

Garmendia, J.M., Rodríguez, J.G., Borja, Á., Franco, J., 2010. Clasificación de los estuarios del País Vasco como zonas potenciales para la restauración de praderas intermareales de *Zostera noltii*. '*Revista de Investigación Marina*'. 17(4): 40-58.

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

Editor: Dr. Ángel Borja

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

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

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



Edición: 1.^a Abril 2010

© AZTI-Tecnalia

ISSN: 1988-818X

Unidad de Investigación Marina

Internet: www.azti.es

Edita: Unidad de Investigación Marina de Tecnalia

Herrera Kaia, Portualdea

20010 Pasaia

Foto portada: © Iñigo Onandia (AZTI-Tecnalia)

Clasificación de los estuarios del País Vasco como zonas potenciales para la restauración de praderas intermareales de *Zostera noltii*

Joxe Mikel Garmendia^{1*}, J. Germán Rodríguez¹, Ángel Borja¹, Javier Franco¹

Resumen

La drástica reducción de la superficie ocupada por las distintas fanerógamas marinas, observada a escala mundial especialmente en la segunda mitad del siglo XX, unida a la reconocida importancia de las funciones ecológicas que cumplen sus praderas en el ecosistema estuárico y costero, ha despertado una gran preocupación entre los científicos y ha motivado en los últimos años la ejecución de muchos proyectos de restauración de praderas marinas. Entre las distintas metodologías para la recuperación de una pradera se encuentra el trasplante de plantas adultas. A través del caso concreto de los estuarios del País Vasco, en el presente trabajo se muestra una metodología para llevar a cabo una adecuada selección de una zona receptora de trasplantes, ya que dicha selección se considera como uno de los puntos clave para obtener el éxito en este tipo de actuaciones. En la actualidad, la única fanerógama que forma praderas marinas en el País Vasco es *Zostera noltii*, con la presencia de poblaciones intermareales en 3 (Oka, Lea y Bidasoa) de los 12 estuarios vascos. Tras analizar y valorar los distintos ambientes ofrecidos por los restantes 9 estuarios, así como el estado ecológico actual de sus aguas, se concluye que el estuario que ofrece mayores garantías de éxito para un trasplante de esta fanerógama es el del Butroe, seguido del Oria y Urola.

Abstract

The drastic reduction of seagrasses observed worldwide, especially in the second half of the 20th Century, together with the high relevance of the ecological functions that they provide in the estuarine and coastal ecosystems, has instigated a high concern among scientists. Thus, it has promoted the execution of many restoration projects of seagrasses during recent years. Transplant of adult plants is one of the different methodologies used for the restoration of intertidal meadows. Using the case of the Basque Country estuaries, a methodology to carry out an appropriate selection of the area to be restored by transplants, is shown. This selection is considered as one of the key points for successfully restoration. Nowadays, *Zostera noltii* is the unique marine seagrass that grows at the estuaries of the Basque Country, showing intertidal populations in 3 (Oka, Lea and Bidasoa) out of the 12 Basque estuaries. The different environmental variables of the 9 estuaries without *Z. noltii*, as well as the current ecological status of their water bodies were analyzed and assessed. As result, Butroe estuary is the one that shows the best conditions for a successful transplant of this species, followed by the Oria and Urola estuaries.

Introducción

Las praderas de fanerógamas marinas proporcionan una gran variedad de bienes y servicios ecológicos que, en algunos lugares, pueden llegar a condicionar el desarrollo económico de las zonas costeras. Estos recursos biológicos y servicios ecológicos están basados en la estructura física de las plantas, y el medio submarino que ellas forman, su actividad biológica y la de la fauna y flora asociada. Dentro de estos servicios o funciones ecológicas se encuentran: de la productividad primaria y la biodiversidad (provisión de un hábitat apropiado para un amplio listado de organismos que no sobreviven en

fondos sin vegetación, configuración de una zona de cría y cobijo para juveniles de especies comerciales, elevada tasa de producción primaria por la fijación de dióxido de carbono, introducción de nutrientes inorgánicos en la cadena trófica, oxigenación del sedimento por efecto de sus raíces y rizomas, alimento para algunos organismos); la mejora de la calidad del agua por su efecto de filtrado (retención del material en suspensión y sumidero de materia orgánica); y la protección costera frente a la erosión (fijación y estabilización del sedimento por el complejo sistema de raíces y rizomas, disminución de la resuspensión del sedimento provocado por las olas y corrientes, incremento de la acreción del sedimento) (Fonseca *et al.*, 2002; Terrados y Borum, 2004; Bos *et al.*, 2007; Björk *et al.*, 2008).

Además, las especies que componen las praderas marinas son consideradas como especies formadoras de hábitats. Este tipo de organismos (algas, fanerógamas marinas, corales,

¹ AZTI-Tecnalia; Marine Research Division; Herrera Kaia, Portualdea z/g; 20110 Pasaia; Spain

* Corresponding author: jgarmendia@azti.es

mejillones) son también conocidas como especies fundadoras o ingenieros del ecosistema, porque ofrecen un hábitat apropiado para una elevada variedad de especies (Borthagaray y Carranza, 2007). Esto se logra mediante el aumento de la heterogeneidad de hábitat, reducción del flujo del agua, estabilización del sustrato, aumento de la sedimentación, reducción de la luz y proporcionando a su vez un sustrato sobre el cual pueden vivir las distintas especies.

Por otro lado, estas praderas son indicadores del estado de la zona costera y pueden ser usados en estrategias de gestión costera con el objeto de conservar o mejorar la calidad ambiental de dichas zonas (Terrados y Borum, 2004; Waycott *et al.*, 2005). De hecho, dentro de la Directiva Marco del Agua (DMA) europea (Directiva 2000/60/CE), las fanerógamas marinas se utilizan como criterio de calidad a la hora de establecer el estado ecológico de las masas de agua (Romero *et al.*, 2007).

Teniendo en cuenta estos beneficios y servicios que ofrecen las citadas praderas, no es de extrañar el creciente interés mostrado, en cuanto a su protección y conservación, por parte de los ecólogos, naturalistas, gestores y sociedad en general. A pesar de su importancia, estas praderas vieron fuertemente reducida su presencia a escala mundial debido a diversos motivos (enfermedades, contaminación, pérdida de hábitat, etc.), especialmente en el siglo XX. Por todo ello, en los últimos años se han llevado a cabo muchas actuaciones de recuperación de estas praderas mediante la restauración de sus hábitats y reintroducción de ejemplares con el objetivo de conseguir una mayor superficie ocupada por fanerógamas marinas y así, posteriormente, contribuir a la recuperación y mantenimiento de un buen estado ecológico de las masas de agua de transición (Hawkins *et al.*, 1999; Martins *et al.*, 2005; Park y Lee, 2007; van Katwijk *et al.*, 2009; Rodríguez-Salinas *et al.*, 2010). La implicación humana en esta expansión de las praderas viene también justificada por la bajísima capacidad que presentan estas plantas para llevar a cabo una exitosa recolonización natural entre estuarios, al menos en un corto periodo de tiempo.

Una de las alternativas más empleadas para la recuperación o reintroducción de una población desaparecida es el trasplante. Existe una gran variedad de métodos y modalidades de trasplante (Paling *et al.*, 2001a; Christensen *et al.*, 2004; Fishman *et al.*, 2004; Orth *et al.*, 2006; Park y Lee, 2007; Lee y Park, 2008), pero en todas ellas se trata de llevar algunos ejemplares desde su población natural a una zona donde no existe o su presencia es escasa.

A la hora de afrontar la posibilidad de trasplantar una fanerógama marina, una de las claves más importantes del éxito es la selección de una zona receptora apropiada para albergar el organismo en cuestión (Thom, 1990; de Jonge *et al.*, 2000; van Katwijk *et al.*, 2000, 2004, 2009; Fonseca *et al.*, 2002; Bos *et al.*, 2005). La zona receptora ha de presentar unas características concretas y, además, encontrarse en unas condiciones mínimas de buena calidad. Se han realizado muchos intentos de trasplante que han conseguido distintos grados de éxito (West *et al.*, 1990; Davis y Short, 1997;

Moore *et al.*, 1997; van Katwijk y Hermus, 2000; Paling *et al.*, 2001b, 2009; Thom *et al.*, 2001; García-Castrillo *et al.*, 2002; Tamaki *et al.*, 2002; Campbell y Paling, 2003; Sánchez *et al.*, 2003; Schanz y Asmus, 2003; Park y Lee, 2007). Esta disparidad de resultados es consecuencia fundamentalmente de la no consideración de algún elemento distorsionador o perturbador debido a la falta de un análisis profundo de las características propias de la zona implicada (en definitiva, la no idoneidad del hábitat), o a la incorrecta evaluación de la calidad de dicha zona (es decir, aún siendo un medio adecuado, las condiciones no lo son) (van Katwijk *et al.*, 2009). Estas actuaciones de trasplante suponen un gran esfuerzo, tanto económico como de tiempo. Por ello, con el fin de conocer el medio e intentar garantizar el éxito de la actuación, no se deben escatimar esfuerzos en la planificación de los proyectos y se debe procurar obtener la mayor información posible de las zonas y poblaciones implicadas en el trasplante (Fonseca *et al.*, 1998; Short y Coles, 2001; Borum *et al.*, 2004).

En una fase inicial se trata de conocer la idoneidad del hábitat de los lugares candidatos a recibir el trasplante. Esta preselección inicial suele llevarse a cabo mediante una rigurosa interpretación y combinación de información de muy diversa índole referente al medio: por medio de su análisis visual por parte de técnicos experimentados, por medio de modelos de aplicación de índices o modelos de selección de receptor óptimo (Short *et al.*, 2002) o mediante su modelización (por ejemplo, las metodologías relacionadas con los modelos de “*Habitat Suitability*”) (van Katwijk *et al.*, 2000, 2009; Bos *et al.*, 2005; van der Heide *et al.*, 2009; Valle *et al.*, 2010). Cuanto mayor sea la cantidad de información analizada, menor será la probabilidad de dejar sin considerar algún componente relevante.

Por tanto: ¿Qué variables se deben tener en cuenta para llevar a cabo una adecuada evaluación de las condiciones del medio con el objeto de garantizar la viabilidad de de un trasplante de *Zostera noltii*?

Para responder a esta pregunta, en el presente trabajo se expone el caso de la especie *Zostera noltii* Hornem., 1832, una de las cuatro fanerógamas marinas autóctonas que se encuentran en Europa (Borum y Greve, 2004). Esta planta, de nombre común **seda de mar estrecha**, es una fanerógama marina de aspecto herbáceo, con largos rizomas reptantes que la fijan al suelo (Figura 1). Sus hojas tienen forma de cinta, con una longitud habitual de entre 10 y 20 cm (pueden llegar a 50 cm) y una anchura cercana a 1 mm; presenta una amplia distribución, y suele formar comunidades monoespecíficas, compartiendo espacio, sólo en ocasiones, con algunas algas pardas o verdes. *Z. noltii* se encuentra catalogada como vulnerable en varios Catálogos de Flora Amenazada (Asturias, País Vasco) y, además, su hábitat ha sido clasificado como de interés comunitario en la Directiva europea de Hábitats (Directiva 92/43/CEE).

De los doce estuarios que existen en el País Vasco, en la actualidad sólo tres de ellos albergan poblaciones intermareales de *Z. noltii* (Figura 2). Si bien solamente hay constancia escrita de la anterior presencia de esta fanerógama en algunos estuarios como Nerbioi y Oiartzun (Bubani, 1897-1901 y



Figura 1. Ejemplares de *Zostera noltii*. Mediante la coloración pueden distinguirse las partes subterráneas (rizoma y raíces marrones) y las aéreas (hojas verdes).

Gredilla, 1913), en Silván y Campos (2002) se considera que habían existido, si no en todos, en la mayoría de ellos (Silván y Campos, 2002; Uribe-Echebarria *et al.*, 2006). La supuesta desaparición de sus poblaciones es achacada a la mala calidad de las aguas, así como a la destrucción de hábitats idóneos debido a diversas actividades humanas).

Por otro lado, desde el año 1994, la Agencia Vasca del Agua del Gobierno Vasco viene realizando el seguimiento del estado de las masas aguas costeras y estuáricas del País Vasco. Los resultados de dicho seguimiento vienen contemplados en la **Red de Seguimiento del Estado Ecológico de las Aguas de transición y costeras (RSEEA) de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV)** que se realiza con periodicidad anual y donde se trata de establecer el estado ecológico de las masas de agua identificadas en el País Vasco en el contexto de la DMA (Borja *et al.*, 2009). Para ello, partiendo de datos físico-químicos y biológicos se realiza un ejercicio de integración de datos y se estiman unos parámetros o indicadores que caracterizan el estado ecológico de dicha masa de agua. La información de esta RSEEA refleja la existencia, en los últimos años, de una mejoría general de la calidad de las aguas del País Vasco (Borja *et al.*, 2009). Vista esta mejoría de las condiciones, especialmente en algunos estuarios, se ha considerado que es una buena oportunidad para realizar una prueba de restauración de praderas de *Z. noltii*. El éxito de esta

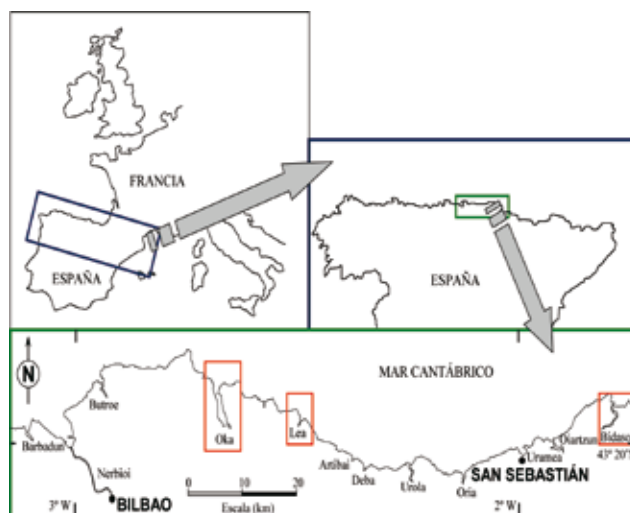


Figura 2. Estuarios del País Vasco. Los estuarios donde hay presencia de poblaciones de *Zostera noltii* se encuentran señalados con un recuadro rojo.

actuación podría confirmar el buen estado real de estas aguas y la existencia de hábitats idóneos para la especie fuera de los estuarios donde está presente hoy en día.

Apoyándose en el caso práctico del País Vasco, en el presente trabajo se expone la metodología utilizada para garantizar una adecuada caracterización del estado del medio y reducir las posibilidades de fracaso de la restauración.

Valle *et al.* (2010) abordan la idoneidad de hábitats para *Z. noltii* en el estuario del Oka mediante el empleo de una metodología distinta (*Habitat Suitability*), la cual aplica un modelo a partir de datos básicamente sedimentológicos, geomorfológicos e hidrodinámicos. Ambos trabajos tratan de identificar las zonas adecuadas para el desarrollo de *Z. noltii*. Sin embargo, la diferencia más importante es que en el presente trabajo se incluye el estado ecológico de todos los estuarios vascos, como una manera de garantizar la calidad del sistema ante un trasplante o una restauración.

El principal objetivo del presente trabajo se centra en la propuesta de una clasificación de los estuarios vascos en base a su potencialidad para recibir, con garantías de desarrollo, un trasplante de ejemplares de *Zostera noltii*. Además, dentro del estuario seleccionado en primer lugar, se pretende hallar la zona más adecuada para el trasplante.

Material y métodos

Caracterización de zonas con presencia de Z. noltii: recogida de muestras

En primer lugar, se requiere de una adecuada y exhaustiva caracterización de las zonas con presencia de *Z. noltii* para, posteriormente, buscar e identificar zonas ambientalmente similares que se puedan declarar como zonas potenciales para trasplante. Para ello se ha accedido a los lugares del País Vasco donde en la actualidad existen praderas de esta

especie (estuarios del Bidasoa, Lea y Oka; Figuras 3, 4 y 5) y se han tomado distintas muestras de sedimento con el fin de recabar una completa información del hábitat ocupado por *Z. noltii*: granulometría (Figura 6a), potencial redox (Figura 6b), contenido en materia orgánica y contenido en metales. Además, se han obtenido también sus coordenadas geográficas, altura respecto al nivel medio del mar, densidad de hojas y biomasa. Los muestreos fueron realizados durante el verano de 2008, en la época de mayor desarrollo de la planta. La metodología, referente a la recogida de muestras y su posterior tratamiento para el análisis granulométrico y contenido en materia orgánica, puede verse en Garmendia *et al.* (2008).

Caracterización de zonas sin presencia de *Z. noltii*: inspección del terreno

En segundo lugar, se ha analizado información de todos los estuarios del País Vasco donde en la actualidad no se desarrollan poblaciones de *Z. noltii*. Se han realizado visitas a dichos estuarios para ver su situación actual y estimar la disponibilidad de espacios físicos potencialmente aptos para albergar una población de esta planta, valorando *in situ* la idoneidad de dichas zonas en función de otras variables distintas a las propiamente hidrológicas. De esta manera, se ha adquirido información sobre superficies o llanuras intermareales con escasa pendiente, presencia de sustrato blando, cercanía a núcleos de población, cercanía a vías de comunicación y paseos, usos de los habitantes locales, presencia de puntos de vertido, presiones humanas como tráfico de embarcaciones, embarcaderos o explotación marisquera, probabilidad de obras futuras, actuaciones de dragados, accesibilidad, grado de artificialización o canalización, presencia de otros vegetales y algas, fauna bentónica, grado de exposición a las olas o al canal principal del río, presencia de piedras, cantos rodados y restos vegetales (fuerza de corriente y efecto de riadas), trayectoria del río, etc.

Caracterización físico química y ecológica: comparación de zonas

En tercer lugar, se aporta la información de la calidad de las aguas de cada estuario, para lo cual se ha recurrido a los resultados obtenidos en la mencionada RSEEA correspondientes a la campaña del año 2007 (Borja *et al.*, 2008). Esta información permite ver las condiciones predominantes en cada uno de los estuarios implicados, así como su evolución en los últimos años. En este sentido, se han tenido en cuenta los valores registrados en los estuarios con presencia de *Z. noltii* en la actualidad (Lea, Oka y Bidasoa) y se han comparado con los observados en los estuarios candidatos a recibir el trasplante de esta planta. Se dispone de, al menos, dos estaciones por estuario para caracterizar la zona interior y la zona exterior. En cada estación se han considerado 10 variables hidrológicas (saturación de oxígeno, pH, silicato, amonio, nitrito, nitrato, nitrógeno total, fosfato, fósforo total y carbono orgánico total); 12 variables sedimentológicas (carbono orgánico particulado, nitrógeno orgánico particulado, ratio C/N, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn); y 9 indicadores biológicos-ecológicos

(Fitoplancton, Algas, Bentos, Peces, Estado Biológico, Estado Físico-Químico, Química (contaminantes específicos), Elementos Hidromorfológicos, Estado Ecológico (Borja *et al.*, 2004a, 2004b, 2009; Franco *et al.*, 2004)). Una vez recopilada toda la información citada, se procede a la caracterización del estado ecológico de cada estación y, por extrapolación, de la masa de agua a la que pertenece. Esta metodología se viene aplicando en la CAPV para llevar a cabo el seguimiento que la DMA exige para cada masa de agua identificada. Mediante este procedimiento, el estado ecológico de dichas masas de agua se clasifica como malo, deficiente, aceptable, bueno o muy bueno, (terminología acorde con la DMA).

Dentro de los tres estuarios vascos con presencia de *Z. noltii* se han tomado como zonas o estaciones de referencia aquellas en cuyas proximidades se encuentran actualmente establecidas las poblaciones de *Z. noltii*: E-OK10* y E-OK20 en Oka, E-BI10* y BI20 en Bidasoa, y E-L5 y E-L10* en Lea (el asterisco señala las estaciones que han tenido un mayor peso en el análisis de los datos, ya que en sus proximidades se encuentran las manchas más densas y desarrolladas de *Z. noltii*).

Agrupando toda esta información se ha generado una ficha para cada estuario que ha permitido efectuar un ordenamiento relativo de los estuarios y seleccionar aquellas zonas potencialmente aptas.

Análisis estadístico

Paralelamente, se ha llevado a cabo un análisis estadístico para calcular el grado de similaridad existente entre los puntos de muestreo. Para ello se consideró una tabla de 20 estaciones repartidas en 9 estuarios vascos (no se han incluido Oiartzun, Nerbioi y Urumea; ver razón más adelante) y 37 variables ambientales (Anexo I) obtenidos a partir del informe de la RSEEA citado anteriormente (Borja *et al.*, 2008). Respecto a las variables ambientales, a las 31 variables consideradas en la interpretación anterior (10 hidrológicas, 12 sedimentológicas y 9 biológicas-ecológicas), se le han añadido 5 sedimentológicas (porcentaje de gravas, arenas, pelitas, contenido en materia orgánica y potencial redox) y 1 ecológica (Estado Ecológico de la Masa de Agua), todas ellas disponibles también en Borja *et al.* (2008).

A partir de esta matriz inicial se comprobó la similaridad o disimilaridad existente entre las estaciones de muestreo, elaborándose dendrogramas y realizando un análisis de ordenación por medio de MDS (*MultiDimensional Scaling*). Concretamente, se efectuó un análisis de aglomeración jerárquica para clasificar las 20 estaciones de muestreo pertenecientes a los 9 estuarios vascos en función del grado de similaridad de los parámetros medioambientales considerados, previa normalización (estandarización) de los datos. Se usó la opción de Promedio de Grupo (*Group average*) computándose las distancias Euclídeas. Para analizar las diferencias entre las muestras de cada estación se realizó un análisis de perfil similar (test Simprof, $\alpha=0,05$). Los análisis Cluster, Simprof y MDS, así como la elaboración de las respectivas representaciones, se realizaron con el paquete estadístico PRIMER (versión 6.1.6) (Clarke y Warwick, 2001).



Figura 3. Estuario del Bidasoa. A, B, C, D, E, F, G: Zonas con presencia de poblaciones o manchas de *Zostera noltii*. E-BI10 y E-BI20: estaciones de muestreo de la Red de Seguimiento del Estado Ecológico de las Aguas del País Vasco.

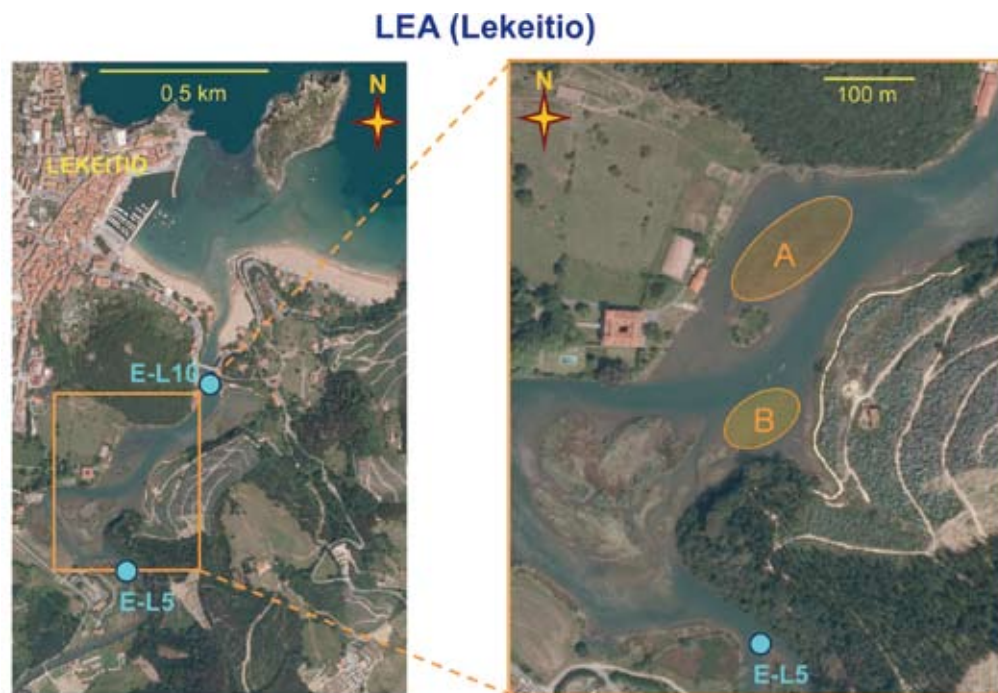


Figura 4. Estuario del Lea. A, B: Zonas con presencia de poblaciones o manchas de *Zostera noltii*. E-L5 y E-L10: estaciones de muestreo de la Red de Seguimiento del Estado Ecológico de las Aguas del País Vasco.

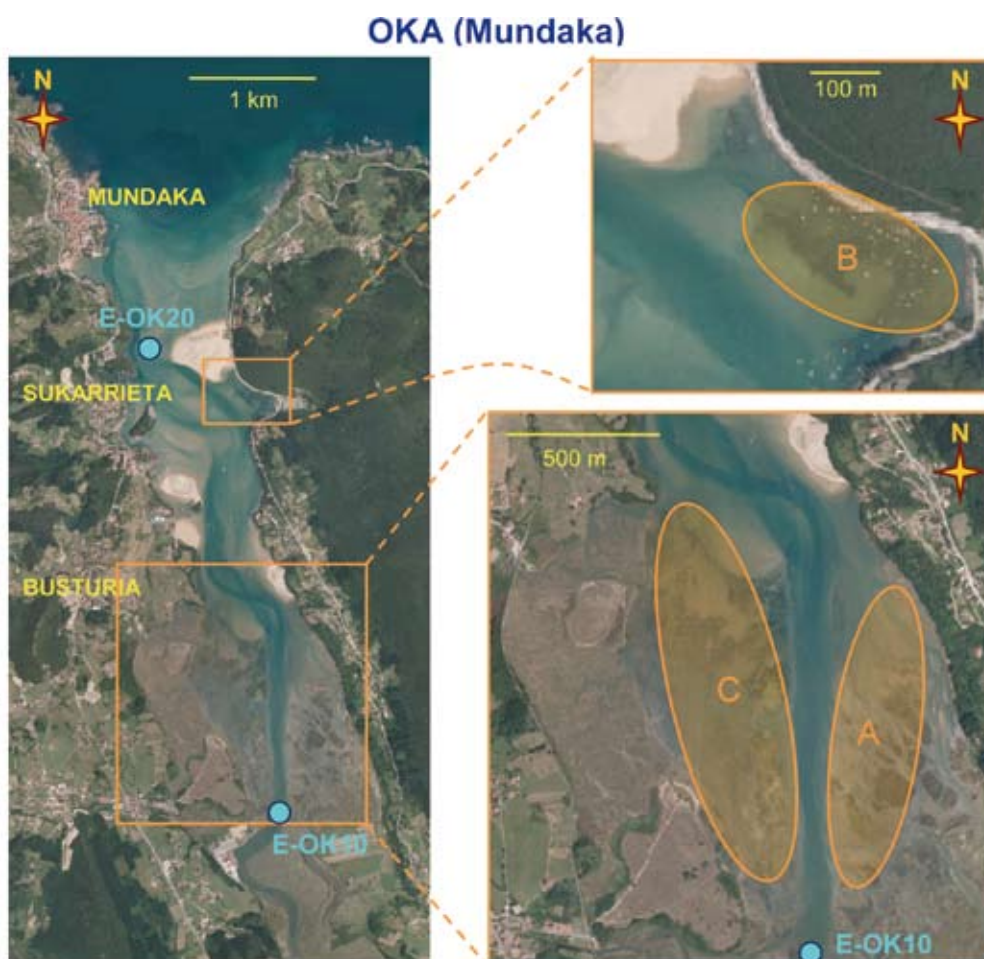


Figura 5. Estuario del Oka. A, B, C: Zonas con presencia de poblaciones o manchas de *Zostera noltii*. E-OK10 y E-OK20: estaciones de muestreo de la Red de Seguimiento del Estado Ecológico de las Aguas del País Vasco.



Figura 6. Muestreo en campo. (a) Toma de muestras de sedimento y (b) medición de temperatura y potencial redox.

Figura 7. Diagrama triangular de la granulometría de los sedimentos pertenecientes a las zonas con *Zostera noltii*.



Figura 10. (a, b) Pradera monoespecífica de *Zostera noltii*, en manchas circulares y bien definidas; (c) con alta densidad de hojas.



Figura 11. Estuario del Butroe. A, B, C1, C2, D, E, F: Zonas potencialmente adecuadas para realización de trasplantes de *Zostera noltii*. E-B10 y E-B7: estaciones de muestreo de la Red de Seguimiento del Estado Ecológico de las Aguas del País Vasco.



Figura 12. Estuario del Oria. A, B, C, D, E: Zonas potencialmente adecuadas para realización de trasplantes de *Zostera noltii*. E-O5 y E-O10: estaciones de muestreo de la Red de Seguimiento del Estado Ecológico de las Aguas del País Vasco.



Figura 13. Estuario del Urola. A, B: Zonas potencialmente adecuadas para realización de trasplantes de *Zostera noltii*. E-U5, E-U8 y E-U10: estaciones de muestreo de la Red de Seguimiento del Estado Ecológico de las Aguas del País Vasco.

Caracterización hidrológica

La Tabla 1 muestra los valores registrados para algunas variables del agua superficial así como para los sedimentos de las estaciones de referencia mencionadas. Se entiende que aquellas zonas receptoras que presenten valores dentro del rango delimitado por los valores de estas estaciones de referencia ofrecen condiciones aptas para permitir el desarrollo de una población de *Z. noltii*, al menos en lo que a estas variables medioambientales se refiere.

Entre los restantes 9 estuarios de la CAPV, potenciales receptores de los trasplantes, las áreas más degradadas se sitúan en estuarios ligados a actividades portuarias como el del río Oiartzun (Pasaia), el del río Nerbioi (Bilbao) y el del río Artibai (Ondarroa). En los casos del Urumea, Oiartzun y Nerbioi, la limitación a su regeneración también se debe a que han sido muy canalizados y se ha ganado el terreno al estuario, por lo que gran parte de los hábitats disponibles o adecuados para *Z. noltii* han desaparecido.

En base a esta información, en el presente trabajo se descartan en una primera fase los estuarios de Nerbioi, Urumea y Oiartzun, debido a su alto grado de artificialización, que se ve reflejado en una importante canalización de las riberas, ausencia de amplias zonas intermareales y alto grado de presión

humana, así como de contaminación. De esta manera, quedan 6 estuarios que se analizan en mayor profundidad.

Estos 6 estuarios, junto con el del Lea, son considerados degradados en el Plan Territorial Sectorial de Protección y Ordenación del Litoral de la CAPV, aprobado de manera definitiva en el año 2007. En dicho plan se encuentra contemplado un conjunto de intervenciones de futura realización en zonas deterioradas de estos estuarios, encaminado a regenerar y recuperar su potencialidad ambiental. Por tanto, estas actuaciones también deben ser tenidas en cuenta, ya que podrían afectar directamente sobre las zonas de interés para la ejecución de los trasplantes.

Caracterización ecológica

Teniendo en cuenta la evolución observada en la calidad biológica (peces y macroalgas) durante los últimos años (Borja *et al.*, 2009), los peces parecen indicar una estabilización de la situación, mientras que las macroalgas muestran una ligera tendencia al empeoramiento (Tabla 2). Por otro lado, la comparación de los resultados obtenidos en distintas variables del agua y sedimento en los estuarios seleccionados y el rango establecido para dichas variables en los estuarios de referencia (Borja *et al.*, 2008) permite verificar la presencia de algún

Tabla 1. Valores medios de variables del agua superficial relacionadas con el estado trófico (en verde) y parámetros sedimentológicos (en naranja) hallados en las estaciones de referencia pertenecientes a los estuarios del Bidasoa (BI), Lea (L) y Oka (OK). COP= carbono orgánico particulado; NOP= nitrógeno orgánico particulado; C/N= relación carbono-nitrógeno; metales pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn). En fondo azul se resaltan los valores más altos para cada una de las variables y en fondo amarillo los más bajos. Adaptado de Borja *et al.* (2008). El asterisco señala las estaciones que han tenido un mayor peso en el análisis de los datos, ya que en sus proximidades se encuentran las manchas más densas y desarrolladas de *Z. noltii*.

Variable	Unidad	E-BI10*	E-BI20	E-L5	E-L10*	E-OK10*	E-OK20
O ₂ (% saturación)	%	77,66	89,08	81,58	82,93	80,03	98,95
pH		7,89	8,17	7,37	7,25	8,30	8,18
Silicato	μmol.dm ⁻³	62,78	27,63	47,65	38,74	47,61	13,88
Amonio	μmol.dm ⁻³	20,88	7,36	9,97	8,21	31,36	29,72
Nitrato	μmol.dm ⁻³	1,50	0,40	0,65	0,84	1,82	0,41
Nitrato	μmol.dm ⁻³	38,55	121,59	20,24	15,27	15,55	6,17
Nitrógeno Total	μmol.dm ⁻³	104,25	38,0	55,0	43,13	85,75	75,63
Fosfato	μmol.dm ⁻³	1,36	0,60	0,49	0,42	0,89	1,90
Fósforo Total	μmol.dm ⁻³	3,16	1,54	1,55	1,30	2,43	3,66
Carbono orgánico Total	μmol.dm ⁻³	134,18	69,22	138,73	120,22	181,75	101,23
COP	mol.Kg ⁻¹	23,19	14,52	26,94	16,62	21,63	20,77
NOP	mol.Kg ⁻¹	1,20	0,11	1,89	0,22	1,32	0,07
C/N		19,3	134,9	14,2	74,8	16,4	301,7
Cd	mg.Kg ⁻¹	0,53	0,02	0,10	0,05	0,18	0,02
Cr	mg.Kg ⁻¹	52,0	17,3	21,9	7,4	34,8	6,7
Cu	mg.Kg ⁻¹	135,1	25,8	29,7	14,2	29,3	5,2
Fe	mg.Kg ⁻¹	32453	17958	21924	27028	30160	33806
Hg	mg.Kg ⁻¹	0,38	0,04	0,17	0,27	0,05	0,03
Mn	mg.Kg ⁻¹	474,4	262,1	186,0	260,0	226,8	156,5
Ni	mg.Kg ⁻¹	40,1	22,2	26,4	21,3	34,0	21,9
Pb	mg.Kg ⁻¹	785,6	50,0	31,8	43,9	43,1	35,3
Zn	mg.Kg ⁻¹	713,5	75,9	73,4	50,7	98,8	52,3

Tabla 2. Evolución de la calidad biológica (peces y macroalgas) durante los últimos años en los estuarios del Butroe, Oria, Urola, Deba, Barbadun y Artibai (Borja *et al.*, 2009); parámetros del agua y sedimento externos al rango establecido por los resultados hallados en los estuarios con presencia de *Zostera noltii* (Oka, Lea y Bidasoa) (Borja *et al.*, 2008); y aptitud para la recepción de un trasplante a corto plazo. Calidad biológica: B=Buena, A=Aceptable, D=Deficiente, M=Mala, Mejoría (en verde), Empeoramiento (en naranja), Estable (en azul). COT=Carbono orgánico total; COP=Carbono orgánico particulado; NOP=Nitrógeno orgánico particulado.

Variables Estado		Butroe	Oria	Urola	Deba	Barbadun	Artibai
Peces	Zona interna	B a A	A	A	A	B a A	A
	Zona media	B	A	B	A	A	A
	Zona externa	B	B	B	A	A a B	A
Macroalgas	Zona interna	B a A	B	D	A a D	D a M	A
	Zona media	B	B a A	D			
	Zona externa	B	A a D	A	A a D	D a M	A a D
Agua Nutrientes	Superior al rango	Silicato, Nitrito, N total, Fósforo, P total, COT	Nitrito	Silicato, N total	Silicato, Nitrito, N total, Fósforo, P total, COT	Silicato, N total, COT	Silicato, Nitrito, COT
	Inferior al rango			Amonio	Ox, pH	Amonio	Ox, pH
Sedimento Metales	Superior al rango		COP, Ni	COP, NOP, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni	Cr, Fe, Mn, Ni	COP, NOP, C/N, Fe, Mn, Ni	COP, NOP, Cu, Fe, Hg
	Inferior al rango	Pb, Fe, Hg Ni				Hg, Cr	
Aptitud frente a trasplante a corto plazo		APTO	APTO	APTO	NO APTO	NO APTO	NO APTO

Tabla 3. Estado biológico y ecológico de las estaciones correspondientes a los estuarios de Bidasoa (BI), Lea (L), Oka (OK), Butroe (B), Oria (O), Urola (U), Deba (D), Barbadun (M) y Artibai (A). Fitopl.=Fitoplancton; Estado FQ=Estado Físico-Químico; >NC=Nivel de Contaminación superado; Cond. Hidrom.=Condiciones Hidromorfológicas; M=Malo, D=Deficiente, A=Aceptable, B=Bueno, MB=Muy Bueno. Adaptado de Borja *et al.* (2008). El asterisco señala las estaciones que han tenido un mayor peso en el análisis de los datos, ya que en sus proximidades se encuentran las manchas más densas y desarrolladas de *Z. noltii*.

Estación	Elementos Biológicos				Estado Biológico	Estado FQ	Química >NC	Cond. Hidrom.	Estado Ecológico
	Fitopl.	Algas	Bentos	Peces					
E-BI10*	B	B	MB	A	B	MB	Si	MB	A
E-BI20	B	MB	B	B	B	MB	No	MB	B
E-L5	B	D	MB	A	A	MB	No	MB	A
E-L10*	B	B	B	B	B	MB	No	MB	B
E-OK10*	B	B	A	B	A	B	No	MB	A
E-OK20	B	B	MB	B	B	MB	No	MB	B
E-B5	MB	B	MB	B	B	A	No	MB	A
E-B7	B	A	B	B	B	MB	No	MB	B
E-B10	B	A	B	B	B	B	No	MB	B
E-O5	MB	A	MB	A	B	MB	No	B	B
E-O10	MB	D	A	B	A	MB	No	A	A
E-U5	A	D	B	A	A	MB	No	B	A
E-U8	MB	D	MB	B	A	MB	No	B	A
E-U10	MB	A	B	B	B	B	No	B	B
E-D5	D	D	B	A	A	MB	Si	D	A
E-D10	MB	D	B	B	A	B	Si	B	A
E-M5	D	M	B	B	D	MB	Si	MB	D
E-M10	MB	M	B	B	A	MB	No	MB	A
E-A5	M	M	D	A	D	MB	No	A	D
E-A10	B	D	B	B	A	MB	No	A	A

factor diferenciador y su posible influencia en la clasificación de la calidad del estuario. En este sentido, en la Tabla 2 se señalan aquellas variables externas al rango definido por los estuarios con poblaciones de *Zostera noltii* (Anexo I). Además, de manera preliminar, se consideran al Butroe (Figura 11), Oria (Figura 12) y Urola (Figura 13) como estuarios aptos para recibir trasplantes de *Z. noltii* a corto plazo.

En la Tabla 3 se muestra el resumen y diagnóstico del Estado Ecológico adaptado de Borja *et al.* (2008) con el que se pretende ofrecer el estado que presentan en la actualidad (datos del 2007) tanto las zonas de referencia como los 6 estuarios designados potencialmente receptores. Mediante su observación se puede realizar una primera comparación y

ordenación relativa de las alternativas a considerar. A partir de esta comparación inicial del estado de las estaciones de muestreo, se infiere que: los estuarios del Butroe, del Oria y del Urola son los más adecuados para recibir los trasplantes, ya que muestran las condiciones ambientales más similares a las de las estaciones de referencia, además de mostrar una mejora de calidad en sus indicadores.

Análisis multidimensional de características ambientales

En primer lugar, se ha realizado el análisis considerando todas las variables (Figura 14). Posteriormente, se han ido seleccionando de manera escalonada aquellas variables que se consideran más importantes para caracterizar la idoneidad de

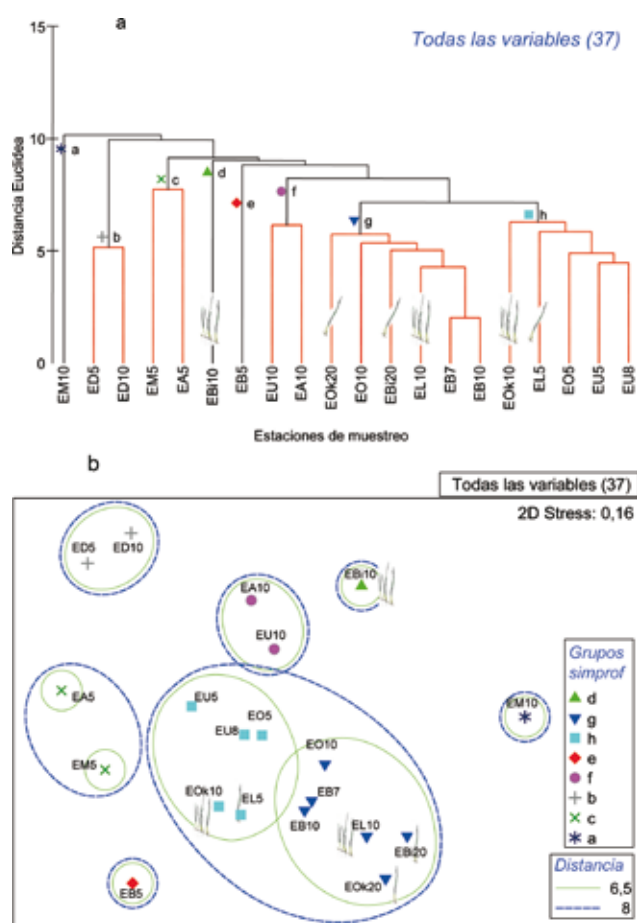


Figura 14. Dendrograma (a) y MultiDimensional Scaling (b) de las 20 estaciones y 37 variables ambientales (véase Anexo I). En el dendrograma se indican con tres haces de hojas las estaciones más cercanas a poblaciones de *Zostera noltii* y con un haz de hojas las estaciones pertenecientes a estuarios con *Z. noltii*; aquellos grupos de estaciones que presentan una similitud significativa según el análisis Simprof se encuentran resaltados en las ramificaciones en rojo. Se representan las letras y símbolos (a, b, c, d, e, f, g, h) correspondientes a los grupos de estaciones obtenidos en el MultiDimensional Scaling.

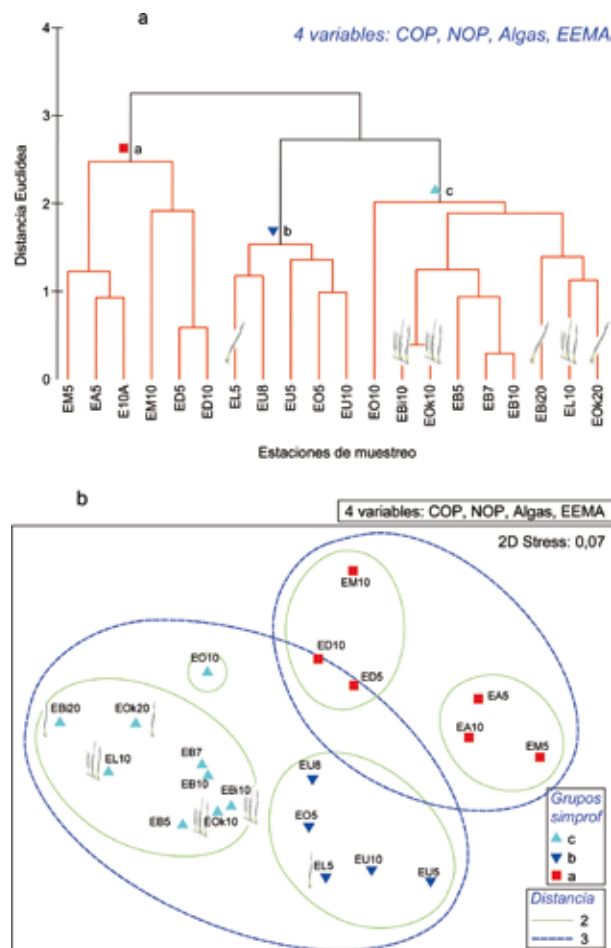


Figura 15. Dendrograma (a) y MultiDimensional Scaling (b) de las 20 estaciones y 4 variables ambientales (véase Anexo I). COP: Carbono Orgánico Particulado; NOP: Nitrógeno Orgánico Particulado; EEMA: Estado Ecológico de la Masa de Agua. En el dendrograma se indican con tres haces de hojas las estaciones más cercanas a poblaciones de *Zostera noltii* y con un haz de hojas las estaciones pertenecientes a estuarios con *Z. noltii*; aquellos grupos de estaciones que presentan una similitud significativa según el análisis Simprof se encuentran resaltados en las ramificaciones en rojo. Se representan las letras y símbolos (a, b, c) correspondientes a los grupos de estaciones obtenidos en el MultiDimensional Scaling.

una zona para albergar poblaciones de *Z. noltii*. Se ha observado que los grupos de variables que inicialmente mejor explican las agrupaciones de estaciones son las que corresponden a las hidrológicas, sedimentológicas (excepto metales) y ecológicas. En este proceso de selección se observa que los metales no influyen de manera relevante en la diferenciación o agrupación de las estaciones. Entre las 37 variables iniciales, cuatro (Carbono Orgánico Particulado, Nitrógeno Orgánico Particulado, Algas y Estado Ecológico de la Masa de Agua) pueden considerarse como las más importantes (al menos en esta situación), ya que dan como resultado una agrupación de estaciones (Figura 15) muy similar a la obtenida con todos los datos. El Estado Biológico y los Elementos Morfológicos también son importantes pero no llegan al nivel de las cuatro anteriores.

En una interpretación general, en las figuras resultantes puede observarse en primer lugar la agrupación correspondiente a las zonas donde en la actualidad existen poblaciones de *Z. noltii*. Entre estas estaciones se intercalan algunas pertenecientes al estuario del Butroe y, a veces, alguna del Oria. En una siguiente agrupación, muy similar a la anterior, se incluyen algunas estaciones cercanas a poblaciones de *Z. noltii* junto a las pertenecientes al Urola y Oria. Estos tres estuarios han resultado ser los que se han considerado aptos en el análisis precedente de las condiciones de las masas de agua. Finalmente, a niveles de similaridad más alejados, se disponen las estaciones pertenecientes a los estuarios del Deba, Artibai y Barbadun (aquellos que han resultado no aptos).

De esta manera, como conclusión general de los análisis y teniendo en cuenta las agrupaciones comentadas anteriormente, se deduce que el estuario que presenta unas condiciones ambientales más similares a las que en la actualidad albergan poblaciones de *Z. noltii* (es decir, Bidasoa, Oka y Lea) es el del Butroe. Seguidamente, los estuarios del Oria y Urola también presentan cierto grado de similaridad. Y, por último, Barbadun, Deba y Artibai son los que presentan unas condiciones ambientales más diferentes.

Selección de la zona más adecuada para el trasplante

Tras estos análisis, llevados a cabo desde distintos enfoques, tres estuarios se presentan como los candidatos más aptos para albergar los trabajos de trasplante: Butroe, Oria y Urola. Por tanto, en esta fase se descartan los estuarios de Artibai, Deba y Barbadun, principalmente por ser las alternativas que ofrecen las condiciones ambientales más adversas.

Llegados a este punto, los criterios que se consideran con un mayor peso a la hora de la selección final son:

- Condiciones del **medio**: agua y sedimento. Importante para garantizar un desarrollo viable de las plantas.
- Existencia de amplia **zona intermareal**: Positiva por ser el medio idóneo para el desarrollo de la especie.
- Tipo de **sedimento**: fango o arena. Importante para la ejecución de las labores de trasplante. Además, debe coincidir con las características de la población donante.
- Cercanía al **núcleo urbano**: Negativa por la presencia humana.

- Cercanía a puntos de **vertido** y regatas: Negativa por la posible contaminación.
- Presencia de **embarcaderos**: Negativa por la presencia humana y otros intereses en cuanto al uso de la zona.
- Zona de **marisqueo**: Negativa por la presencia humana y otros intereses en cuanto al uso y explotación de la zona.
- **Accesibilidad** de la zona: Positiva para un adecuado y seguro transporte del material necesario para las labores de trasplante y el posterior seguimiento de su desarrollo.

De los tres estuarios arriba mencionados se ha seleccionado el del Butroe por ser el que mayores garantías de éxito ofrece: 1) presenta la mayor semejanza a los estuarios de referencia (los que presentan poblaciones de *Z. noltii*) en cuanto a las condiciones ambientales reflejadas en el estado biológico y ecológico; 2) presenta las mejores condiciones ambientales en la actualidad y dispone de amplias zonas intermareales (tanto fangosas como arenosas); 3) presenta buenos accesos a las áreas potencialmente adecuadas para la realización de tareas de trasplante y no hay paseos ni caminos en las cercanías que puedan contribuir a una elevada presencia humana. Los siguientes estuarios considerados aptos para llevar a cabo la recuperación de las praderas de la especie son, el del Oria y del Urola, respectivamente.

Una vez seleccionado el estuario del Butroe como receptor del trasplante, dentro de éste se debe elegir el área de trasplante más adecuada entre las distintas alternativas que ofrece el ecosistema estuárico. Además de la información aportada por las visitas realizadas a este estuario, así como por los muestreos para la RSEEA, es indispensable contar con información referente al planeamiento de la Administración con respecto a esta zona. Con este objetivo, se han analizado los datos hallados en los Planes Territoriales Sectoriales (PTS) de la CAPV: el de Protección y Ordenación del Litoral y el de Zonas Húmedas.

El PTS de Protección y Ordenación del Litoral, dentro de su subprograma 3 de Protección, mejora y conservación de los recursos naturales, tiene como un objetivo prioritario el de la Restauración de estuarios degradados (actuación 3.3). Esta restauración lleva incorporadas diferentes intervenciones a realizarse en cada uno de los estuarios. En el caso del Butroe, las intervenciones están dirigidas a la recuperación de marismas mediante diversas actuaciones (disminución de la pendiente del terreno, apertura o acondicionamiento de lezones o muros) que faciliten la colonización por vegetación de marisma. Estas actuaciones se plantean para todo el estuario, y coinciden con las áreas denominadas B, C1, C2, D, E y F en este trabajo (Figura 11).

En los mapas de información que se aportan en este PTS estas zonas intermareales están señaladas como de **valor muy alto para la conservación**. En el mismo PTS también se añaden mapas de ordenación donde se indica que la zona exterior, que incluye las áreas A y B, es competencia de la Administración de Puertos del Gobierno Vasco.

Por su parte, el PTS de Zonas Húmedas considera a las zonas A, B, C1, C2, E y F (Fangos del tramo exterior, Iturritxu, Isuskiza y Txakurzulu) como **Áreas de mejora de ecosistemas**, y a la zona D (Junkera) como **Área de especial protección**.

Con todo esto se quiere reflejar que, además de resultar un estuario con buenas condiciones ambientales cuya masa de agua presenta un buen estado ecológico, este entorno cuenta con el reconocimiento por parte de la Administración de su valor natural y de la necesidad de su conservación. El hecho de que estas zonas intermareales sean consideradas de especial protección o sean zonas donde se pretende llevar a cabo actuaciones para mejorar el ecosistema, supone, *a priori*, cierto grado de protección sobre las mismas. Esto permite afrontar con mayor optimismo las labores de trasplante y seguimiento.

En cuanto a la presión marisquera, la principal zona de extracción se encuentra en las zonas correspondientes a las áreas A y B. Las zonas C1 y C2 también pueden sufrir una actividad extractiva de pequeña magnitud, pero los mariscadores apenas se adentran más al interior. Por tanto, las áreas D, E y F no se ven afectadas por esta actividad.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto, la zona considerada más adecuada y, por tanto, seleccionada para recibir la primera prueba de trasplante de *Z. noltii* es la correspondiente a la zona D (Junkera).

El siguiente paso sería realizar la actuación propia de trasplante y planificar su seguimiento (mínimo tiempo de duración un año). Así se podrá valorar el grado de acierto de la selección del área receptora mediante esta metodología de análisis.

Conclusiones

De los 9 estuarios del País Vasco que en la actualidad no presentan poblaciones de *Zostera noltii*, el estuario del Butroe es el que mejores condiciones ofrece para recibir y garantizar el desarrollo de un trasplante de *Z. noltii* a corto plazo, ya que ofrece unas condiciones bastante similares a las de los estuarios que contienen poblaciones de esta planta.

Los estuarios del Oria y Urola también podrían ofrecer unas buenas condiciones ambientales en algunas de sus zonas, pero con menores garantías que el del Butroe.

Los estuarios del Barbadun, Deba, Artibai, Nerbioi, Oiartzun y Urumea se descartan como potenciales receptores de trasplantes de *Z. noltii*, al menos a corto plazo, debido a su baja calidad ambiental (en el caso de los tres primeros), y al elevado grado de artificialización (en el caso de los tres últimos) lo cual supone la ausencia de un hábitat adecuado para el desarrollo de esta planta marina.

Dentro del estuario del Butroe, la zona que mejores condiciones ofrece para la recepción de un trasplante de *Z. noltii* a corto plazo es la denominada Junkera (zona D en la Figura 11).

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por la Agencia Vasca del Agua. Queremos agradecer la ayuda prestada por J. Zurutuza y A. Antzizar del Departamento de Geodesia de

Aranzadi, al Parque Ecológico de Plaiaundi por facilitar los muestreos en las marismas de Txingudi, y a Mireia Valle y Guillem Chust por su revisión y enriquecedores comentarios que han mejorado el presente trabajo. Esta es la contribución nº 493 de la Unidad de Investigación Marina de AZTI Tecnalia.

Referencias

- Björk, M., F.T. Short, E. McLeod, S. Beer, 2008. Managing seagrasses for resilience to climate change. IUCN, Gland, Switzerland. 56 pp.
- Borja, Á., J. Franco, V. Valencia, J. Bald, I. Muxika, M.J. Belzunce, O. Solaun, 2004a. Implementation of the European water framework directive from the Basque country (northern Spain): a methodological approach. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 209-218.
- Borja, Á., V. Valencia, J. Franco, I. Muxika, J. Bald, M.J. Belzunce, O. Solaun, 2004b. The water framework directive: water alone, or in association with sediment and biota, in determining quality standards? *Marine Pollution Bulletin*, 49: 8-11.
- Borja, Á., J. Bald, M.J. Belzunce, J. Franco, J.M. Garmendia, J. Larreta, I. Muxika, M. Revilla, G. Rodríguez, O. Solaun, A. Uriarte, V. Valencia, I. Adarraga, F. Aguirrezabalaga, I. Cruz, A. Laza, M.A. Marquiegui, J. Martínez, E. Orive, J.M. Ruiz, S. Seoane, J.C. Sola, J.M. Trigueros, A. Manzanos, 2008. *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 Dirección de Aguas del Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Gobierno Vasco. 21 Tomos, 869 pp.
- Borja, Á., J. Bald, M.J. Belzunce, J. Franco, J.M. Garmendia, J. Larreta, I. Muxika, M. Revilla, G. Rodríguez, O. Solaun, A. Uriarte, V. Valencia, I. Adarraga, F. Aguirrezabalaga, I. Cruz, A. Laza, M.A. Marquiegui, J. Martínez, E. Orive, J.M. Ruiz, S. Seoane, J.C. Sola, J.M. Trigueros, A. Manzanos, 2009. *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 Agencia Vasca del Agua, Gobierno Vasco. 20 Tomos, 624 pp. <http://www.uragentzia.euskadi.net/u81-0002/es>
- Borthagaray, A.I., A. Carranza, 2007. Mussels as ecosystem engineers: Their contribution to species richness in a rocky littoral community. *Acta Oecologica*, 31: 243-250.
- Borum, J., T.M. Greve, 2004. The four European seagrass species. En: Borum, J., C.M. Duarte, D. Krause-Jensen y T.M. Greve (Eds.), *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. Monitoring and Managing of European seagrasses (M&MS) EU project. 1: 1-7. www.seagrasses.org
- Borum, J., C.M. Duarte, D. Krause-Jensen, T.M. Greve (Eds.), 2004. *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. Monitoring and Managing of European seagrasses (M&MS) EU project. 88 pp. www.seagrasses.org
- Bos, A.R., N. Dankers, A.H. Groeneweg, D.C.R. Hermus, Z. Jager, D.J. de Jong, T. Smit, J. de Vlas, M. van Wieringen, M.M. van Katwijk, 2005. Eelgrass (*Zostera marina* L.) in the western Wadden Sea: monitoring, habitat suitability model, transplantations and communication. En: Herrier, J.L., J. Mees, A. Salman, J. Syes, H. van Nieuwenhuyse y I. Dobbelaere (Eds.). *Proceedings "Dunes and Estuaries 2005"* - *International Conference on Nature Restoration Practices in European Coastal Habitats*, VLIZ Special Publication, 19: 95-109.
- Bos, A.R., T.J. Bouma, G.L.J. de Kort, M.M. van Katwijk, 2007. Ecosystem engineering by annual intertidal seagrass beds: Sediment accretion and modification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74: 344-348.
- Bubani, P., 1897-1901. *Flora pyrenaea per Ordines Naturales gradatim digesta*. 4 vol. Ed. Ulricus Hoeplius. Mediolani.
- Campbell, M.L., E.I. Paling, 2003. Evaluating vegetative transplant success in *Posidonia australis*: a field trial with habitat enhancement. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 828-834.
- Christensen, P.B., E. Diaz, O. Diekmann, 2004. Can transplanting accelerate

- the recovery of seagrasses? En: Borum, J., C.M. Duarte, D. Krause-Jensen y T.M. Greve (Eds.), *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. Monitoring and Managing of European seagrasses (M&MS) EU project. 13: 77-82. www.seagrasses.org
- Clarke, K.R., R.M. Warwick, 2001. *Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation*, second ed. PRIMER-E, Plymouth.
- Davis, R.C., F.T. Short, 1997. Restoring eelgrass, *Zostera marina* L., habitat using a new transplanting technique: the horizontal rhizome method. *Aquatic Botany*, 59: 1-15.
- de Jonge, V.N., D.J. de Jong, M.M. van Katwijk, 2000. Policy plans and management measures to restore eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Dutch Wadden Sea. *Helgoland Marine Research*, 54: 151-158.
- Fishman, J.R., R.J. Orth, S. Marion, J. Bieri, 2004. A comparative test of mechanized and manual transplanting of eelgrass, *Zostera marina*, in Chesapeake Bay. *Restoration Ecology*, 12(2): 214-219.
- Fonseca, M.S., W.J. Kenworthy, G.W. Thayer, 1998. *Guidelines for the Conservation and Restoration of Seagrasses in the United States and Adjacent Waters*. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 12. U.S. NOAA Coastal Ocean Office, Silver Spring, MD. 222 pp.
- Fonseca, M.S., W.J. Kenworthy, B.E. Julius, S. Shutler, S. Fluke, 2002. Seagrasses. En: Perrow, M.R. y A.J. Davy (Eds.), *Handbook of Ecological Restoration*. University Press, Cambridge, 13: 149-170.
- Franco, J., Á. Borja, V. Valencia, 2004. Overall Assessment - human impacts and quality status. En: Borja, Á. y M. Collins (Eds.), *Oceanography and Marine Environment of the Basque Country*, Elsevier Oceanography Series, 70, 616 pp. Elsevier B.V., Amsterdam. Cap. 23: 581-597.
- García-Castrillo, G., B. Ondiviela, I. Preciado, L. Fernández, 2002. *Estudio de las comunidades de Zostera de la Bahía de Santander aplicado al desarrollo de técnicas para la restauración ambiental de hábitats litorales*. Documento Técnico para la Fundación Marcelino Botín, Asociación Científica de Estudios Marinos, Santander, 111 pp.
- Garmendia, J.M., Á. Borja, J. Franco, 2008. *Trabajos de restauración de Zostera noltii en la costa vasca*. Informe elaborado por AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua, Gobierno Vasco. 94 pp.
- Gredilla, A.F., 1913. Corografía botánica. En: Carrera y F. Candi, *Geografía general del País Vasco-Navarro* Vol. País Vasco-Navarro: 459-567. A. Martín. Barcelona.
- Hawkins, S.J., J.R. Allen, S. Bray, 1999. Restoration of temperate marine and coastal ecosystems: nudging nature. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems*, 9: 23-46.
- Lee, K.-S., J.I. Park, 2008. An effective transplanting technique using shells for restoration of *Zostera marina* habitats. *Marine Pollution Bulletin*, 56: 1015-1021.
- Martins, I., J.M. Neto, M.G. Fontes, J.C. Marques, M.A. Pardal, 2005. Seasonal variation in short-term survival of *Zostera noltii* transplants in a declining meadow in Portugal. *Aquatic Botany*, 82: 132-142.
- Moore, K.A., R.L. Wetzel, R.J. Orth, 1997. Seasonal pulses of turbidity and their relations to eelgrass (*Zostera marina* L.) survival in an estuary. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 215: 115-134.
- Orth, R.J., J. Bieri, J.R. Fishman, M.C. Harwell, S.R. Marion, K.A. Moore, J.F. Nowak, J. van Montfrans, 2006. A review of techniques using adult plants and seeds to transplant eelgrass (*Zostera marina* L.) in Chesapeake Bay and the Virginia Coastal Bays. pp. 1-17. En: Treat, S.F. y R.R. Lewis. (Eds.). *Proc. Conf. Seagrass Restoration: Success, Failure, and the Costs of Both*. March 11, 2003. Sarasota, Florida. 175pp
- Paling, E.I., M. van Keulen, K. Wheeler, J. Phillips, R. Dyhrberg, 2001a. Mechanical seagrass transplantation in Western Australia. *Ecological Engineering*, 16: 331-339.
- Paling, E.I., M. van Keulen, K. Wheeler, J. Phillips, R. Dyhrberg, D.A. Lord, 2001b. Improving mechanical seagrass transplantation. *Ecological Engineering*, 18: 107-113.
- Paling, E.I., M. Fonseca, M.M. van Katwijk, M.M. van Keulen, 2009. Seagrass restoration. En: G.M.E. Perillo, E. Wolanski, D.R. Cahoon y M.M. Brinson (Eds.), *Coastal Wetlands: An integrated ecosystem approach*. Elsevier, Chapter 24: 687-713.
- Park, J.I., K.-S. Lee, 2007. Site-specific success of three transplanting methods and the effect of planting time on the establishment of *Zostera marina* transplants. *Marine Pollution Bulletin*, 54: 1238-1248.
- Rodríguez-Salinas, P., R. Riosmena-Rodríguez, G. Hinojosa-Arango, R. Muñiz-Salazar, 2010. Restoration experiment of *Zostera marina* L. in a subtropical coastal lagoon. *Ecological Engineering*, 36: 12-18.
- Romero, J., B. Martínez-Crego, T. Alcoverro, M. Pérez, 2007. A multivariate index based on the seagrass *Posidonia oceanica* (POMI) to assess ecological status of coastal waters under the water framework directive (WFD). *Marine Pollution Bulletin*, 55: 196-204.
- Sánchez, J.L., Y. Fernández, J.M. González, 2003. *Efectividad de los trasplantes de Posidonia oceanica efectuados en el entorno del puerto deportivo Luis Campomanes (Altea)*. Informe Técnico para WWF-Adena, Dpto. Ciencias del Mar y Biología Aplicada, Universidad de Alicante, 17 pp.
- Schanz, A., H. Asmus, 2003. Impact of hydrodynamics on development and morphology of intertidal seagrasses in the Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 261: 123-134.
- Short, F., R.G. Coles (Eds.), 2001. *Global seagrass research methods*. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 473 pp.
- Short, F.T., R.C. Davis, B.S. Kopp, C.A. Short, D.M. Burdick, 2002. Site-selection model for optimal transplantation of eelgrass *Zostera marina* in the northeastern US. *Marine Ecology Progress Series*, 227: 253-267.
- Silván, F., J.A. Campos, 2002. *Estudio de la flora vascular amenazada de los estuarios de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Dpto. de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Gobierno Vasco, 100 pp.
- Tamaki, H., M. Tokunaka, W. Nishijima, T. Terawaki, M. Okada, 2002. Deterioration of eelgrass, *Zostera marina* L., meadows by water pollution in Seto Inland Sea, Japan. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 1253-1258.
- Terrados, J., J. Borum, 2004. Why are seagrasses important? Goods and services provided by seagrass meadows. En: Borum, J., C.M. Duarte, D. Krause-Jensen y T.M. Greve (Eds.), *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. Monitoring and Managing of European seagrasses (M&MS) EU project. 2: 8-10. www.seagrasses.org
- Thom, R.M., 1990. A review of eelgrass (*Zostera marina* L.) transplanting projects in the Pacific Northwest. *The Northwest Environmental Journal*, 6: 121-137.
- Thom, R.M., A.B. Borde, G.D. Williams, J.A. Southard, S.L. Blanto, D.L. Woodruff, 2001. Effects of multiple stressors on eelgrass restoration projects. En: Droscher, T. (Ed.), *Proceedings of Puget Sound Research 2001, the fifth Puget Sound Research Conference*, vol. 1, Puget Sound Water Quality Action Team, Olympia, WA.
- Uribe-Echebarria, P.M., J.A. Campos, I. Zorrakin, A. Domínguez, 2006. *Flora vascular amenazada en la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Dpto. de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Gobierno Vasco, 389 pp.
- Valle, M., Á. Borja, I. Galparsoro, J.M. Garmendia, G. Chust, 2010. Estudio del hábitat idóneo para *Zostera noltii* y su modificación bajo un escenario de cambio climático en el estuario del Oka. *Revista de Investigación Marina*, 17(1): 1-12.
- van der Heide, T., E.T.H.M. Peeters, D.C.R. Hermus, M.M. van Katwijk, J.G.M. Roelofs, A.J.P. Smolders, 2009. Predicting habitat suitability in temperate seagrass ecosystems. *Limnology and Oceanography*, 54(6): 2018-2024.
- van Katwijk, M.M., G.H.W. Godefroid, L.S.A.M. Hanssen, C. den Hartog, 1998. Suitability of *Zostera marina* populations for transplantation to the Wadden Sea as determined by a mesocosm shading experiment. *Aquatic Botany*, 60: 283-305.
- van Katwijk, M.M., D.C.R. Hermus, 2000. Effects of water dynamics on *Zostera marina*: transplantation experiments in the intertidal Dutch Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 208: 107-118.

- van Katwijk, M.M., D.C.R. Hermus, D.J. de Jong, R.M. Asmus, 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., 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.
- van Katwijk, M.M., A.R. Bos, V.N. de Jonge, L.S.A.M. Hanssen, D.C.R. Hermus, D.J. de Jong, 2009. Guidelines for seagrass restoration: Importance of habitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 179-188.
- Waycott, M., B.J. Longstaff, J. Mellors, 2005. Seagrass population dynamics and water quality in the Great Barrier Reef region: A review and future research directions. *Marine Pollution Bulletin*, 51: 343-350.
- West, R.J., N.E. Jacobs, D.E. Roberts, 1990. Experimental transplanting of seagrasses in Botany Bay, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 21(4): 197-203.

ANEXO I. Variables ambientales y ecológicas de 9 estuarios de la CAPV

Parámetros (y sus valores) tenidos en cuenta a la hora de evaluar la calidad de los estuarios de la CAPV con el fin de caracterizar el medio para interpretar su potencialidad de poder albergar una población de *Zostera noltii*. Esta tabla ha sido elaborada con datos de la campaña de 2007 de la *Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco* (Borja *et al.*, 2008).

37 variables para 20 muestras de 9 estuarios.

Leyendas:

Estaciones de muestreo: **EBI** Estuario del Bidasoa, **EL** Estuario del Lea, **EOK** Estuario del Oka, **EB** Estuario del Butroe, **EO** Estuario del Oria, **EU** Estuario del Urola, **ED** Estuario del Deba, **EM** Estuario del Barbadun, **EA** Estuario del Artibai.

Agua/Nutrientes: Valores medios de variables relacionadas con el estado trófico. Medidas en agua de superficie. **Ox** Oxígeno (% saturación), **pH**, **Silicato** ($\mu\text{mol.dm}^{-3}$), **Amonio** ($\mu\text{mol.dm}^{-3}$), **Nitrito** ($\mu\text{mol.dm}^{-3}$), **Nitrato** ($\mu\text{mol.dm}^{-3}$), **NT** Nitrógeno Total ($\mu\text{mol.dm}^{-3}$), **Fosfato** ($\mu\text{mol.dm}^{-3}$), **PT** Fósforo Total ($\mu\text{mol.dm}^{-3}$), **COT** Carbono Orgánico Total ($\mu\text{mol.dm}^{-3}$).

Sedimento/Metales: Parámetros sedimentológicos de los muestreos de invierno. Los metales pesados corresponden a la concentración en la fracción fina del sedimento (pelitas). **COP** Carbono Orgánico Particulado (mol.kg^{-1}), **NOP** Nitrógeno Orgánico Particulado (mol.kg^{-1}), **C/N Ratio** Carbono/Nitrógeno, **Cd** Cadmio (mg.kg^{-1}), **Cr** Cromo (mg.kg^{-1}), **Cu** Cobre (mg.kg^{-1}), **Fe** Hierro (mg.kg^{-1}), **Hg** Mercurio (mg.kg^{-1}), **Mn** Manganeseo (mg.kg^{-1}), **Ni** Niquel (mg.kg^{-1}), **Pb** Plomo (mg.kg^{-1}), **Zn** Zinc (mg.kg^{-1}).

Granulometría: Parámetros sedimentológicos de los muestreos de invierno. **GRA** Grava (%), **ARE** Arena (%), **PEL** Pelitas (%), **mo** Materia orgánica (%), **Eh** Potencial redox (mV).

Información Ecológica: Elementos Biológicos: **Fito** Fitoplancton, **Algas**, **Bentos**, **Peces**; **EB** Estado Biológico, **FQ** Estado Físico-Químico, **Química** Estado Químico, **Hidromorf** Condiciones Hidromorfológicas, **EE** Estado Ecológico, **EEMA** Estado Ecológico de la Masa de Agua. En el caso de Química: NC No cumple, SC Sí cumple. En el resto: M Malo, D Deficiente, A Aceptable, B Bueno, MB Muy Bueno.

		EBi10	EBi20	EL5	EL10	EOk10	EOk20	EB5	EB7	EB10
Aguas	Ox	77,66	89,08	81,58	82,93	80,03	98,95	82,72	87,4	84,97
Nutrientes	pH	7,89	8,17	7,37	7,25	8,3	8,18	7,73	8	8,01
	Silicato	62,78	27,63	47,65	38,74	47,61	13,88	96,68	20,01	28,62
	Amonio	20,88	7,36	9,97	8,21	31,36	29,72	29,8	15,43	11,71
	Nitrito	1,5	0,4	0,65	0,84	1,82	0,41	4,53	1,48	1,47
	Nitrato	38,55	121,59	20,24	15,27	15,55	6,17	54,36	15,17	17,19
	NT	104,25	38	55	43,13	85,75	75,63	169,38	59,38	55,5
	Fosfato	1,36	0,6	0,49	0,42	0,89	1,9	3,5	0,93	0,81
	PT	3,16	1,54	1,55	1,3	2,43	3,66	6,84	2,07	1,93
	COT	134,18	69,22	138,73	120,22	181,75	101,23	189,25	115,76	104,22
Sedimento	COP	23,19	14,52	26,94	16,62	21,63	20,77	20,54	19,95	19,48
Metales	NOP	1,2	0,11	1,89	0,22	1,32	0,07	1,18	0,84	1,04
	C/N	19,3	134,9	14,2	74,8	16,4	301,7	17,4	23,73	18,78
	Cd	0,53	0,02	0,1	0,05	0,18	0,02	0,15	0,12	0,1
	Cr	52	17,3	21,9	7,4	34,8	6,7	26,5	21,6	22
	Cu	135,1	25,8	29,7	14,2	29,3	5,2	20,2	14,4	15,7
	Fe	32453	17958	21924	27028	30160	33806	18599	20469	15987
	Hg	0,38	0,04	0,17	0,27	0,05	0,03	0,06	0,03	0,01
	Mn	474,4	262,1	186	260	226,8	156,5	278,9	281,3	284,4
	Ni	40,1	22,2	26,4	21,3	34	21,9	24,7	20,7	25,7
	Pb	785,6	50	31,8	43,9	43,1	35,3	29,8	27,9	27,5
	Zn	713,5	75,9	73,4	50,7	98,8	52,3	97,2	77	83,1
Granulometría	GRA	6,2	0	3,54	0	0,06	0,2	0,06	0,66	1
	ARE	93	99,9	33,4	99,6	26,21	99,8	17,47	71,54	66,3
	PEL	0,7	0,1	63,42	0,4	73,74	0	82,47	27,8	32,7
	mo	1,11	0,71	11,24	1,11	7,2	0,77	5,18	1,62	2,9
	Eh	114	134	223	339	-95	104	-46	-53	-79
Información	Fito	B	B	B	B	B	B	MB	B	B
Ecologica	Algas	B	MB	D	B	B	B	B	A	A
	Bentos	MB	B	MB	B	A	MB	MB	B	B
	Peces	A	B	A	B	B	B	B	B	B
	EB	B	B	A	B	A	B	B	B	B
	FQ	MB	MB	MB	MB	B	MB	A	MB	B
	Química	NC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
	Morfología	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	EE	A	B	A	B	A	B	A	B	B
	EEMA	B	B	B	B	B	B	B	B	B

		EO5	EO10	EU5	EU8	EU10	ED5	ED10	EM5	EM10	EA5	EA10
Aguas Nutrientes	Ox	78,15	81,14	91,13	83,59	81,85	79,48	74,53	93,85	89,46	68,25	66,25
	pH	8,09	8,16	7,96	7,98	7,97	7,22	7,18	8,29	7,91	7,15	7,15
	Silicato	15,36	34,4	70,67	60,3	59,24	92,06	76,47	73,98	39,83	79,56	36,3
	Amonio	14,54	11,83	4,89	8,44	9,96	22,31	21,87	6,56	11,21	26,06	11,69
	Nitrito	2,18	1,39	1,46	1,37	1,43	5,48	6,08	1,36	1,03	2,33	0,99
	Nitrato	37,71	18,31	84,09	69,49	67,19	86,53	92,19	58,35	44,18	29,66	18,69
	NT	95,75	65,88	147,5	130,63	131	200,13	203,13	116,88	95,13	104,13	59,5
	Fosfato	1,22	0,86	1,39	1,42	1,42	3,35	2,88	1,21	0,92	1,32	0,83
	PT	2,84	2,16	3,5	3,4	3,43	7,01	6,31	3,2	2,39	3,29	2,18
	COT	156,11	146,41	172,95	151,81	162,42	195,67	241,15	231,54	156,64	227,69	169,8
Sedimento Metales	COP	30,41	18,22	36,48	27,06	34,26	23,59	20,26	37,9	27,27	31,46	32,79
	NOP	1,33	0,24	2,18	1,19	1,9	1,24	1,01	2,22	0,07	1,7	1,92
	C/N	22,8	75,4	16,7	22,7	18	19	20	17,1	389,3	18,5	17,1
	Cd	0,21	0,07	0,32	0,26	0,45	0,39	0,26	0,23	0,12	0,12	0,36
	Cr	49	47,3	65,2	47,4	33,9	90,4	121,9	15,1	6,2	35,1	39,3
	Cu	61,7	39,4	58,9	97,9	97,5	102,4	104,8	41,1	62,4	53,8	131,9
	Fe	29530	32021	41650	35757	36528	37692	67585	41849	182986	24940	42183
	Hg	0,21	0,17	0,08	0,02	2,49	0,21	0,12	0,06	0,02	0,07	2,66
	Mn	224,1	365,4	540,9	308,8	222,3	429,2	564	972,7	2952,2	366,7	264,9
	Ni	39,4	41,5	53,2	41,8	38,6	68,7	81,2	31,6	46,1	30,2	35,7
	Pb	64,1	48,5	128,4	79,7	152,6	82,9	80,9	51,9	101,4	40,6	167,4
	Zn	229,4	156	382,6	262,7	527,8	562,1	439,1	166,2	238,4	134,3	332,6
Granulometría	GRA	18,9	1,2	17,34	0,84	25,7	0,02	9,17	1,05	0	32,15	44,54
	ARE	29,62	97,9	31,07	52,92	72,2	71,52	70,51	41,88	100	40,57	32,03
	PEL	51,48	0,9	51,6	46,24	2,2	28,45	20,32	57,08	0	27,28	23,43
	mo	5,61	2,63	7,25	6,21	1,72	3,94	2,4	11,47	2,13	7,27	4,03
	Eh	-126	206	-108	-147	-217	-75	-76	-80	339	-59	-51
Información Ecologica	Fito	MB	MB	A	MB	MB	D	MB	D	MB	M	B
	Algas	A	D	D	D	A	D	D	M	M	M	D
	Bentos	MB	A	B	MB	B	B	B	B	B	D	B
	Peces	A	B	A	B	B	A	B	B	B	A	B
	EB	B	A	A	A	B	A	A	D	3	D	A
	FQ	MB	MB	MB	MB	B	MB	B	MB	MB	MB	MB
	Química	SC	SC	SC	SC	SC	NC	NC	NC	SC	SC	SC
	Hidromorf	B	A	B	B	B	D	B	MB	MB	A	A
	EE	B	A	A	A	B	A	A	D	A	D	A
	EEMA	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A