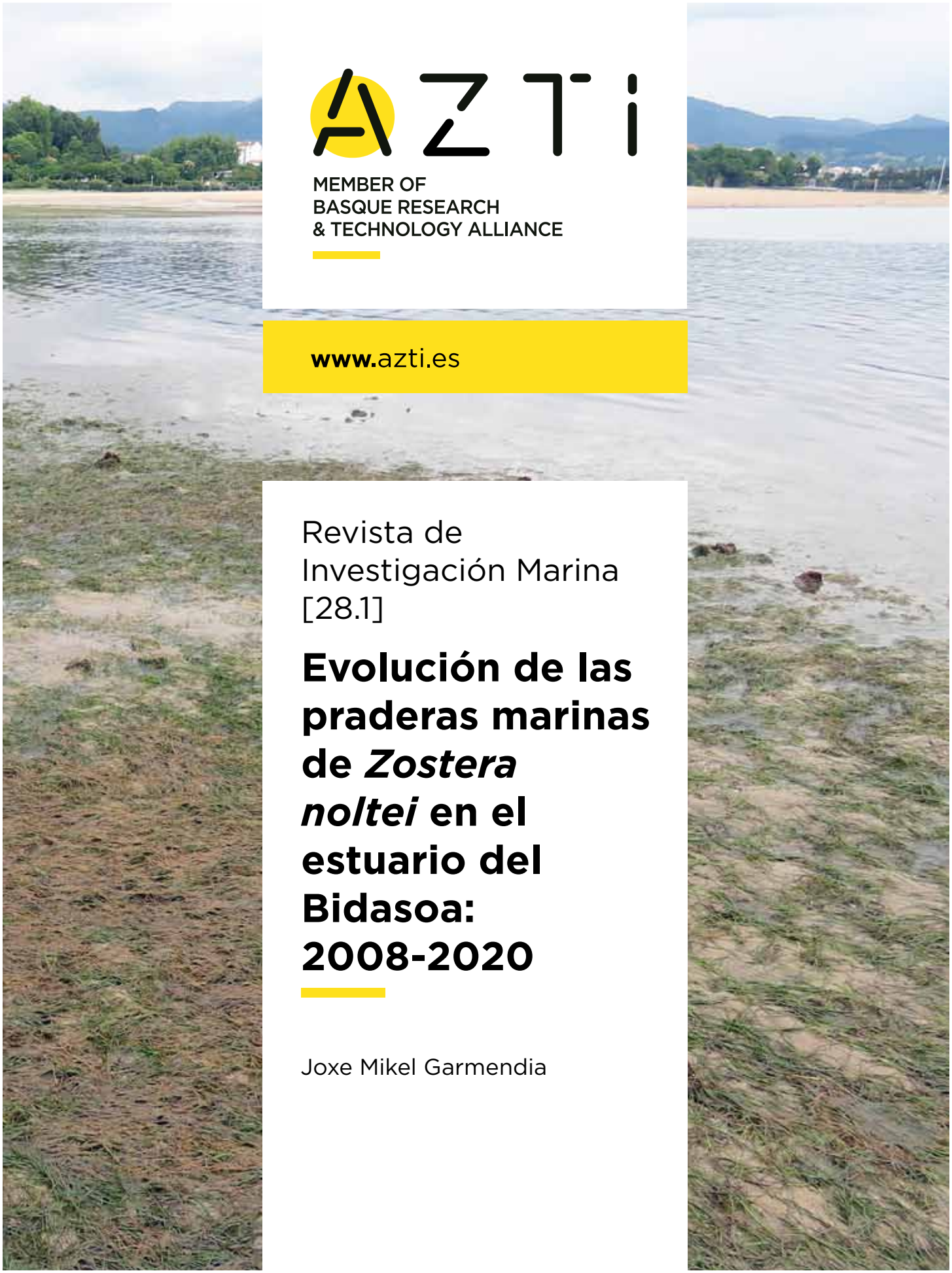


AZTI

MEMBER OF
BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE

www.azti.es

Revista de
Investigación Marina
[28.1]

Evolución de las praderas marinas de *Zostera noltei* en el estuario del Bidasoa: 2008-2020

Joxe Mikel Garmendia

Joxe Mikel Garmendia. Evolución de las praderas marinas de *Zostera noltei* en el estuario del Bidasoa: 2008-2020. Revista de Investigación Marina, AZTI, 28(1): 1-15

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

Editor: Javier Franco

Adjuntos al Editor: Edorta Aranguena e Irantzu Zubiaur

Comité Editorial: Haritz Arrizabalaga
Oihane C. Basurko
Ángel Borja
Guillem Chust
Almudena Fontán
Ibon Galparsoro
Arantza Murillas

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

Edición: 1.ª Junio 2022
© AZTI
ISSN: 1988-818X
Unidad de Investigación Marina
Internet: www.azti.es
Edita: Unidad de Investigación Marina de AZTI
Herrera Kaia, Portualdea z/g
20110 Pasaia
Foto portada: AZTI. Praderas de *Zostera noltei* en Hendaia (estuario de Bidasoa). © AZTI

© AZTI 2022. **Distribución gratuita en formato PDF a través de la web: www.azti.es/RIM**

Evolución de las praderas marinas de *Zostera noltei* en el estuario del Bidasoa: 2008-2020

Joxe Mikel Garmendia[1]

Resumen

El estuario del Bidasoa es uno de los estuarios vascos donde se encuentran praderas marinas, que desempeñan una serie de funciones ecológicas muy importantes para el ecosistema marino. Estas praderas marinas intermareales están formadas por la especie *Zostera noltei*, incluida en el Catálogo de Especies Amenazadas del País Vasco como especie en peligro de extinción. Su escasez y vulnerabilidad le aportan una mayor relevancia para su estudio y conservación. Además, esta especie presenta una elevada actividad en su desarrollo y crecimiento, lo cual se refleja en una gran variabilidad interanual en su presencia y frecuencia de aparición. Este hecho aumenta la importancia de analizar su evolución temporal. Desde 2008, se han realizado una serie de cartografías en este estuario mostrando variaciones importantes en la extensión de las praderas y demostrando el elevado dinamismo en el desarrollo de esta especie. En 2008, las praderas marinas ocupaban una extensión total de 1,84 ha, 1,21 ha en el año 2016 y 6,23 ha en 2020. En este trabajo se presentan la distribución y superficie de ocupación de las praderas marinas del estuario del Bidasoa entre los años 2008 y 2020.

Laburpena

Bidasoako estuarioa itsas belardiak dauden euskal estuarioetako bat da, eta itsas ekosistemarentzat oso garrantzitsuak diren hainbat funtzio ekologiko betetzen dituzte. Marearteko itsas belardi horiek *Zostera noltei* espezieak osatzen ditu, eta Euskal Autonomia Erkidegoko Espezie Mehatxatuen Katalogoan desagertzeko arriskuan dagoen espezie gisa jasota dago. Espezie honek erakusten duen eskasiak eta kalteberatasunak garrantzi handiagoa ematen diote aztertu eta kontserbatzeko. Espezie honek aktibitate altua erakusten du bere garapen eta hazkuntzan, urte arteko aldakortasun haundia jasaten duelarik. Honek bere denborazko bilakaera aztertzearen garrantzia areagotzen du. 2008az geroztik, AZTIk hainbat kartografia egin ditu estuario honetan, belardien hedaduran eta garapenean aldaketa garrantzitsuak erakutsiz. 2008an, itsas belardiek 1,84 ha-ko azalera hartzen zuten guztira Bidasoako estuarioan, 1,21 ha 2016an eta 6,23 ha 2020an. Lan honetan, 2008 eta 2020 urteen artean Bidasoako estuarioko itsas belardien banaketa eta okupazio-azalerak aurkezten dira.

Abstract

Among other Basque estuaries seagrass meadows are found in Bidasoa estuary, where play a series of ecological functions which are very important for the marine ecosystem. These intertidal seagrass meadows are formed by the species *Zostera noltei*, included in the Catalogue of Threatened Species of the Basque Country as an endangered species. Its scarcity and vulnerability give it greater relevance for its study and conservation. Furthermore, this species shows a high development and growth activity, which is reflected in a high interannual variability. This fact enhances the relevance of the temporal evolution analysis. Since 2008, a series of cartographies in this estuary showed important variations in the extension of the meadows demonstrating a high dynamism in the development of this species. In 2008 seagrass meadows occupied a total area of 1.84 ha in the Bidasoa estuary, 1.21 ha in 2016 and 6.23 ha in 2020. This paper presents the distribution and occupation areas of seagrasses in the Bidasoa estuary between 2008 and 2020.

Palabras clave: *Zostera noltei*, Praderas marinas, Intermareal, Cartografía, Evolución, Bidasoa, País Vasco

Keywords: *Zostera noltei*, Seagrasses, Intertidal, Distribution, Evolution. Bidasoa, Basque Country

[1] *AZTI, Marine Research, Basque Research and Technology Alliance (BRTA); Herrera Kaia. Portualdea z/g; 20110 Pasaia (Gipuzkoa) Spain*

Introducción

La importancia de las praderas marinas es reconocida debido a los servicios ecosistémicos que ofrecen y a las funciones ecológicas que desempeñan (Costanza *et al*., 1997; Erftemeijer y Robin Lewis III, 2006; Schmidt *et al*., 2011; Nordlund *et al*., 2016; Unsworth *et al*., 2019; James *et al.*, 2021; Sanchez-Vidal *et al*., 2021). Durante las últimas décadas, se ha constatado una relevante reducción en la extensión de estas praderas a escala mundial (Short y Burdick, 1996; Duarte *et al.*, 2002; Green y Short, 2003; Orth *et al.*, 2006; Short *et al*., 2006, 2011; Hughes *et al*., 2009; Waycott *et al*., 2009; Cunha *et al*., 2014; Unsworth *et al.*, 2019; Dunic *et al*., 2021). No obstante, algunos estudios recientes ofrecen datos más optimistas, exponiendo también la existencia de zonas donde las praderas marinas aumentan su presencia y extensión (Barillé *et al*., 2010; Dolch *et al.*, 2013; Calleja *et al*., 2017; de los Santos *et al*., 2019; Sousa *et al.*, 2019; Orth *et al.*, 2020; Dunic *et al.*, 2021; Zoffoli *et al*., 2021).

Las especies que forman las praderas precisan protección por su vulnerabilidad y escasez (Aguilar *et al*., 2006; Neckles *et al.*, 2012; Cunha *et al.*, 2014; de los Santos *et al*., 2019; Unsworth *et al*., 2019; Turschwell *et al*., 2021). En el caso del País Vasco, las praderas marinas están formadas exclusivamente por poblaciones intermareales de la especie *Zostera noltei*, actualmente dentro del Catálogo Vasco de Especies Amenazadas de la Fauna y Flora Silvestre y Marina (BOPV nº 37, del 23 de febrero de 2011), incluido en el primer grupo: Especies, subespecies y poblaciones en peligro de extinción.

Por tanto, el carácter protegido de esta especie, junto con los relevantes servicios ecosistémicos que ofrece, justifica el interés por el conocimiento de su estado, así como la necesidad de su protección y conservación.

La realización de una cartografía exhaustiva es el mejor modo de conocer el estado de una especie en una zona delimitada y en un momento dado (Phinn *et al.*, 2008). En el caso del Bidasoa, se dispone de información previa sobre la extensión de las praderas marinas en la parte francesa en 1976 (Bachelet & Labourg, 1983; en Sanchez *et al.*, 2021) cuando se estimó una superficie ocupada de 8,7 ha. También se dispone de la distribución de estas praderas, también en la parte francesa, a partir de 2007 (Lissardy *et al.*, 2007), cuando se estimó una superficie ocupada de 1,27 ha.

Z. noltei es una especie muy dinámica, con gran capacidad de crecimiento y que presenta una elevada variabilidad interanual en su presencia y crecimiento (Peralta, 2000). Esto, unido a la problemática de la pérdida de biodiversidad en la costa vasca o las amenazas del cambio climático (p.e. Valle *et al*., 2014), aumenta el interés de realizar una cartografía y también un seguimiento temporal de las praderas marinas existentes.

En el año 2008, AZTI inició una serie de muestreos para la toma de datos sobre los lugares con presencia de *Z. noltei* en los estuarios vascos (Garmendia *et al*., 2008, 2010), donde está incluido el estuario del Bidasoa. A partir de ahí AZTI ha ido realizando cartografías de las praderas marinas en el estuario del Bidasoa, en distintos años, con distinto intervalo de tiempo, pero siempre en verano por considerarse la época más adecuada para esta tarea debido a que es la de mayor crecimiento y densidad de las hojas de *Z. noltei* (Vermaat *et al*., 1987; Philippart, 1995).

En el presente trabajo se expone la evolución temporal de la distribución de las praderas marinas de *Z. noltei* en distintas zonas del estuario del Bidasoa a lo largo de un periodo de 12 años (desde 2008 hasta 2020). Se comparan mapas de distribución de *Z. noltei* dibujadas con software GIS correspondientes a la situación de 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 con cartografías previas obtenidas en 2008 y 2012 (Garmendia *et al*., 2013). Estos mapas se han generado tras el registro del perímetro de las praderas marinas con la ayuda de un receptor GPS directamente en la zona intermareal durante periodos de bajamar viva.

Material y métodos

La zona de estudio corresponde a la desembocadura del estuario del Bidasoa (43°21'50'' N, 1°46'50'' W), zona delimitada por los municipios de Hondarribia, Irún y Hendaia, y que forma la frontera natural entre los estados europeos de Francia y España (Figura 1). En esta zona, durante las bajamares diarias, se descubre una extensa plataforma intermareal formada por sedimento arenoso y fangoso, donde se encuentra y se desarrollan varias praderas marinas formadas por la especie *Z. noltei*.

El análisis de la evolución consistió en la recopilación de información sobre la distribución de la especie para los años 2008 y 2012 a partir del trabajo de Garmendia *et al*. (2013) y en la toma anual de datos de campo recogiendo puntos de posición a lo largo del perímetro de las manchas de *Z. noltei* con un GPS Garmin desde 2016 hasta 2020. El receptor de posicionamiento utilizado por Garmendia *et al*. (2013) en 2008 y 2012 fue un Trimble R6, receptor GPS diferencial que da la exactitud y la fiabilidad necesarias para hacer levantamientos de precisión con un rastreo superior y rendimiento de RTK (Levantamiento Cinemático a Tiempo Real), siendo el error máximo de posición horizontal de 1,5 cm. Sin embargo, para la adquisición de los datos de posición en los años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 se utilizó un receptor GARMIN (GPS 72H y GPSmap 76), con una precisión horizontal que rondó los 3 m. En todos estos años, las tomas de datos se realizaron durante los meses de julio y agosto (Tabla 1). En los años 2017 y 2019 solamente se visitaron las zonas A y B (aeropuerto y Plaiaundi). Tras acceder a las zonas con presencia de *Z. noltei* en fechas y horas de bajamar viva, se tomaron las coordenadas geográficas a lo largo del perímetro de las manchas de las praderas marinas.

Tabla 1. Fechas de muestreo del cartografiado de las poblaciones de *Zostera noltei* en el estuario del Bidasoa.

Año	Fecha	Tipo GPS
2008	21 julio – 21 agosto	Trimble
2012	2 – 3 agosto	Trimble
2016	23 julio – 21 agosto	Garmin
2017	13 – 26 agosto	Garmin
2018	5 – 12 agosto	Garmin
2019	4 – 17 agosto	Garmin
2020	2 - 24 agosto	Garmin

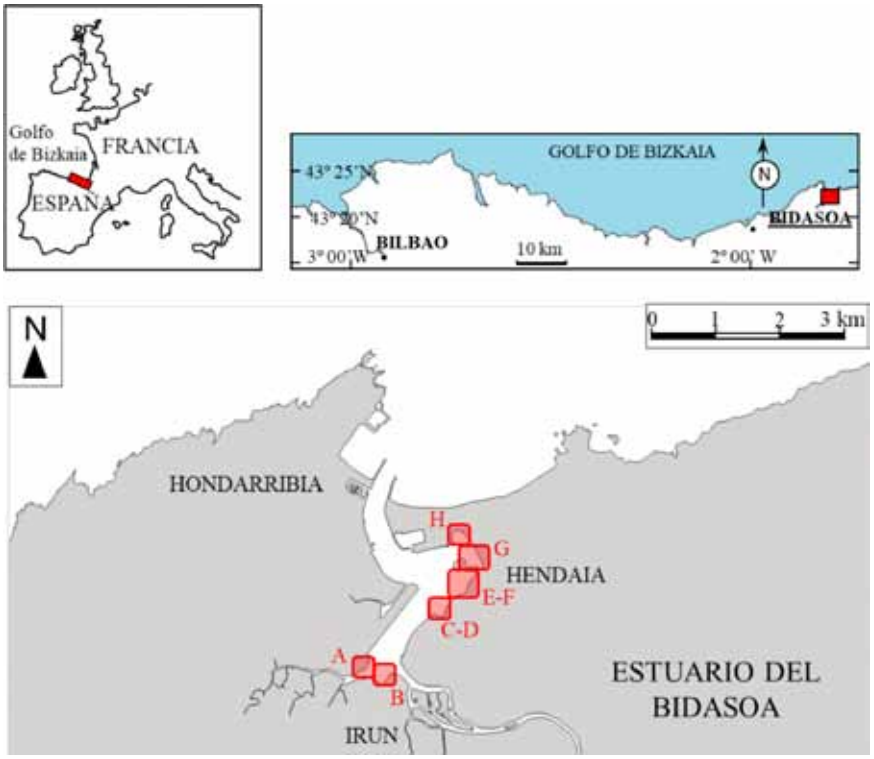


Figura 1. Localización del estuario del Bidasoa en la costa vasca y distribución de las praderas marinas de *Zostera noltei* en el estuario del Bidasoa. Las zonas A, B, C, D, E, F, G y H corresponden a zonas de presencia de la especie entre los años 2008 y 2020.

Las tipologías de manchas que se han encontrado en estas praderas marinas pertenecen fundamentalmente a dos: i) manchas grandes con densidad de haces elevada en su parte central, y numerosas manchas irregulares de menor tamaño y menor densidad en sus bordes; y ii) manchas circulares de tamaño pequeño e intermedio (normalmente de 0,2-2 m de diámetro). En este sentido, cuando las manchas eran de un tamaño considerable se han mantenido individualizadas; pero tanto en los bordes de las manchas grandes como en zonas de muchas manchas pequeñas (consideradas como "campo de manchas"), dichas manchas se han agrupado en un único polígono.

Una vez realizada la toma de coordenadas en el campo, se descargaron los datos registrados al ordenador y, mediante la utilización del software de libre acceso QGIS-Quantum GIS, se dibujaron los polígonos correspondientes a las manchas identificadas y se calculó el área ocupada por cada una de ellas. Así se obtuvo una estimación de la superficie ocupada por la fanerógama marina para cada uno de los años muestreados (2008, 2012 y de 2016 a 2020) y se realizó la comparación.

El análisis comparativo entre años se realizó teniendo en cuenta solamente las superficies ocupadas, con el objetivo de conocer si ha aumentado, disminuido o mantenido la superficie de ocupación de las praderas marinas.

Resultados

En términos globales la extensión de la pradera ha aumentado desde las 1,83 ha en 2008 a las 6,23 ha en 2020 (Tabla 2 y Figura 2), habiendo pasado por un período de menor extensión con 1,21 ha en 2016. La evolución de las praderas marinas ha sido diferente en las distintas zonas (Figura 3), siendo en las zonas E, G y H donde más han prosperado (Tabla 2). En definitiva, en el conjunto del estuario, en este periodo se ha ganado una superficie de 4,45 ha.

Tabla 2. Superficie (m^2) ocupada por *Zostera noltei* en el estuario del Bidasoa y en cada una de sus zonas en los años 2008, 2012, 2016, 2018 y 2020 (además de 2017 y 2019 en las zonas A y B).

AÑO ZONA	2008 m^2	2012 m^2	2016 m^2	2017 m^2	2018 m^2	2019 m^2	2020 m^2
A	21	2	6,75	7	0	0	0
B	66	151	628	597	632	416	858
C	1.480	1.549	1.621		2.296		2.180
D	2.600	2.292	662		1.088		1.196
E	70	0	0		0		6.400
F	12.800	12.633	6.601		8.620		21.826
G	1.326	3.048	2.547		7.308		21.414
H	0	0	0		0		8.410
Total Bidasoa	**18.362**	**19.675**	**12.065**		**19.943**		**62.284**

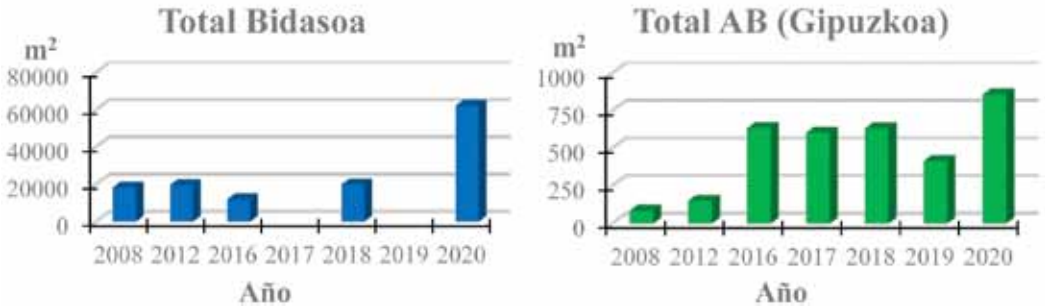


Figura 2. Extensión total (m²) de las praderas marinas de *Zostera noltei* en el estuario del Bidasoa y en la parte correspondiente a Gipuzkoa (suma de las zonas A y B).

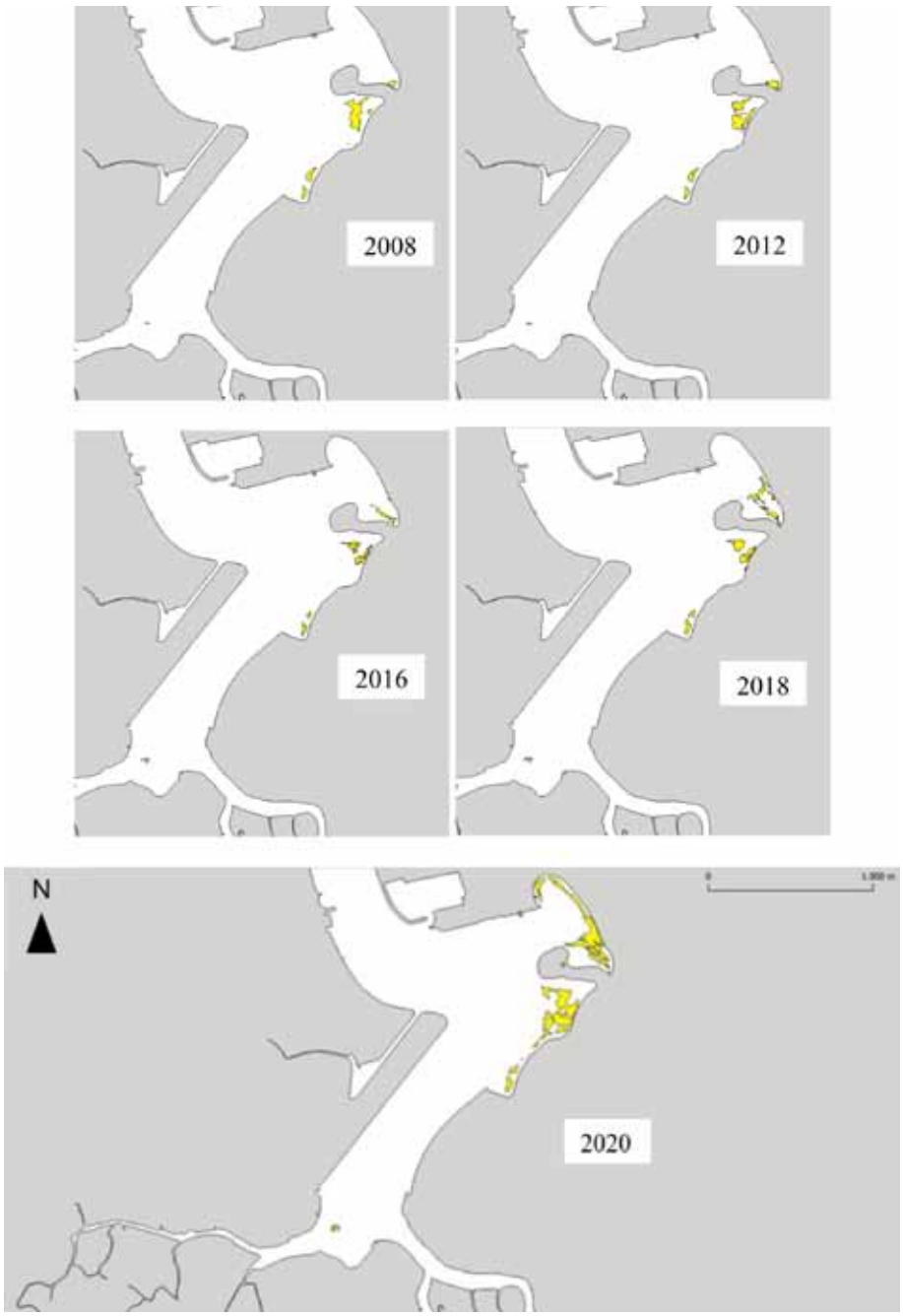
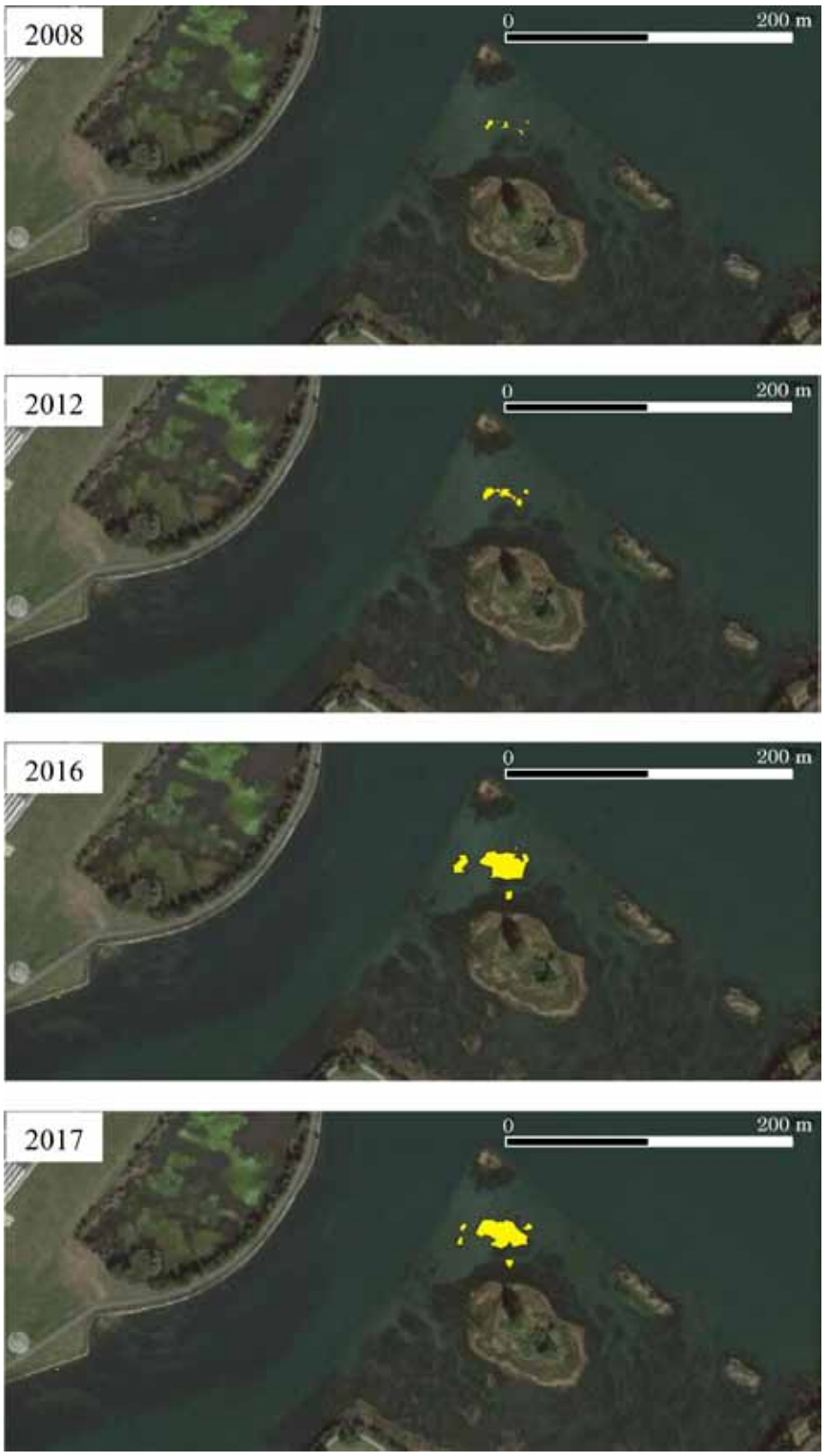


Figura 3. Distribución de las praderas marinas (poblaciones de *Zostera noltei*) en el estuario del Bidasoa en los años 2008, 2012, 2016, 2018 y 2020.


2008
0
200 m
2012
0
200 m
2016
0
200 m
2017
0
200 m

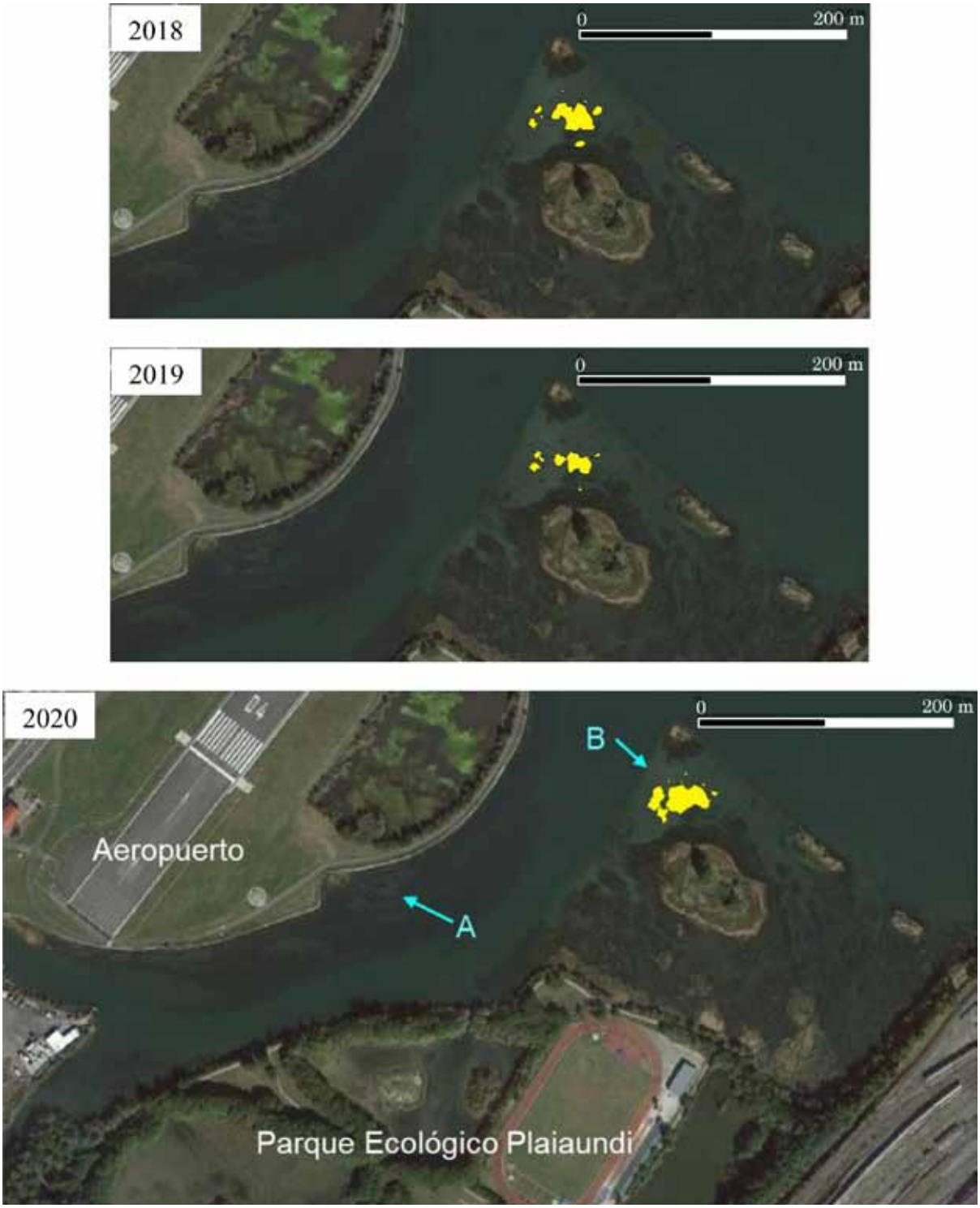


Figura 4. Distribución de *Zostera noltei* en la zona A (a un lado del aeropuerto) y zona B (en el parque ecológico de Plaiaundi) del estuario del Bidasoa. Las praderas marinas de *Z. noltei* se representan en amarillo. Años 2008, 2012, 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020. La fotografía aérea del fondo corresponde a octubre de 2018 (tomada de Google Earth Pro).

En el estuario del Bidasoa, en la zona A, junto al aeropuerto, las manchas de pradera ya no fueron detectadas a partir del año 2018 (Figura 4). Hay que mencionar que es una zona muy llana, muy fangosa, donde hay elevada presencia de las algas *Ulva* y *Gracilaria* (Figura 5), y debido a ello el muestreo y visualización de *Z. noltei* está enormemente dificultada.

La zona B se encuentra en las marismas de Itzaberri, dentro del Parque Ecológico de Plaiaundi (Figura 6). Es una zona arenosa, donde aumentó la presencia de *Z. noltei* de 2008 a 2016, pero que se ha mantenido bastante estable en los últimos años (Tabla 2).

Las zonas C y D, frente a Puerto Kaneta, en Hendaia, son arenosas en su parte superior y fangosa en su parte inferior, y presentan dos manchas bien definidas y densas, separadas por una rampa de acceso al agua (Figura 7). La superficie de praderas marinas ha sufrido poca variación y, en el cómputo de ambas zonas, *Z. noltei* presenta una ligera disminución en su extensión entre 2008 y 2020 (Tabla 2 y Figura 8).

Figura 5. Estuario del Bidasoa. Zona A, a un lado del aeropuerto (Hondarribia).

Figura 6. Estuario del Bidasoa. Zona B, en Plaiaundi, en las marismas de Itzaberri (Irun).

Figura 7. Estuario del Bidasoa. Zonas C (izquierda) y D (derecha), a ambos lados de la rampa de acceso al agua en Puerto Kaneta (Hendaia).

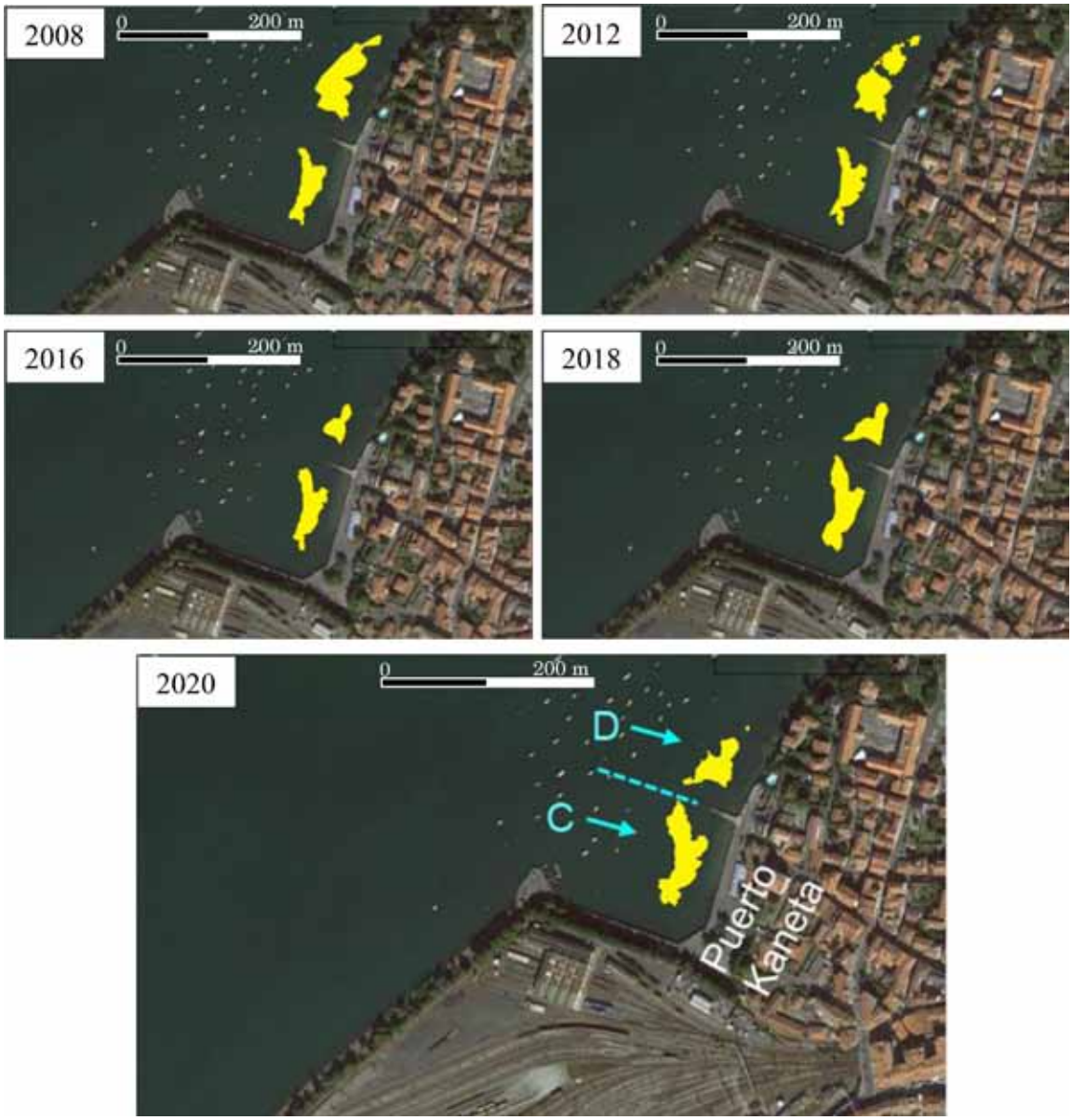


Figura 8. Distribución de *Zostera noltei* en las zonas C y D del estuario del Bidasoa (Puerto Kaneta, Hendaia). Las praderas marinas de *Z. noltei* se representan en amarillo. Años 2008, 2012, 2016, 2018 y 2020. La fotografía aérea del fondo corresponde a octubre de 2018 (tomada de Google Earth Pro).

Figura 9. Estuario del Bidasoa. Zona E y F, al sur de la isla de los Pájaros, en el paseo Beltzenia (Hendaia).

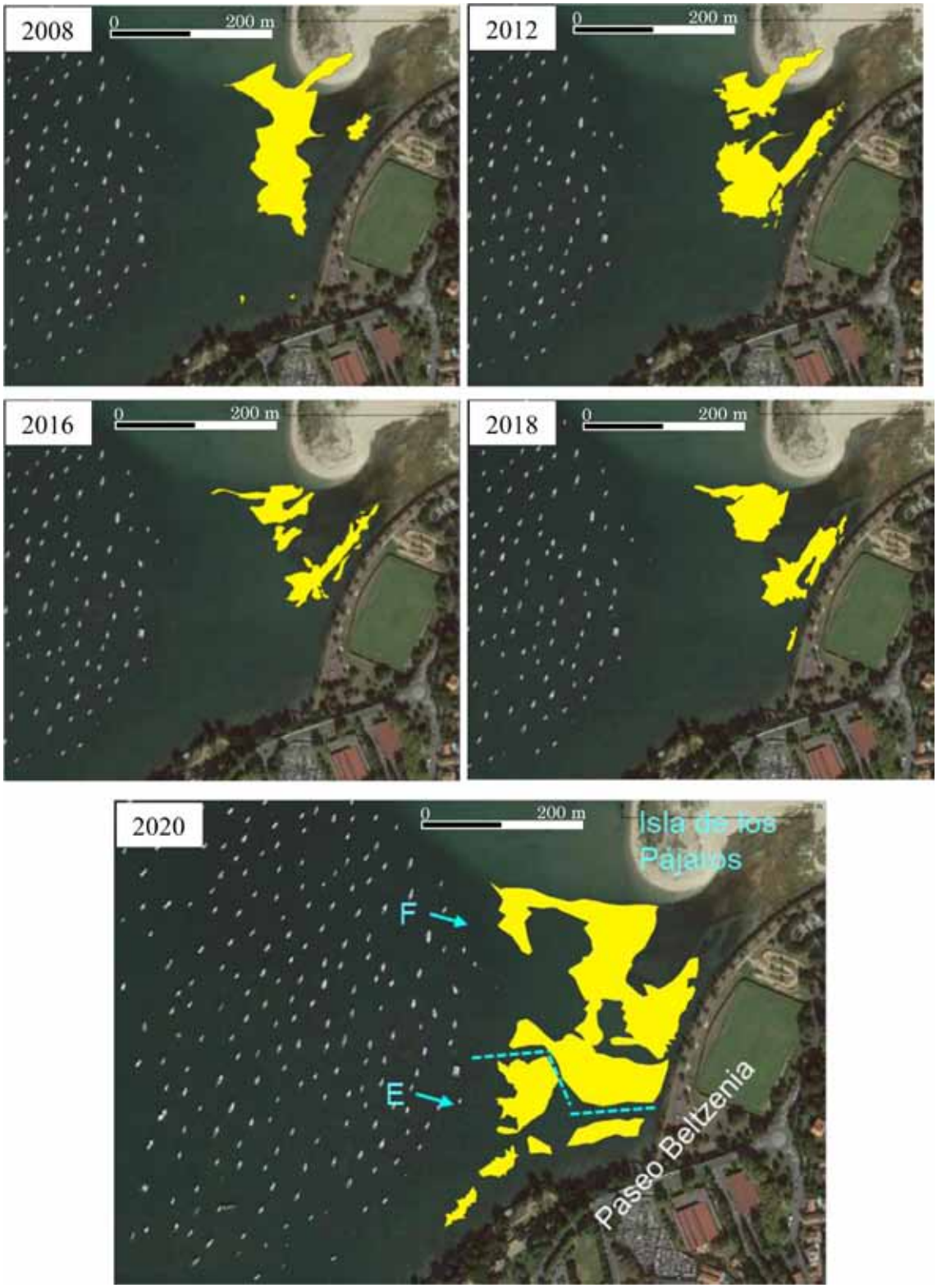


Figura 10. Distribución de *Zostera noltei* en las zonas E y F del estuario del Bidasoa (en el paseo Beltzenia, al sur de la isla de los Pájaros, Hendaia (ver Figura 1). Las praderas marinas de *Z. noltei* se representan en amarillo. Años 2008, 2012, 2016, 2018 y 2020. La fotografía aérea del fondo corresponde a octubre de 2018 (tomada de Google Earth Pro). El borde entre las zonas E y F está marcado por un canal de desagüe natural (línea punteada).

Las zonas E y F, al sur de la isla de los Pájaros, en Hendaia, son fundamentalmente arenosas (Figura 9). La zona F presenta abundancia de *Spartina* que, en algunas áreas, comparte el mismo espacio con *Z. noltei*. La zona F corresponde a la pradera más extensa y más duradera hasta la actualidad (Tabla 2), mientras que la zona E ha mostrado un importante aumento de la pradera en el último año; bien por desarrollo de varias manchas grandes en el norte, bien por la presencia de muchas manchas pequeñas de forma circular en el sur (Figura 10).

La zona G, al norte de la isla de los Pájaros, en Hendaia, es arenosa en sus cotas más elevadas y muy fangosa en su zona más baja (Figura 11). Esta zona ha mostrado una colonización progresiva de pradera, mayor en los últimos años, alcanzando una extensión similar a la del sur de la isla de los Pájaros (Tabla 2, Figura 13). Además, en la zona H han ido apareciendo algunas manchas separadas en dirección al centro náutico que han derivado en la presencia de una pradera fragmentada en la ensenada, a pesar de la elevada presión ejercida por la afluencia de los usuarios de las distintas actividades deportivas (Tabla 2, Figura 12).

Figura 11. Estuario del Bidasoa. Zona G, al norte de la isla de los Pájaros en el paseo hacia el centro náutico (Hendaia).

Figura 12. Estuario del Bidasoa. Zona H, en la ensenada frente al centro náutico de Hendaia.

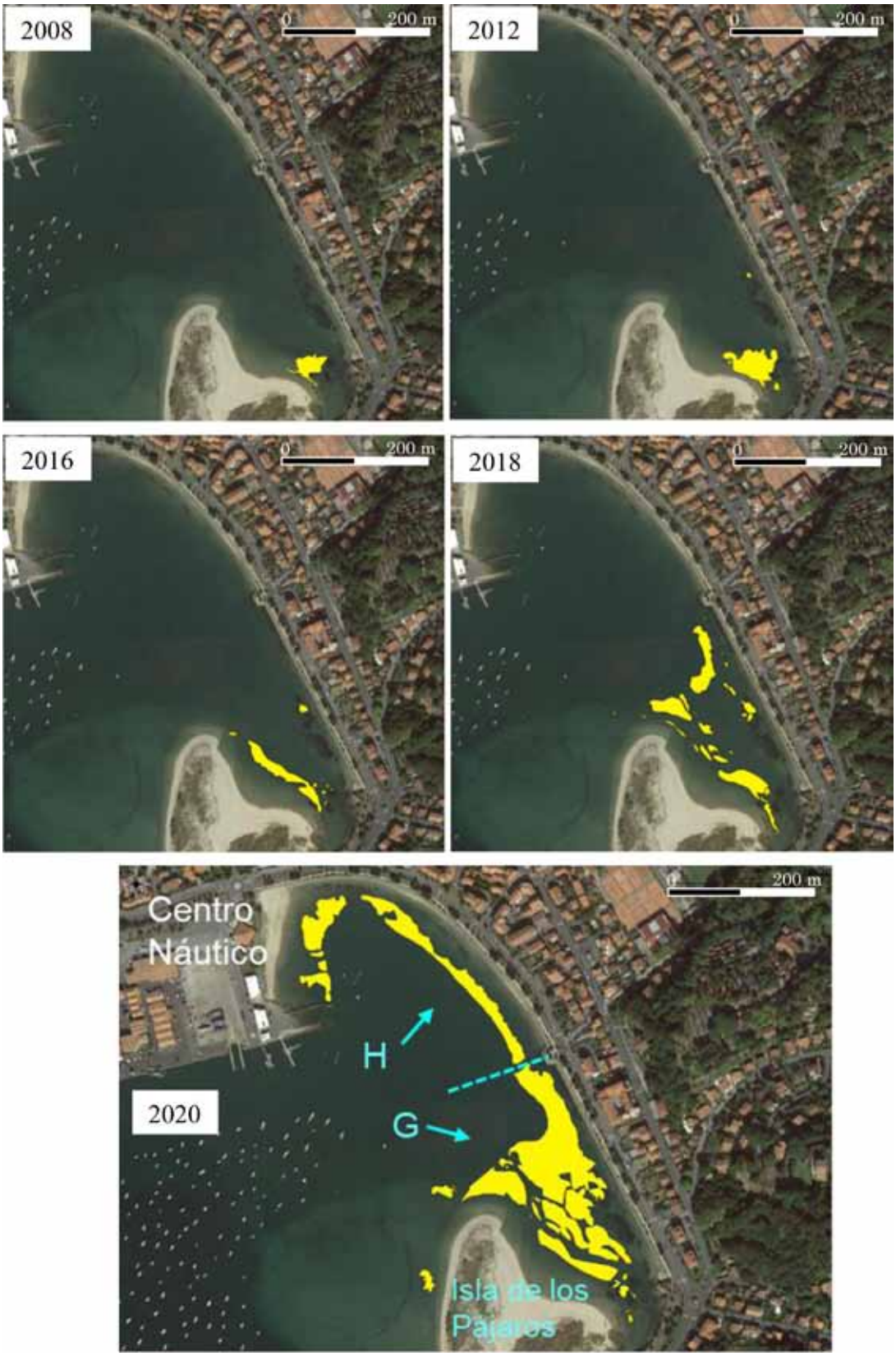


Figura 13. Distribución de *Zostera noltei* en las zonas G y H del estuario del Bidasoa (en el paseo hacia el centro náutico, al norte de la isla de los Pájaros, Hendaia. Ver Figura 1). Las praderas marinas de *Z. noltei* se representan en amarillo. Años 2008, 2012, 2016, 2018 y 2020. La fotografía aérea del fondo corresponde a octubre de 2018 (tomada de Google Earth Pro).

Discusión y conclusiones

El presente análisis de la evolución de las praderas marinas de *Z. noltei* en el estuario del Bidasoa se ha basado en la recopilación de información cartográfica existente de los años 2008 y 2012 (Garmendia *et al*., 2013), y en la generación de nueva información cartográfica con periodicidad anual desde 2016 hasta 2020. Se debe destacar que la información recopilada y la generada tienen un grado de precisión diferente: pocos centímetros de error la primera y pocos metros de error la segunda. Por esta diferencia de precisión debe tenerse presente que las cartografías de nueva generación podrían estar, en cierta manera, algo desviadas de la realidad.

Además, tal y como se ha confirmado con el análisis de los distintos mapas del presente estudio, también debe tenerse en cuenta que *Z. noltei* es una especie muy dinámica, con gran capacidad de crecimiento y que presenta una elevada variabilidad interanual tanto en su presencia como en su crecimiento (Peralta, 2000). Otro inconveniente a la hora de trabajar con esta especie es la dificultad de ser vista y registrada cuando se presenta con una baja densidad. Por ello, y con el fin de minimizar estos efectos, los muestreos suelen realizarse en la época de verano donde se espera la situación más desarrollada del año con la máxima producción de las hojas (Vermaat *et al*., 1987; Philippart, 1995).

Según el presente trabajo, las praderas marinas que se desarrollan en el estuario del Bidasoa han aumentado su extensión en esta última década. Según los datos correspondientes a todo el estuario, la pradera ha aumentado 3,4 veces su extensión entre los años 2008 y 2020. Este aumento coincide con lo observado por Sanchez *et al*. (2021) quienes han registrado un aumento de 3,6 veces la pradera en su parte francesa entre 2007 y 2020, pasando de 1,27 ha a 4,54 ha (en nuestro caso, considerando solamente la parte francesa, sería de 3,4 veces, pasando de 1,83 ha a 6,14 ha). Teniendo esto en cuenta, y en el contexto del frecuentemente mencionado declive de praderas marinas en las últimas décadas a escala mundial (Cunha *et al*., 2014; Unsworth *et al*., 2019; Dunic *et al*., 2021), las praderas marinas del Bidasoa se encontrarían entre aquellas que muestran una tendencia positiva en su desarrollo, al menos en la última década.

Durante el periodo estudiado, se ha visto un ligero descenso en el año 2016 a causa de la disminución en la zona D (puerto Kaneta) y, principalmente, en la zona F (al sur de la Isla de los Pájaros). El aumento observado posteriormente a nivel de estuario es debido al gran desarrollo en las zonas F, G y H (especialmente en estos dos últimos). En principio, no hay un motivo aparente que pueda explicar dicho desarrollo (o, al menos, no lo conocemos). Es cierto que el aumento de la pradera en estas zonas intermareales podría haberse visto facilitado por presentar un acceso restringido de personas, ya que esta bahía (Txingudi) está protegida por estar declarada como ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves). Pero también es cierto que este acceso lleva restringido desde el año 2000 y el gran aumento de extensión de las praderas marinas solamente se ha visto durante estos últimos años. Por otro lado, en el extremo norte de la zona H (cerca del Centro Náutico de Hendaia) se permite el acceso por tierra para algunas actividades deportivas (p.ej., windsurf y pequeñas embarcaciones a vela) y, a pesar de ello, esta zona también ha experimentado un claro aumento en la presencia de praderas marinas. En definitiva, no se puede identificar claramente la causa que pudiera explicar el fuerte desarrollo que han experimentado las praderas marinas en el estuario del Bidasoa en estos últimos años.

Los ejemplos en los que *Z. noltei* parece aumentar su distribución a escala mundial se encuentran ligados o bien a una reducción de la eutrofización (Vaudrey *et al*., 2010; Orth y McGlathery, 2012) o bien a una restauración de las praderas de esta planta (Orth *et al*., 2012; Reynolds *et al*., 2012). En el caso del Bidasoa, parte del incremento en la distribución podría deberse al saneamiento progresivo de estas cuencas (Borja *et al*., 2021), a la consecuente mejora de la calidad de las aguas y a la disminución de la eutrofización (de los Santos *et al*., 2019) y/o al reajuste natural de los medios intermareales a las pasadas intervenciones humanas en este estuario, como podrían ser las actividades de dragado a gran escala (de los Santos *et al*., 2019).

En cuanto a la zona A, en ella siempre se han visto pequeños polígonos de pradera (pocos m^2), cuya desaparición ha podido ser debida a no haber alcanzado el tamaño mínimo necesario para garantizar su futuro, teniendo en cuenta que la supervivencia de la mancha de pradera aumenta con el tamaño de dicha mancha (Diaz Almela *et al*., 2008). Además, es una zona muy fangosa, que estacionalmente suele aparecer cubierta de gran cantidad de distintas algas (*Gracilaria* sp., *Ulva* sp.) y que también han podido ejercer una presión y haber afectado negativamente (p.ej., asfixiando las capas subyacentes de pradera marina o por falta de luz) (Lee *et al*., 2007; Gil-Rodríguez *et al*., 2012).

Las praderas marinas presentes en el estuario del Bidasoa han mostrado una tendencia positiva durante los últimos años en lo que a su extensión se refiere: la superficie total ocupada por *Z. noltei* en 2008 era de 1,84 ha, y en 2020 ha sido de 6,23 ha, es decir, 3,4 veces mayor.

El mayor desarrollo de las praderas marinas del Bidasoa observado entre los años 2008 y 2020 corresponde a las zonas G y H, entre la Isla de los Pájaros y el centro náutico de Hendaia.

Por último, las cartografías representadas en el presente trabajo demuestran la gran variabilidad interanual de ocupación por parte de *Z. noltei*.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado en sus fases iniciales por la Agencia Vasca del Agua (URA) dentro del proyecto "Trabajos de restauración de *Zostera noltii* en la costa vasca", actividades de 2008 y 2012. Quiero agradecer al Parque Ecológico de Plaiaundi, a la Comandancia de Marina de Baiona (Francia) y al Ayuntamiento de Hendaia por autorizar y facilitar los muestreos en las marismas de Txingudi, tanto en

Irún como en Hendaia (Bidasoa). También quisiera agradecer a Mireia Valle y Guillem Chust por intervenir como revisores del presente trabajo y aportar los comentarios pertinentes que han mejorado significativamente su contenido inicial. Esta es la contribución nº 1.103 de la Unidad de Investigación Marina de AZTI.

Bibliografía

Aguilar, R., X. Pastor, M.J. De Pablo, 2006. *Hábitats en peligro. Propuesta de protección de Oceana*. Oceana y Fundación Biodiversidad. 81 pp.

Bachelet, G., P.J. Labourg, 1983. Compte rendus de missions sur la Baie de Chingoudy en 1976, 1978, 1980, 1982 et 1983. – État de la flore et de la macrofaune benthique. *Surfaces calculées à partir des images géoréférencées à l'aide du module de géoréférencement d'ARCGIS.3 en se calant sur le trait de côte du SHOM*.

Barillé, L., M. Robin, N. Harin, A. Bargain, P. Launeau, 2010. Increase in seagrass distribution at Bourgneuf Bay (France) detected by spatial remote sensing. *Aquatic Botany,* 92: 185-194.

Borja, A., J. Bald, M.C. Uyarra, J. Franco, J. Larreta, I. Menchaca, I. Muxika, S. Pouso, J.M. Garmendia, A. Lanzén, M. Revilla, J.G. Rodríguez, Y. Sagarmínaga, O. Solaun, A. Uriarte, I. Zorita, I. Adarraga, F. Aguirrezabalaga, J.C. Sola, I. Cruz, M.A. Marquiegui, J. Martínez, J.Mª Ruiz, M. Cano, A. Laza-Martínez, A. Manzanos, 2021. *Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Informe de Resultados. Campaña 2020*. Informe elaborado por AZTI para la Agencia Vasca del Agua. 385 pp.

Calleja, F., C. Galván, A. Silio-Calzada, J.A. Juanes, B. Ondiviela, 2017. Long-term analysis of *Zostera noltei*: A retrospective approach for understanding seagrasses' dynamics. *Marine Environmental Research,* 130: 93-105.

Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, M. van den Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature,* 387: 253-260.

Cunha, A.H., J.F. Assis, E.A. Serrao, 2014. Reprint of "Seagrasses in Portugal: A most endangered marine habitat". *Aquatic Botany*, 115: 3-13.

de los Santos, C.B., D. Krause-Jensen, T. Alcoverro, N. Marbà, C.M. Duarte, M.M. van Katwijk, M. Pérez, J. Romero, J.L. Sánchez-Lizaso, G. Roca, E. Jankowska, J.L. Pérez-Lloréns, J. Fournier, M. Montefalcone, G. Pergent, J.M. Ruiz, S. Cabaço, K. Cook, R.K. Wilkes, F.E. Moy, G. Muñoz-Ramos Trayter, X. Seglar Arañó, D.J. de Jong, Y. Fernández-Torquemada, I. Auby, J.J. Vergara, 2019. Recent trend reversal for declining European seagrass meadows. *Nature Communications*, 10: 3356.

Diaz Almela, E., N. Marbà, E. Álvarez, R. Santiago, R. Martínez, C.M. Duarte, 2008. Patch dynamics of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: Implications for recolonisation process. *Aquatic Botany,* 89: 397-403.

Dolch, T., C. Buschbaum, K. Reise, 2013. Persisting intertidal seagrass beds in the northern Wadden Sea since the 1930s. *Journal of Sea Research*, 82: 134-141.

Duarte, C.M., 2002. The future of seagrass meadows. *Environmental Conservation*, 29: 192-206.

Dunic, J.C., C.J. Brown, R.M. Connolly, M.P. Turschwell, I.M. Côté, 2021. Long-term declines and recovery of meadow area across the world's seagrass bioregions. *Global Change Biology*, 27: 4096-4109.

Erftemeijer, P.L.A., R.R. Robin Lewis III, 2006. Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 1553-1572.

Garmendia, J.M., Á. Borja, J. Franco, 2008. *Trabajos de restauración de Zostera noltii en la costa vasca*. Informe elaborado por AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua. 94 pp.

Garmendia, J.M., J.G. Rodríguez, Á. Borja, J. Franco, 2010. Clasificación de los estuarios del País Vasco como zonas potenciales para la restauración de praderas intermareales de *Zostera noltii. Revista de Investigación Marina*, 17: 40-61.

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

Gil-Rodríguez, M.C., M. Carrillo, J.J. Bacallado, R. Mesa, 2012. Marea verde y evidencias sobre la recuperación de la pradera de *Nanozostera noltii* en Arrecife, Lanzarote, Islas Canarias. *Revista de la Academia Canaria de Ciencias*, 24: 89-101.

Green, E.P., F.T. Short, 2003. *World Atlas of Seagrasses*. University of California Press, Berkeley, CA, USA. 324 pp.

Hughes, A.R., S.L. Williams, C.M. Duarte, K.L. Heck, Jr. Waycott, M. Waycott, 2009. Associations of concern: declining seagrasses and threatened dependent species. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7: 242-246.

James, R.K., A. Lynch, P.M.J. Herman, M.M. van Katwijk, B.I. van Tussenbroek, H.A. Dijkstra, R.M. van Westen, C.G. van der Boog, R. Klees, J.D. Pietrzak, C. Slobbe, T.J. Bouma, 2021. Tropical biogeomorphic seagrass landscapes for coastal protection: Persistence and wave attenuation during major storms events. *Ecosystems*, 24: 301-318.

Lee, K.S., J.I. Park, Y.K. Kim, S.R. Park, J.H. Kim, 2007. Recolonization of *Zostera marina* following destruction caused by a red tide algal bloom: the role of new shoot recruitment from seed banks. *Marine Ecology Progress Series*, 342: 105-115.

Lissardy, M., M.M. de Casamayor, F. Sanchez, 2007. *Cartographie de l'herbier de Zostera noltii dans la Baie de Txingudi*. Informe CERECA-ADERA. 12 pp.

Neckles, H., B. Kopp, B. Peterson, P. Pooler, 2012. Integrating Scales of Seagrass Monitoring to Meet Conservation Needs. *Estuaries and Coasts*, 35: 23-46.

Nordlund, L.M., E.W. Koch, E.B. Barbier, J.C. Creed, 2016. Seagrass ecosystem services and their variability across genera and geographical regions. *PLoS ONE*, 11: e0163091.

Orth, R.J., K.A. Moore, S.R. Marion, D.J. Wilcox, D.B. Parrish, 2012. Seed addition facilitates eelgrass recovery in a coastal bay system. *Marine Ecology Progress Series*, 448: 177-195.

Orth, R.J., K.J. McGlathery, 2012. Eelgrass recovery in the coastal bays of the Virginia Coast Reserve, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 448: 173-176.

Orth, R.J., T.J.B. Carruthers, W.C. Dennison, C.M. Duarte, J.W. Fourqurean, K.L. Heck Jr., A.R. Hughes, G.A. Kendrick, W.J. Kenworthy, S. Olyarnik, F.T. Short, M. Waycott, S.L. Williams, 2006. A global crisis for seagrass ecosystems. *Bioscience*, 56(12): 987-996.

Orth, R.J., J.S. Lefcheck, K.S. McGlathery, L. Aoki, M.W. Luckenbach, K.A. Moore, M.P.J. Oreska, R. Snyder, D.J. Wilcox, B. Lusk, 2020. Restoration of seagrass habitat leads to rapid recovery of coastal ecosystem services. *Science Advances*, 6: eabc6434.

Peralta, G., 2000. *Estudios sobre el crecimiento en Zostera noltii Hornem.: Dinámica estacional y aspectos ecofisiológicos*. Tesis de Doctorado, Universidad de Cádiz. 229 pp.

Philippart, C.J.M., 1995. Seasonal variation in growth and biomass of an intertidal Zostera noltii stand in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research,* 33(2): 205-218.

Phinn, S., C. Roelfsema, A. Dekker, V. Brando, J. Anstee, 2008. Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: An assessment of satellite multi-spectral and airborne hyper-spectral imaging systems in Moreton Bay (Australia). *Remote Sensing of Environment*, 112: 3413-3425.

Reynolds, L.K., M. Waycott, K.J. McGlathery, R.J. Orth, J.C. Zieman, 2012. Eelgrass restoration by seed maintains genetic diversity: case study from a coastal bay system. *Marine Ecology Progress Series*, 448: 223-233.

Sanchez, F., M. Lissardy, M.N. de Casamajor, F. Aubert, 2021. *Suivi stationnel et surfacique de l'herbier à Zostera noltei de la masse d'eau FRFT08 Bidassoa - 2020 - Bassin Hydrographique Adour-Garonne*. Rapport R.ODE/ LITTORAL/LER AR 21-002, 26 pp.

Sanchez-Vidal, A., M. Canals, W.P. de Haan, J. Romero, M. Veny, 2021. Seagrasses provide a novel ecosystem service by trapping marine plastics. *Scientific Reports*, 11: 254.

Schmidt, A.L., M. Coll, T. Romanuk, H.K. Lotze, 2011. Ecosystem structure and services in eelgrass *Zostera marina* and rockweed *Ascophyllum nodosum* habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 437: 51-68.

Short, F.T., 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.J. Kenworthy, Y.A. La Nafie, I.M. Nasution, R.J. Orth, A. Prathep, J.C. Sanciangco, B. van Tussenbroek, S.G. Vergara, M. Waycott, J.C. Zieman, 2011. Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *Biological Conservation*, 144: 1961-1971.

Short, F.T., D.M. Burdick, 1996. Quantifying eelgrass habitat loss in relation to housing development and nitrogen loading in Waquoit Bay, Massachusetts. *Estuaries and Coasts*, 19: 730-739.

Short, F.T., E.W. Koch, J.C. Creed, K.M. Magalhaes, E. Fernández, J.L. Gaeckle, 2006. SeagrassNet monitoring across the Americas: case studies of seagrass decline. *Marine Ecology*, 27: 277-289.

Sousa, A.I., J. Figueiredo da Silva, A. Azevedo, A. I. Lillebo, 2019. Blue Carbon stock in *Zostera noltei* meadows at Ria de Aveiro coastal lagoon (Portugal) over a decade. *Scientific Reports*, 9: 14387.

Turschwell, M.P., R.M. Connolly, J.C. Dunic, M. Sievers, C.A. Buelow, R.M. Pearson, V.J.D. Tulloch, I.M. Côté, R.K.F. Unsworth, C.J. Collier, C.J. Brown, 2021. Anthropogenic pressures and life history predict trajectories of seagrass meadow extent at a global scale. *PNAS*, 118(45): e211080218.

Unsworth, R.K.F., L.J. McKenzie, C.J. Collier, L.C. Cullen-Unsworth, C.M. Duarte, J.S. Eklöf, J.C. Jarvis, B.L. Jones, L.M. Nordlund, 2019. Global challenges for seagrass conservation. *Ambio*, 48: 801-815.

Valle, M., G. Chust, A. del Campo, M.S. Wisz, S.M. Olsen, J.M. Garmendia J.M., Á. Borja, 2014. Projecting future distribution of the seagrass *Zostera noltii* under global warming and sea level rise. *Biological Conservation*, 170: 74-85.

Vaudrey, J.M.P., J.N. Kremer, B.F. Branco, F.T. Short, 2010. Eelgrass recovery after nutrient enrichment reversal. *Aquatic Botany*, 93: 237-243.

Vermaat, J.E., M.J.M. Hootsmans, P.H. Nienhuis, 1987. Seasonal dynamics and leaf growth of *Zostera noltii* Hornem., a perennial intertidal seagrass. *Aquatic Botany*, 28: 287-299.

Waycott, M., C.M. Duarte, T.J.B. Carruthers, R.J. Orth, W.C. Dennison, S. Olyarnik, A. Calladine, J.W. Fourqurean, K.L. Heck, A.R. Hughes, G.A. Kendrick, W.J. Kenworthy, F.T. Short, S.L. Williams, 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 12377-12381.

Zoffoli, M.L., P. Gernez, L. Godet, S. Peters, S. Oiry, L. Barillé, 2021. Decadal increase in the ecological status of a North-Atlantic intertidal seagrass meadow observed with multi-mission satellite time-series. *Ecological Indicators*, 130: 108033.

AZTI

MEMBER OF
BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE

/ **HEADQUARTERS**

Txatxarramendi Ugartea z/g
E-48395 Sukarrieta - BIZKAIA (Spain)

Parque Tecnológico de Bizkaia
Astondo Bidea, Edificio 609
E-48160 Derio - BIZKAIA (Spain)

Herrera Kaia - Portualdea z/g
E-20110 Pasaia - GIPUZKOA (Spain)

/ **t.** (+34) 946 574 000

/ **e**-mail: info@azti.es

/ www.**azti**.es