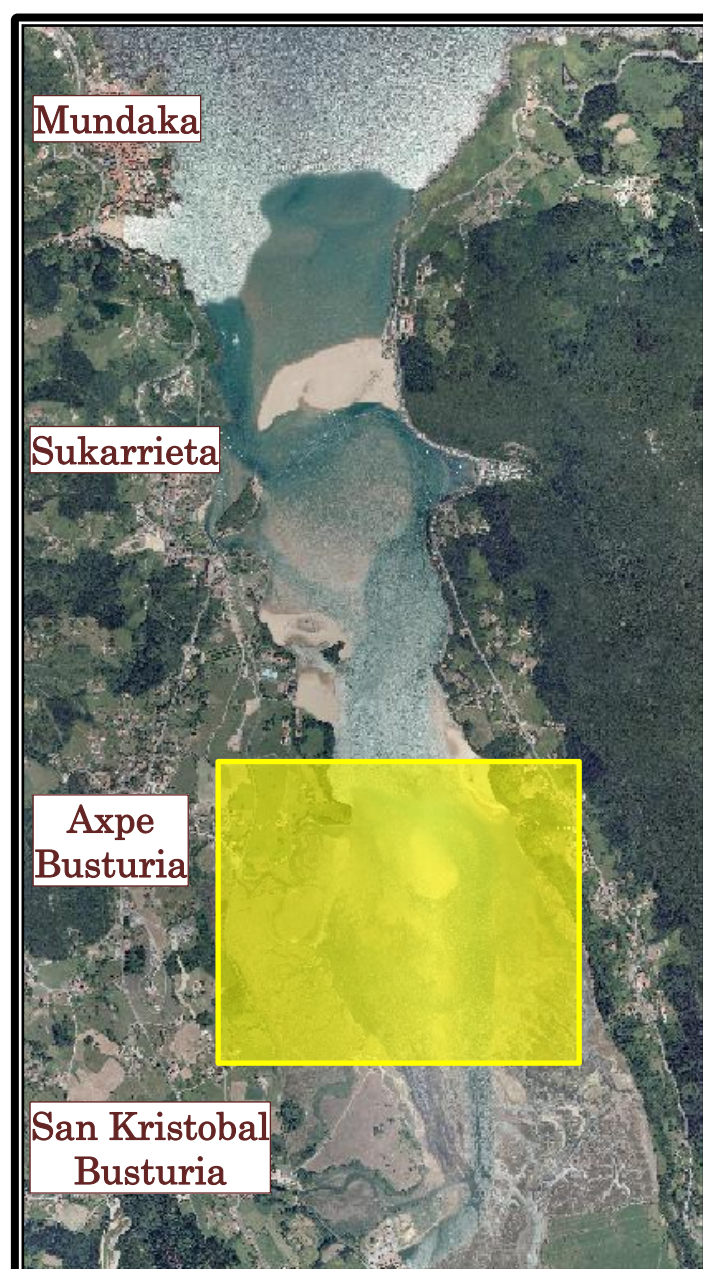
© Clasificación automática de *Zostera noltii* a partir de las imágenes CASI (en amarillo), superpuesta sobre un RGB de las mismas imágenes (bandas 15, 7, 3). Clasificación postprocesada con algoritmos de mayoría.

Fecha de adquisición de las imágenes: 3 de julio de 2012.



OKA 1/3b (Escala 1:2500)



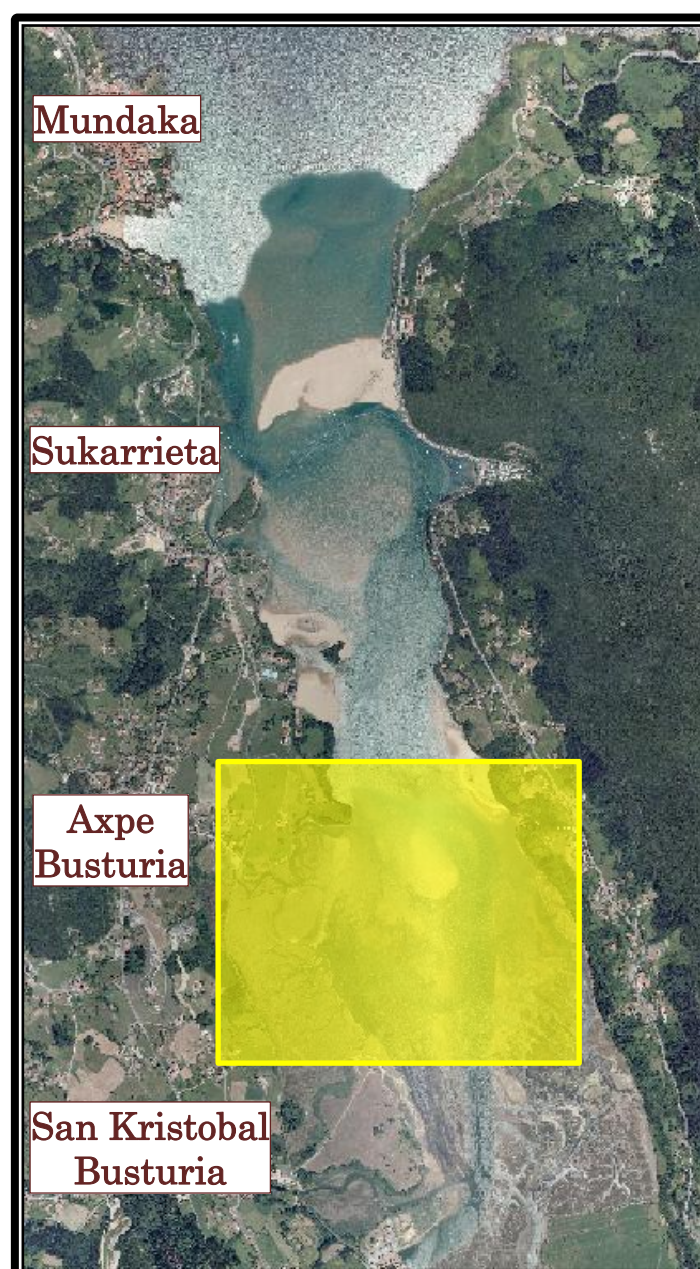


- ☉ En la margen izquierda de la zona media del estuario (Axpe-Busturia) se encuentra la mayor extensión de pradera, principalmente sobre arena.
- ☉ En la margen derecha, frente a la ostrera de Kanala, se encuentran manchas aisladas sobre fondo fangoso, normalmente mezcladas con algas.
- ☉ Elevada presión de marisqueo a pie.



OKA 2/3 (Escala 1:6000)





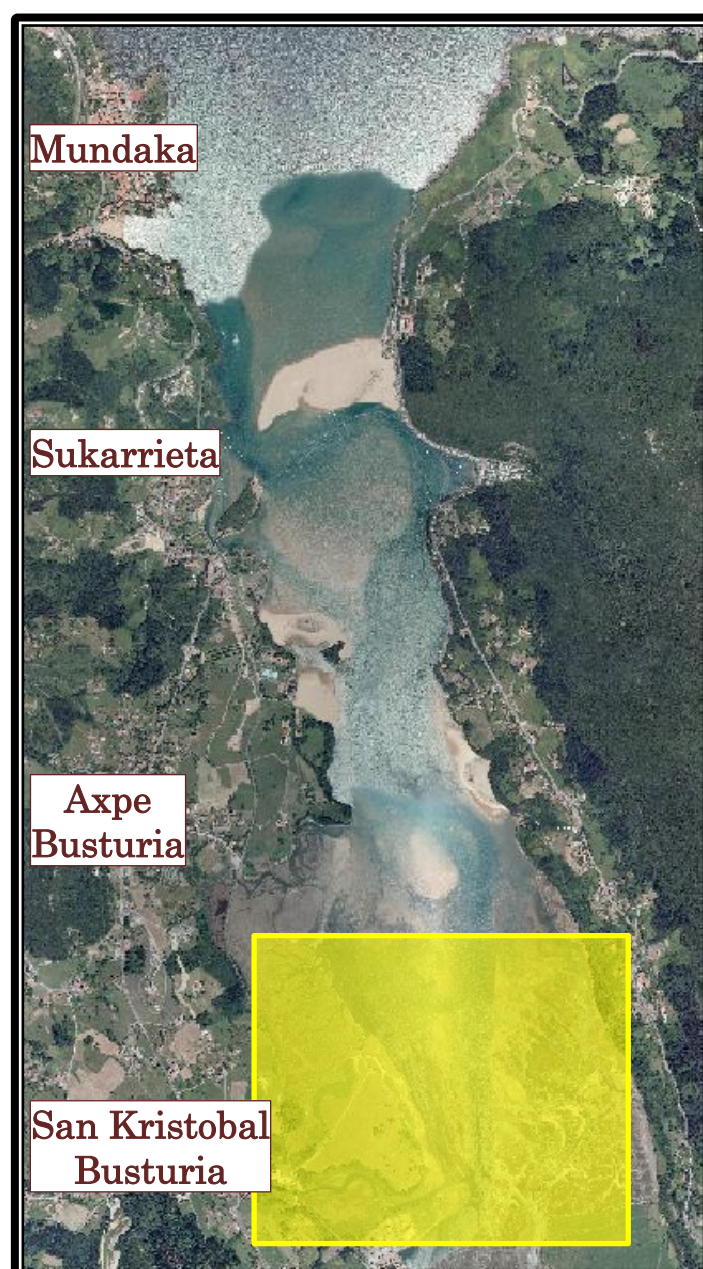
© Clasificación automática de *Zostera noltii* a partir de las imágenes CASI (en amarillo), superpuesta sobre un RGB de las mismas imágenes (bandas 15, 7, 3). Clasificación postprocesada con algoritmos de mayoría. Se aprecia sobreestima en de *Z. noltii* en las marismas.

Fecha de adquisición de las imágenes: 3 de julio de 2012.



OKA 2/3b (Escala 1:6000)





☉ En la margen izquierda de la zona media (San Kristobal-Busturia) existen grandes manchas de pradera, sobre fango.

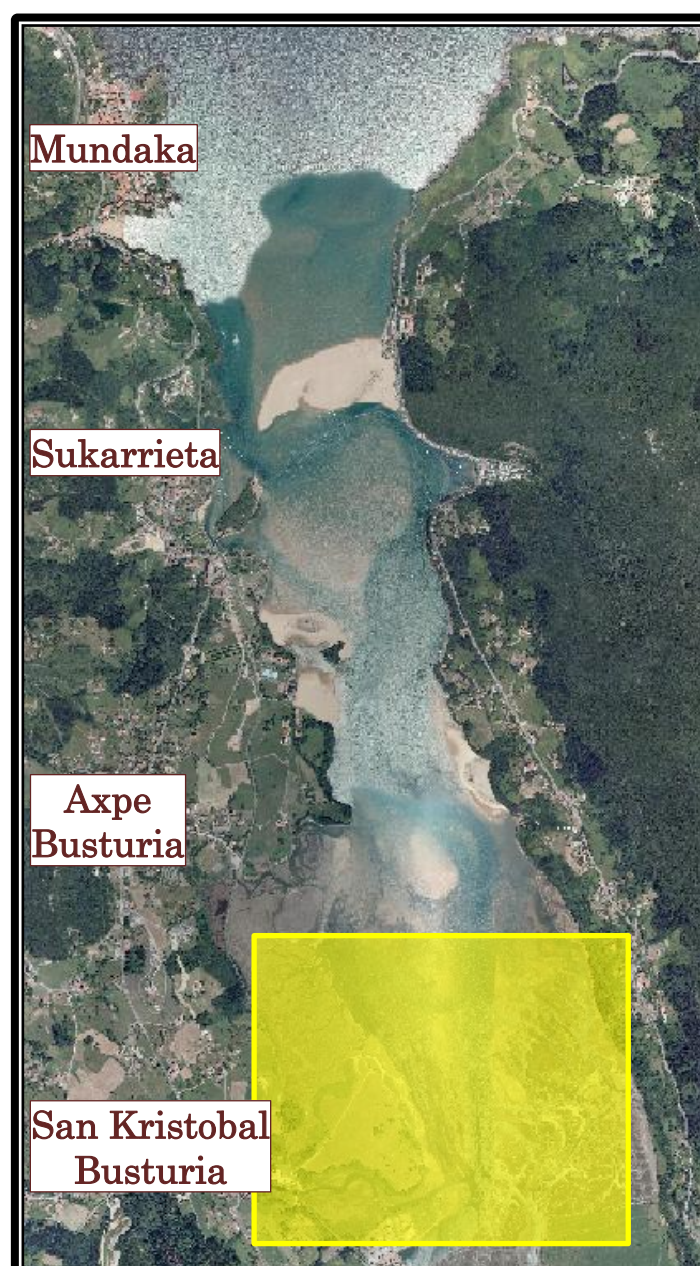
☉ En la margen derecha, al sur de la ostrera de Kanala, hay manchas aisladas cerca del canal central, sobre fango, normalmente mezcladas con algas.

☉ Presión media de marisqueo a pie.



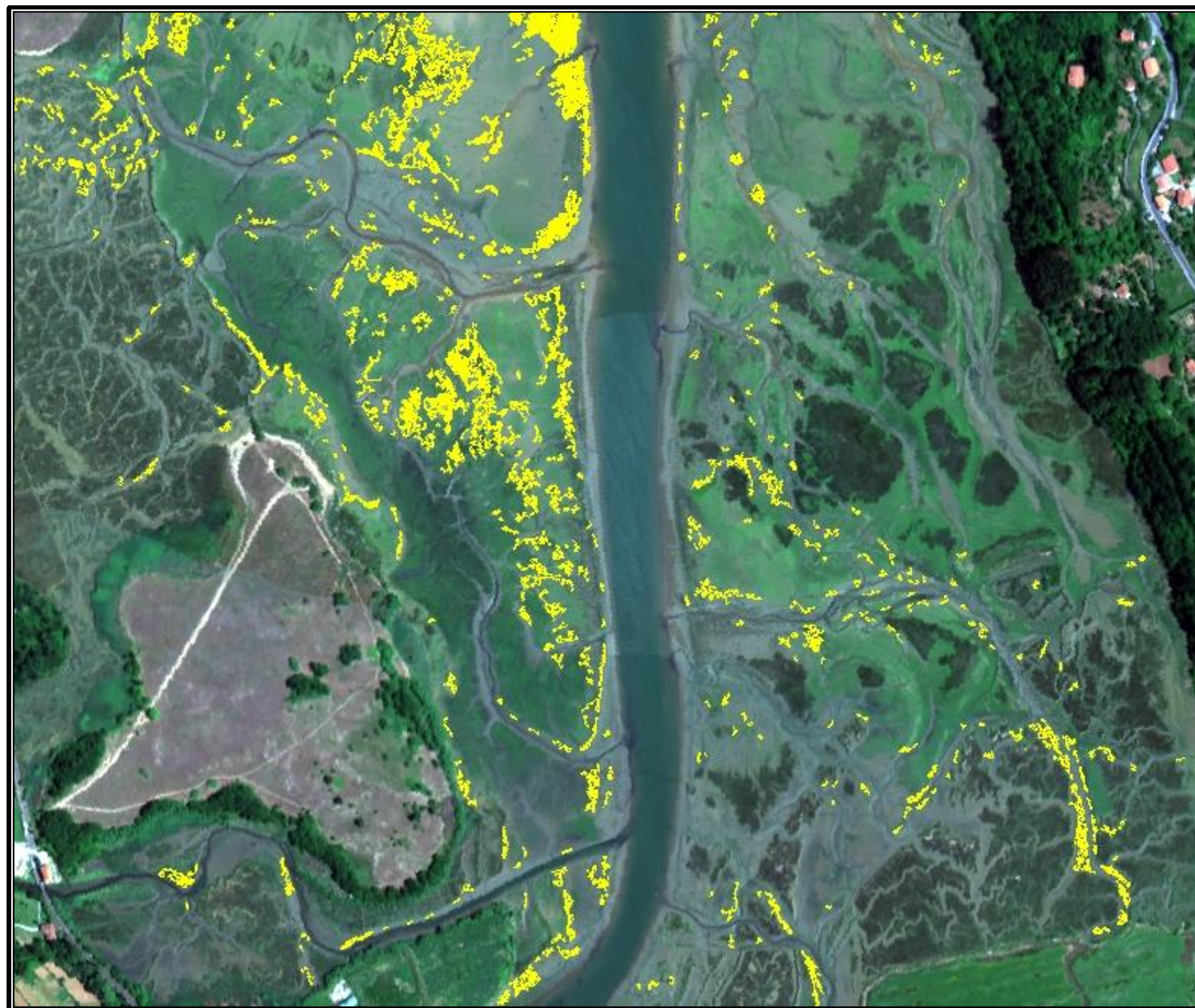
OKA 3/3 (Escala 1:6000)





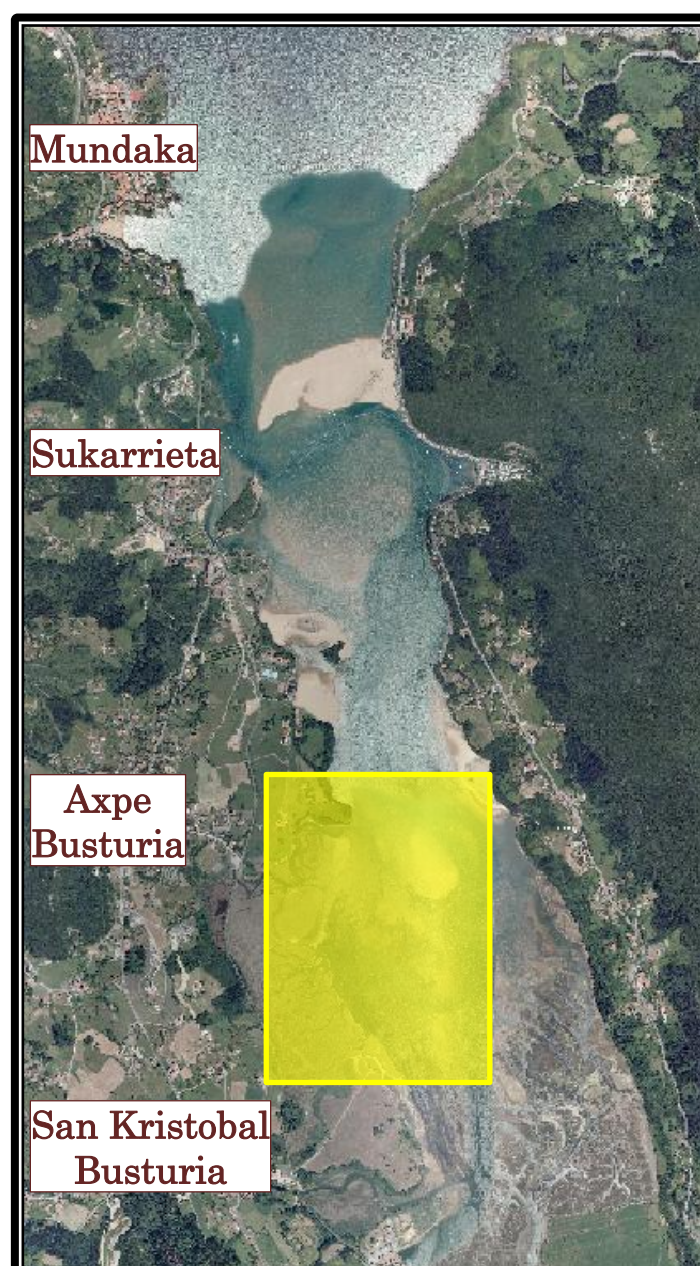
© Clasificación automática de *Zostera noltii* a partir de las imágenes CASI (en amarillo), superpuesta sobre un RGB de las mismas imágenes (bandas 15, 7, 3). Clasificación postprocesada con algoritmos de mayoría. Se aprecia sobreestima en de *Z. noltii* en las marismas.

Fecha de adquisición de las imágenes: 3 de julio de 2012.



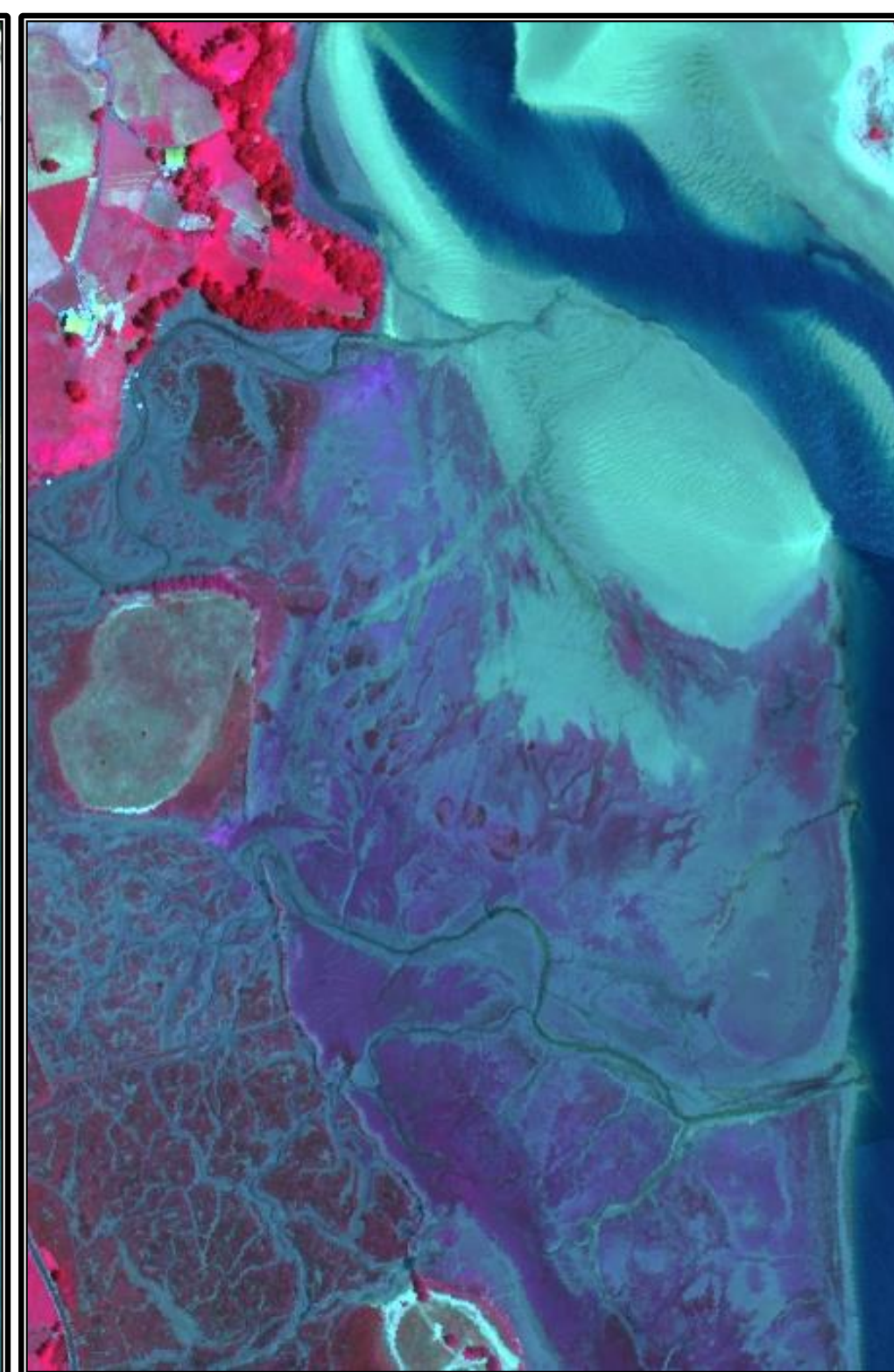
OKA 3/3b (Escala 1:6000)





⊙ Composiciones en color de las imágenes CASI (Derecha: color verdadero con bandas espectrales en el rojo, verde y azul 15, 7, 3; Izquierda: falso color con bandas en el infrarrojo cercano, rojo y verde 21, 15, 5).

Fecha de adquisición de las imágenes: 3 de julio de 2012.



OKA (Escala 1:6000)