

Informe sobre sobre la repoblación experimental de *Cymodocea nodosa* en el contexto del proyecto RECOMAR

Autores:

África Núñez García de la Morena

Ignacio Moreu Badía

Guillermo Monescillo Aragón

Ana Navarro Campoy

José Luis Ferrés García

Nathalie Korbee Peinado

Antonio Avilés Benítez

Ricardo Bermejo Lacida



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Fondos Europeos



Introducción

Las praderas formadas por angiospermas marinas desempeñan un papel crucial en funcionamiento de los ecosistemas costeros y proporcionan servicios ecosistémicos esenciales como el secuestro de carbono, la protección del litoral, el reciclado de nutrientes y la provisión de hábitats para la reproducción de especies de interés pesquero (do Amaral Camara Lima et al., 2023). A nivel mundial, estas praderas están en regresión debido a impactos antropogénicos acumulativos como el desarrollo costero, la eutrofización, el tráfico marítimo y el cambio climático, con una tasa de pérdida del 7% anual desde 1990 (Waycott et al., 2009).

Las praderas de *Cymodocea nodosa* constituyen uno de los principales hábitats estructuradores del litoral mediterráneo, proporcionando importantes servicios ecosistémicos relacionados con la biodiversidad, la protección costera, el secuestro de carbono y el mantenimiento de recursos pesqueros (Ballesteros et al., 2007). Sin embargo, numerosas poblaciones han experimentado una regresión significativa durante las últimas décadas debido al desarrollo costero, el aumento de la sedimentación, la contaminación y el cambio climático (Santos et al., 2019).

En el contexto de la restauración ecológica, los esfuerzos en el medio marino van muy por detrás de la restauración terrestre, limitados por altos costes y dificultades técnicas en el mantenimiento de los trasplantes. Por ello, es imperativo realizar ensayos y experimentos preliminares a pequeña escala antes de intervenciones a gran escala; estos permiten evaluar métodos, identificar factores limitantes (físico-químicos o biológicos) y reducir riesgos operativos (de la Morena et al., 2026). Aunque la restauración activa se considera una herramienta imprescindible para recuperar estos ecosistemas, el éxito de las actuaciones continúa siendo variable debido a la limitada disponibilidad de protocolos específicos para la especie. En particular, todavía existe escasa información sobre qué técnicas de fijación permiten maximizar la supervivencia inicial de los trasplantes y cuál es la densidad mínima capaz de asegurar el establecimiento de nuevas praderas. *Cymodocea nodosa*, una especie pionera con alta tolerancia ambiental, se presenta como la candidata ideal para liderar estos esfuerzos de recuperación en el Mediterráneo.

Además, la identificación de las poblaciones donadoras constituye un aspecto frecuentemente ignorado. Estudios recientes han demostrado que las poblaciones utilizadas como fuente de material vegetal pueden condicionar la diversidad genética y la resiliencia futura de las praderas restauradas (de la Morena et al., 2026; Hofmann et al., 2025). En este contexto, análisis genéticos preliminares desarrollados en el contexto del proyecto RECOMAR identificaron la población de Roquetas de mar (Almería) como la mejor candidata para proporcionar material

vegetal debido a su elevada diversidad genética y abundancia de variantes alélicas exclusivas, mientras que Maro fue identificada como una población prioritaria para actuaciones de restauración por su papel estratégico en la conectividad genética regional.

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar un protocolo de restauración para *C. nodosa* mediante la evaluación experimental de diferentes técnicas de fijación y densidades de plantación, proporcionando criterios científicos para futuras actuaciones de restauración a gran escala.

Metodología

Los fragmentos de *C. nodosa* empleados en la restauración fueron recolectados en una pradera de Roquetas de mar (Almería, Figura 1A), la cual fue seleccionada previamente como población donadora mediante análisis de diversidad genética. Los trasplantes se realizaron en Maro, zona con una elevada importancia para el mantenimiento de la conectividad regional y una reducida diversidad genética local. Los experimentos comenzaron en noviembre de 2024 (23 m² en total). Posteriormente, en marzo de 2025 y en enero de 2026 se plantaron otros 30 y 40 metros cuadrados con densidades iniciales de 10 plantas por metro cuadrado.

En ambos sitios (zona receptora (Figura 1B) y pradera donadora (Figura 1C)) se evaluaron dos técnicas de restauración: lastre enterrado y malla de fijación (Figura 1D). Además, en la zona receptora se probó el lastre sin enterrar como primer paso para un escalado efectivo de esa técnica de restauración. Para cada técnica, se establecieron tres réplicas de un metro cuadrado cada una.

La técnica de malla de fijación y de lastre sin enterrar se ensayaron en una densidad constante de 25 plantas por metro cuadrado, mientras que el lastre enterrado se ensayó en distintas densidades de plantado en superficies de 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 4 y 6 m² para un mismo número inicial de plantas (25 plantas, es decir, 100, 50, 33, 25, 12.5, 5 y 4 plantas/m²). El objeto de este experimento fue la optimización de la densidad inicial de sembrado, lo que será clave durante el proceso de escalado.

Durante un periodo de quince meses se realizó un seguimiento periódico sobre el crecimiento de las plantas mediante la longitud de las hojas y el número de haces supervivientes, utilizándose ambas variables como indicadores de establecimiento y éxito de la restauración.

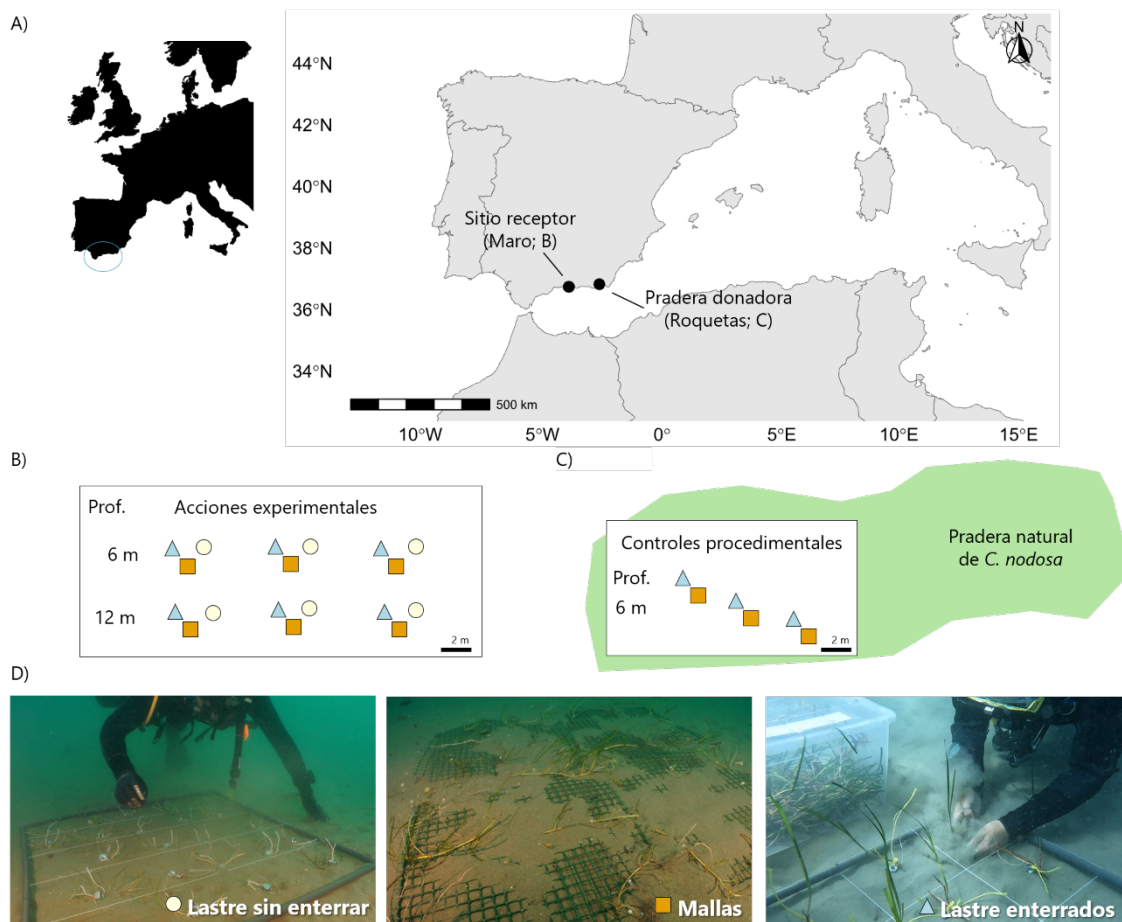


Figura 1. (A) Localización de la pradera donadora y del sitio receptor de la acción experimental de restauración de *Cymodocea nodosa*. (B) Detalle del diseño experimental llevado a cabo en el sitio receptor "Maro". (C) Detalle del diseño de los controles procedimentales del experimento de restauración. (D) Fotografías de la disposición de las técnicas utilizadas en las acciones experimentales de restauración de *Cymodocea nodosa*.

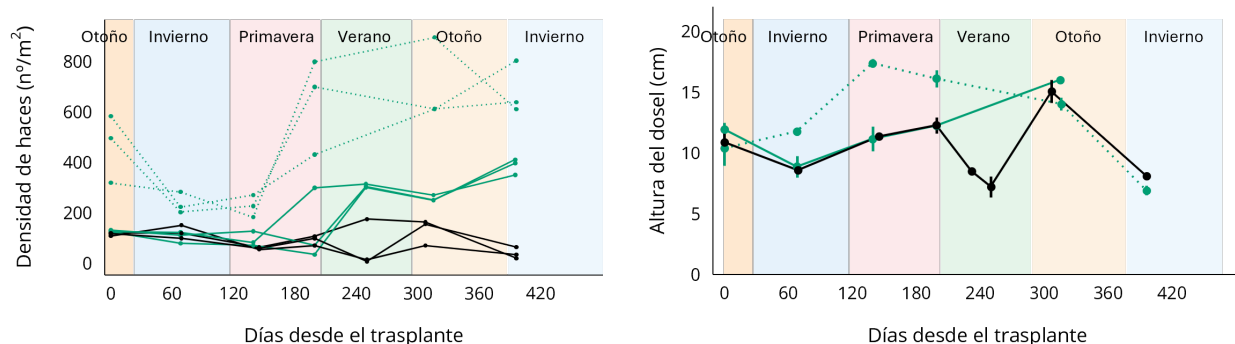
Resultados

Las tres técnicas permitieron el establecimiento inicial de las plantas (Figura 2), aunque mostraron diferencias claras en su rendimiento a largo plazo. Los lastres enterrados presentaron los mayores porcentajes de supervivencia y los mayores valores de elongación foliar durante todo el seguimiento, constituyendo el tratamiento con mejores resultados globales. Los lastres sin enterrar obtuvieron resultados ligeramente inferiores, aunque permitieron igualmente el mantenimiento de un elevado número de plantas vivas durante el periodo experimental.

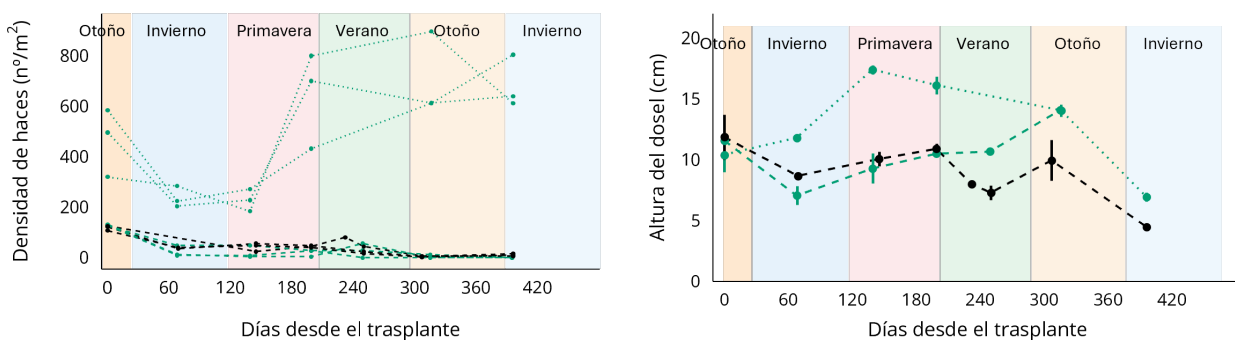
En contraste, las parcelas restauradas mediante malla mostraron un crecimiento significativamente menor (Figura 2). La observación directa indicó que la estructura de la malla dificultaba la elongación natural de hojas y rizomas, limitando el desarrollo de las plantas incluso cuando permanecían vivas.

La densidad de plantación también influyó sobre el éxito de la restauración (Figura 3). Las parcelas establecidas con aproximadamente diez plantas por metro cuadrado mantuvieron las mayores tasas de supervivencia al finalizar el experimento, identificándose como la densidad mínima recomendable para garantizar la persistencia de la restauración durante al menos un año.

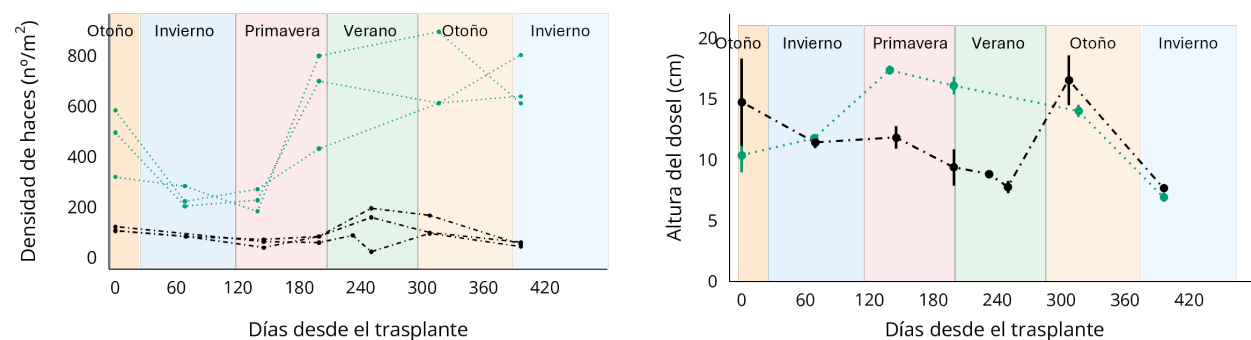
A) Lastres enterrados



B) Mallas



C) Lastres sin enterrar



..... Pradera natural —— Control procedimental —— Trasplante en el sitio receptor

Figura 2. Densidad de haces (número de plantas por metro cuadrado) y altura del dosel (centímetros) de las tres técnicas utilizadas (A-C) durante todo el periodo de seguimiento.

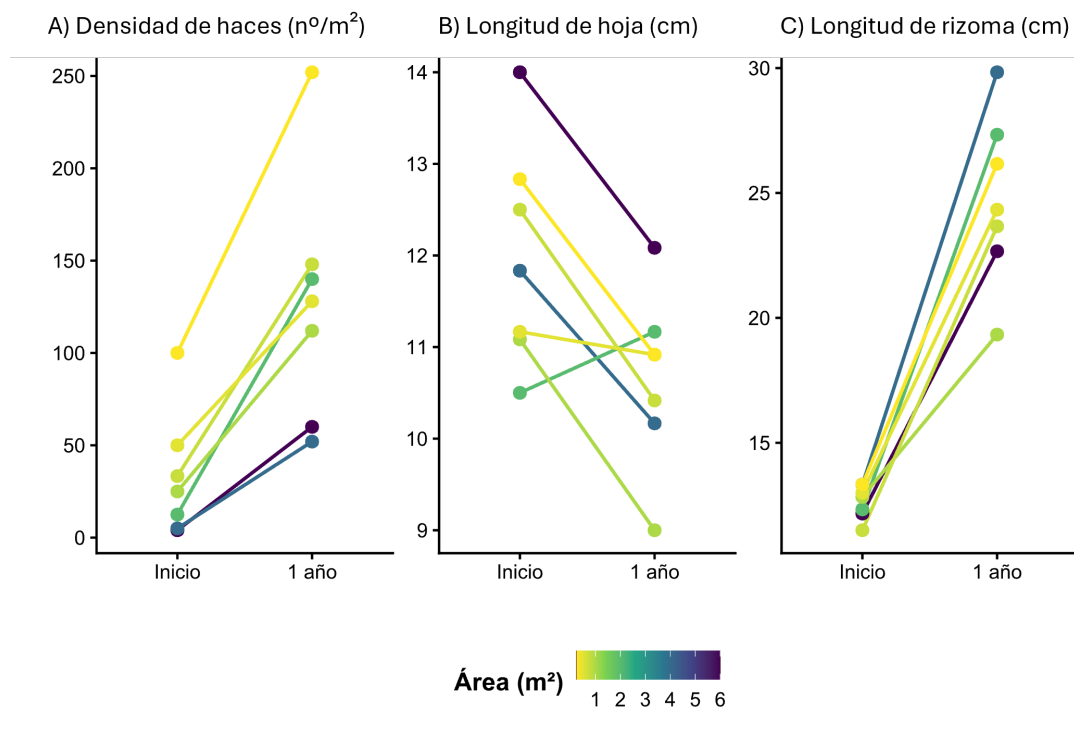


Figura 3. Cambios en densidad y estructura de *Cymodocea nodosa* a lo largo de un año bajo distintos tratamientos de área de plantado. Se muestran las variaciones entre el inicio del experimento (Noviembre 2024) y el estado tras un año para tres variables: (A) número de haces por metro cuadrado; (B) longitud media de la hoja en centímetros; (C) longitud media del rizoma en centímetros. Las líneas conectan las observaciones por tratamiento y los puntos indican los valores medios de cada fecha. El color representa el área inicial plantada en metros cuadrados. Las variables se presentan en paneles separados con escalas independientes ara facilitar la comparación de sus patrones temporales.

No obstante, se registró supervivencia en todos los tratamientos de densidad (Figura 3). Este resultado indica que el emplazamiento receptor presenta unas condiciones ambientales adecuadas para el establecimiento de *C. nodosa* en un amplio rango de densidades iniciales, desde configuraciones dispersas hasta praderas densamente desarrolladas.

Los trasplantes realizados en marzo de 2025 y enero de 2026 han sobrevivido y mantienen el área inicial, si bien la densidad de haces disminuyó un 25-30% tras los temporales ocurridos entre diciembre de 2025 y marzo de 2026.

Discusión

Los resultados obtenidos permiten definir un protocolo de restauración basado en evidencias para *Cymodocea nodosa* en el mar de Alborán.



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Fondos Europeos



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Pleamar



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

En primer lugar, la comparación entre técnicas demuestra que el enterramiento del sistema de fijación constituye actualmente la estrategia más eficaz para favorecer el establecimiento inicial de los trasplantes. El enterramiento incrementa la estabilidad mecánica de los fragmentos y reduce la probabilidad de desplazamiento por hidrodinamismo, facilitando la emisión de nuevos rizomas y el desarrollo foliar.

Aunque el rendimiento de los lastres superficiales fue ligeramente inferior, su elevada supervivencia y su considerable simplicidad operativa los convierten en una alternativa muy prometedora para futuras actuaciones de restauración a gran escala. La reducción del tiempo de instalación y de los costes asociados podría compensar las pequeñas diferencias observadas en el crecimiento, especialmente cuando el objetivo sea restaurar superficies extensas.

Por el contrario, la utilización de mallas no parece recomendable para *C. nodosa*. Lejos de favorecer el establecimiento, la estructura física de la malla actuó como una barrera para el crecimiento de hojas y rizomas, reduciendo el desarrollo de las plantas y limitando la expansión de las unidades restauradas.

La evaluación de diferentes densidades de plantación aporta igualmente información relevante para el diseño de futuras actuaciones. Los resultados indican que una densidad aproximada de diez plantas por metro cuadrado constituye un umbral adecuado para garantizar la persistencia inicial de la restauración. Densidades inferiores también permitieron la supervivencia de individuos, lo que demuestra la elevada idoneidad ambiental del emplazamiento receptor, aunque probablemente requieran un mayor tiempo para alcanzar la estructura y funcionalidad propias de una pradera consolidada.

Un aspecto especialmente destacable de este trabajo es la integración de criterios genéticos y ecológicos en el diseño de las actuaciones de restauración. La selección de una población donadora con elevada diversidad genética, junto con la restauración de una población receptora identificada como prioritaria para mantener la conectividad regional, constituye un enfoque innovador que maximiza simultáneamente el potencial adaptativo de las poblaciones restauradas y la funcionalidad ecológica de la intervención.

Por otra parte, la literatura científica disponible hasta la fecha señala que la técnica más utilizada y con mejores resultados para el trasplante de *Cymodocea nodosa* es el empleo de cepellones (Curiel et al., 2021; Da Ros et al., 2021; Sfriso et al., 2023). Sin embargo, este método presenta importantes limitaciones, ya que resulta más agresivo para la pradera donadora al provocar una mayor alteración del sustrato y requerir la extracción de un mayor número de plantas. Además, el uso de cepellones dificulta la logística de las actuaciones y limita su aplicación a gran escala.



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Fondos Europeos



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Pleamar



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

En este contexto, haber demostrado la viabilidad del empleo de rizomas desnudos sin necesidad de enterrar para la restauración supone un avance significativo, ya que abre la posibilidad de escalar este tipo de actuaciones mediante una técnica más económica, operativamente más sencilla y con un menor impacto sobre la pradera donadora.

Conclusiones

Los resultados permiten establecer recomendaciones prácticas para futuras actuaciones de restauración de *Cymodocea nodosa* en el Mediterráneo occidental.

1. La utilización de lastres enterrados constituye actualmente la técnica más eficaz para maximizar el establecimiento de los trasplantes.
2. Los lastres sin enterrar representan una alternativa viable para el escalado operativo de la restauración debido a su elevada eficacia y menor complejidad de instalación.
3. La utilización de mallas no se recomienda para esta especie debido a las limitaciones físicas que impone sobre el crecimiento de hojas y rizomas (al menos con el material plástico utilizado).
4. Una densidad inicial cercana a diez plantas por metro cuadrado constituye el valor mínimo recomendable para garantizar una densidad de haces considerable tras el primer año.
5. La identificación poblaciones donadoras adecuadas y la optimización experimental de las técnicas de restauración proporciona un marco de trabajo robusto para desarrollar programas de restauración de *C. nodosa* a gran escala.



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Fondos Europeos



Referencias

- Ballesteros, E., Torras, X., Pinedo, S., García, M., Mangialajo, L., de Torres, M., 2007. A new methodology based on littoral community cartography dominated by macroalgae for the implementation of the European Water Framework Directive. *Mar. Pollut. Bull.* 55, 172–180. doi:10.1016/j.marpolbul.2006.08.038
- Curiel, D., Pavelić, S.K., Kovačev, A., Miotti, C., Rismondo, A., 2021. Marine seagrasses transplantation in confined and coastal adriatic environments: Methods and results. *Water (Switzerland)* 13. doi:10.3390/w13162289
- Da Ros, Z., Corinaldesi, C., Dell’Anno, A., Gambi, C., Torsani, F., Danovaro, R., 2021. Restoration of *Cymodocea nodosa* seagrass meadows: efficiency and ecological implications. *Restor. Ecol.* 29, 1–11. doi:10.1111/rec.13313
- de la Morena, N.G., Morrison, L., Haro, S., Y, J.L., Korbee, N., Pansini, A., Cid-iturbe, A., Becarriero, P., Bermejo, R., 2026. Unlocking seagrass recovery : a global review for scalable and successful *Zostera* restoration 410. doi:10.1016/j.jenvman.2026.130094
- do Amaral Camara Lima, M., Bergamo, T.F., Ward, R.D., Joyce, C.B., 2023. A review of seagrass ecosystem services: providing nature-based solutions for a changing world. *Hydrobiologia* 850, 2655–2670. doi:10.1007/s10750-023-05244-0
- Hofmann, L.C., Brakel, J., Bartsch, I., Montecinos, G., Bermejo, R., Parente, M.I., Creis, E., Clerck, D., Jacquemin, B., Knoop, J., Lorenz, M., Machado, P., Martins, N., Orfanidis, S., Probert, I., Menendez, C.R., Ross, M., Rautenberger, R., Schiller, J., Serrao, E.A., Steinhagen, S., Sulpice, R., Valero, M., Hofmann, L.C., Brakel, J., Bartsch, I., Montecinos, G., Bermejo, R., Parente, M.I., Creis, E., Clerck, O. De, Knoop, J., Lorenz, M., Machado, L.P., Martins, N., Probert, I., Menendez, C.R., Ross, M., Rautenberger, R., Schiller, J., Serrao, E.A., Steinhagen, S., Sulpice, R., Valero, M., Wichard, T., 2025. A European biobanking strategy for safeguarding macroalgal genetic material to ensure food security , biosecurity and conservation of biodiversity. *Eur. J. Phycol.* 00, 1–24. doi:10.1080/09670262.2025.2480569
- Santos, C.B.D.L., Krause-Jensen, D., Alcoverro, T., Marbà, N., Duarte, C.M., van Katwijk, M.M., Pérez, M., Romero, J., Sánchez-Lizaso, J.L., Roca, G., Jankowska, E., Pérez-Lloréns, J.L., Fournier, J., Montefalcone, M., Pergent, G., Ruiz, J.M., Cabaço, S., Cook, K., Wilkes, R.J., Moy, F.E., Muñoz-Ramos Trayter, G., Seglar Arañó, X., Jong, D.J. De, Fernández-Torquemada, Y., Auby, I., Vergara, J.J., Santos, R., 2019. Recent trend reversal for declining

European seagrass meadows. Nat. Commun. 1–8. doi:10.1038/s41467-019-11340-4

Sfriso, A.A., Sciuto, K., Mistri, M., Munari, C., Juhmani, A.S., Buosi, A., Tomio, Y., Sfriso, A., 2023.

Where, when, how and what seagrass to transplant for long lasting results in transitional water systems: the cases of *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina*, *Zostera noltei* and *Ruppia cirrhosa*. Front. Mar. Sci. 10. doi:10.3389/fmars.2023.1299428

Waycott, M., Duarte, C.M., Carruthers, T.J.B., Orth, R.J., Dennison, W.C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J.W., Heck, K.L., Hughes, a R., Kendrick, G. a, Kenworthy, W.J., Short, F.T., Williams, S.L., 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 106, 12377–81. doi:10.1073/pnas.0905620106

“Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad de la persona o personas que ostenten su autoría y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto”.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa Pleamar, y se cofinancia por la Unión Europea por el FEMPA (Fondo Europeo Marítimo, de Pesca y de Acuicultura)”.