

GUÍA PRÁCTICA
(2ª Edición)

El plantado de
Posidonia oceanica

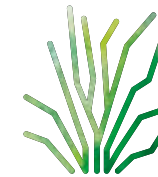


Técnica desarrollada
en los proyectos
del Bosque marino
de Redeia



GUÍA PRÁCTICA
(2ª Edición)

El plantado de
Posidonia oceanica



Técnica desarrollada
en los proyectos
del Bosque marino
de Redeia

CAPÍTULO 1
Introducción

—
4

CAPÍTULO 2
Técnica
de plantado

—
16

CAPÍTULO 3
Legislación
aplicable
y solicitud
de permisos

—
38

CAPÍTULO 4
Conclusiones

—
42

//
Bibliografía

—
46

ANEXO
El plantado
de *Posidonia*
oceanica
mediante
plántulas

—
52

CAPÍTULO

1

Introducción

Entendemos por restauraciones activas a intervenciones que facilitan el proceso de recuperación natural de un ecosistema tras haber sido degradado, dañado o destruido.

La restauración ecológica es una actividad que pretende asistir al restablecimiento de un ecosistema que ha sido dañando, degradado o destruido (Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica, 2004). El objetivo es un reto importante, pues los ecosistemas son complejos en su estructura y funcionamiento y, además, están en interacción continua con la acción humana, lo que añade niveles adicionales de complejidad. La restauración ecológica puede requerir, por tanto, conocimientos y técnicas no solo del campo de las ciencias naturales (biología, botánica, zoología, ecología, biodiversidad, ecotoxicología...) sino también de las ciencias de la Tierra (hidrología, geomorfología, oceanografía...), ingenierías y de las ciencias sociales (economía, sociología, demografía, historia...). La restauración ecológica se rige por una serie de principios de actuación (Gann *et al.*, 2019; Mola y Balaguer, 2024) que reflejan la complejidad del proceso.

Principios de la restauración ecológica (Gann *et al.*, 2019; Mola y Balaguer, 2024):

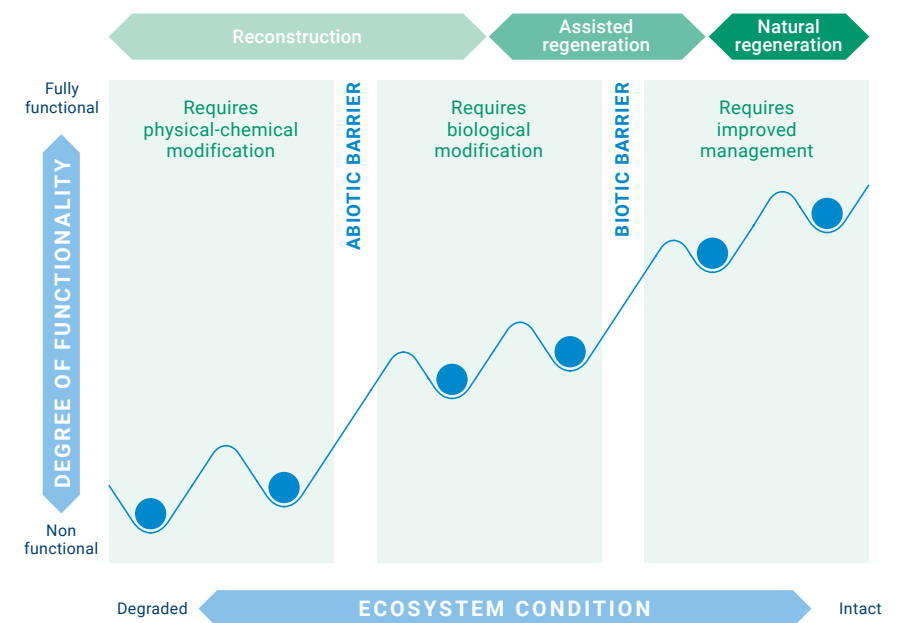
- Involucra a las partes interesadas.
- Se basa en muchos tipos de conocimiento.
- Se basa en ecosistemas de referencia nativos, considerando los cambios ambientales.
- Afianza los procesos que favorecen la recuperación natural de los ecosistemas.
- La recuperación de los ecosistemas se evalúa en función de objetivos utilizando indicadores cuantificables.
- Busca el máximo nivel de recuperación posible.
- Cuando se aplica a mayor escala, incrementa y acumula valor.
- Es parte del continuo de actividades que contribuyen a mejorar el entorno.
- Las causas de degradación de los ecosistemas deben ser identificadas y gestionadas previamente a la restauración.
- Contribuye a la consecución de los objetivos de acuerdos internacionales (p. ej., Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible).

La rápida degradación de los ecosistemas ha multiplicado el número de proyectos de restauración, sin embargo, la mayor parte de ellos se ejecutan en ecosistemas terrestres por lo que todavía hay mucha incertidumbre sobre la viabilidad y conveniencia de desarrollar proyectos de restauración de ecosistemas marinos.

Un proyecto de restauración puede ser activo cuando implica técnicas como la introducción de organismos, la reconstrucción física del hábitat o la construcción de hábitats artificiales, o bien pasivo cuando se centra en la eliminación del impacto que impide la recuperación natural del ecosistema objeto del proyecto. El objetivo debe ser realizar una o varias actuaciones según el estado del ecosistema orientadas a mejorar su condición y la prevalencia de los procesos naturales en su recuperación.

Modelo conceptual de la degradación de ecosistemas y opciones de respuesta desde la restauración

(Fuente: *International standards for the practice of ecological restoration. Society for Ecological Restoration, 2016*)



La rápida degradación de los ecosistemas ha multiplicado el número de proyectos de restauración, sin embargo, la mayor parte de ellos se ejecutan en ecosistemas terrestres (Blignaut *et al.*, 2013) por lo que todavía hay mucha incertidumbre sobre la viabilidad y conveniencia de desarrollar proyectos de restauración de ecosistemas marinos (Bayraktarov *et al.*, 2015). Además, los ecosistemas marinos son normalmente poco visibles para la ciudadanía en general, lo que implica que disminuye la

percepción de su degradación y la presión social por recuperarlos. No obstante, iniciativas internacionales como la Década de las Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas (<https://www.decadeonrestoration.org/es>) o la aprobación del Reglamento Europeo para la Restauración de la Naturaleza (UE) 2024/1991 han puesto el foco en la restauración, también, de los ecosistemas marinos. Arrecifes de coral, bosques de macroalgas o praderas de angiospermas marinas son ecosistemas marinos de alto valor por los servicios ecosistémicos que proporcionan. Están formados en muchos casos por especies de crecimiento lento y baja capacidad de recuperación natural y requieren de una intervención activa para facilitar su recuperación (Viejo *et al.*, 2024).

El coste de la restauración en ecosistemas marinos es superior al de los proyectos de restauración en humedales o ecosistemas terrestres, con grandes variaciones según el nivel de desarrollo económico del área de intervención (De Groot *et al.* 2013, Bayraktarov *et al.* 2016). Valorado en términos económicos, el coste-beneficio de las restauraciones de ecosistemas marinos, si bien más baja que en ecosistemas terrestres, se mantiene positiva por el alto valor en servicios ecosistémicos de los hábitats objetivo (De Groot *et al.*, 2013). Praderas de angiospermas marinas, bosques de macroalgas sobre sustratos duros o blandos manglares, bancos de bivalvos y arrecifes de coral son los ecosistemas marinos que concentran las intervenciones de restauración marina (Kraufvelin *et al.* 2025, Bayraktarov *et al.* 2016). La restauración de praderas de angiospermas marinas se encuentra entre las más costosas según la revisión de Bayraktarov *et al.* (2016), con un coste medio estimado por hectárea plantada de 383.672 US \$, sin diferenciar entre especies de angiospermas. Datos más recientes sitúan el coste entre 120.000-250.000 euros por hectárea de fragmentos de planta adulta de *Zostera marina* replantada. Esta cantidad es equiparable al coste de proyectos de restauración de otros ecosistemas marinos (Kraufvelin *et al.*, 2025). Respecto al éxito de los proyectos, la supervivencia de los trasplantes es la medida usada con más frecuencia para evaluarlo. Los resultados de supervivencia que se han venido obteniendo en restauración de praderas se encuentran entre los más bajos de los proyectos de restauración marina, con una media del 38% de supervivencia del material plantado (Bayraktarov *et al.*, 2016). Solo un 56 % de las restauraciones de praderas marinas de angiospermas arrojan supervivencias superiores al 50%. El riesgo de fracaso (p.ej.,

La importancia de las praderas en el control de la erosión costera, el secuestro de carbono o la depuración natural del agua, entre otros, hace que estos ecosistemas se encuentren entre los sistemas costeros de mayor interés para la restauración.

una supervivencia del 0%) en restauraciones de angiospermas marinas es el más alto entre los ecosistemas marinos (17,6 %). La causa de fracaso es principalmente debida a una selección del lugar de intervención poco rigurosa (Danovaro *et al.*, 2025). Sin embargo, la importancia de las praderas en el control de la erosión costera, el secuestro de carbono o la depuración natural del agua, entre otros, hace que estos ecosistemas se encuentren entre los sistemas costeros de mayor interés para la restauración (Barbier *et al.*, 2011; Greiner *et al.*, 2013).

En consecuencia, la restauración de praderas de angiospermas marinas es un ámbito de investigación, desarrollo e innovación activo que tiene por delante un amplio margen de mejora (Tan *et al.*, 2020; Pansini *et al.*, 2022; Pergent-Martini *et al.*, 2024). Las líneas de trabajo más deseables en restauración de praderas de angiospermas marinas son las opciones denominadas de regeneración asistida, es decir, aquellas orientadas a ayudar a la reparación del ecosistema mediante el refuerzo de los procesos de recuperación que se dan de manera natural. El replantado de material descartado para el reclutamiento natural forma parte de este tipo de actuaciones.

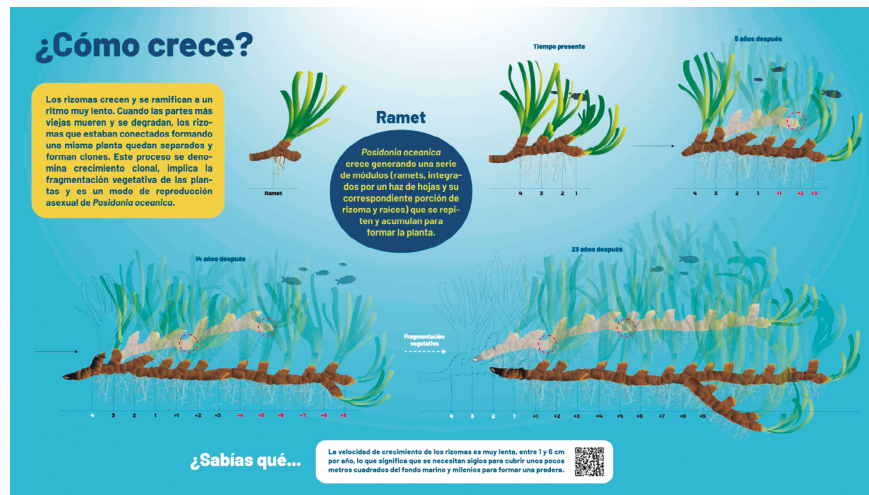
Las angiospermas marinas disponen de dos mecanismos de reproducción, vegetativo y sexual, que producen dos tipos de material de plantado para la restauración: fragmentos de rizoma y semillas o plántulas, respectivamente; cada material tiene comportamientos y necesidades diferentes. La arquitectura básica de las angiospermas marinas es modular o clonal. Los clones cuentan con haces foliares constituidos por varias hojas y con estructuras responsables del anclaje al sustrato, las raíces y el rizoma, órgano que porta los haces. Los rizomas pueden tener el hábito de crecimiento vertical u horizontal. Según la especie de angiosperma marina dispondrá de ambos tipos o sólo de rizomas de crecimiento horizontal (Hemminga y Duarte, 2000; Kuo y Hartog, 2006).

La reproducción vegetativa consiste en la formación de clones mediante la elongación y ramificación de los rizomas horizontales, la formación de nuevos haces foliares en ellos y la fragmentación de los rizomas como consecuencia de la muerte de las partes más viejas para formar los clones. Este proceso, también conocido como 'fragmentación vegetativa', representa el principal mecanismo responsable del mantenimiento de las praderas y su expansión (Hemminga y Duarte 2000). El oleaje

Las angiospermas marinas disponen de dos mecanismos de reproducción, vegetativo y sexual, que producen dos tipos de material de plantado para la restauración: fragmentos de rizoma y semillas o plántulas, respectivamente; cada material tiene comportamientos y necesidades diferentes.

Secuencia del crecimiento de un rizoma de *Posidonia oceanica* ilustrando el proceso de fragmentación vegetativa

Fuente: https://peopleartfactory.com/g/posidonia_oceanica

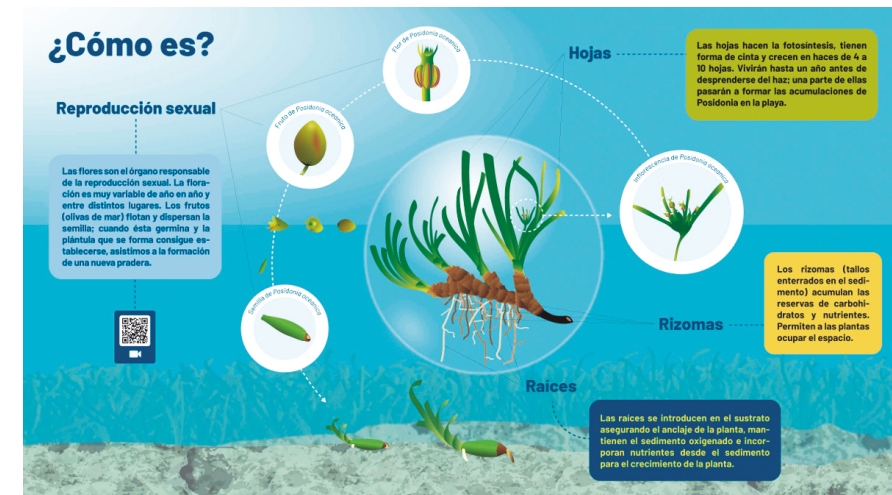


puede romper los rizomas y producir fragmentos con uno o varios haces foliares y raíces que pueden dispersar a otros lugares y que son aptos para el plantado (Balestri *et al.*, 2011).

El segundo mecanismo reproductor de las angiospermas marinas es la reproducción sexual, mediante la cual se producen nuevos individuos aptos para el plantado, las plántulas. Éstas provienen de la germinación de una semilla procedente del fruto resultante de una flor polinizada. Este mecanismo introduce variabilidad genética en la pradera y permite la colonización de nuevas áreas mediante la dispersión de frutos, semillas o plántulas por las corrientes. La producción de semillas ha sido constatada en las 58 especies de angiospermas marinas identificadas y entre ellas encontramos especies cuyas semillas tienen un período de latencia y otras como las del género *Posidonia* cuya germinación comienza en el momento en que la semilla se desprende del fruto (Orth *et al.*, 2000).

Ciclo vital de *Posidonia oceanica* ilustrando la reproducción sexual

Fuente: https://peopleartfactory.com/g/posidonia_oceanica



La restauración de praderas de angiospermas marinas incluye el trasplante o plantado de fragmentos de rizoma de planta adulta (con o sin sedimento) o de productos de la reproducción sexual, semillas o plántula. En ambos casos son propágulos producidos de forma natural, obtenidos de una pradera donante o colectados durante su fase de dispersión en el medio marino. Hasta el momento no se han desarrollado técnicas de producción ex situ para estas especies. El éxito de los trasplantes se cuantifica generalmente como supervivencia de los ítems plantados, si bien la valoración del éxito de un proyecto de restauración debe considerar la recuperación de la diversidad y funcionalidad del ecosistema objetivo (Ruiz-Jaén y Aide, 2005). La restauración de praderas de angiospermas marinas, entendiendo como tal la recuperación de la biodiversidad, del funcionamiento ecológico y de los servicios ecosistémicos, es una línea de investigación en expansión. El ritmo de recuperación de funcionalidad tras una restauración parece depender del éxito de la replantación, de la antigüedad de la intervención y del ritmo de crecimiento de la especie replantada (Orth *et al.*, 2020; Beheshti *et al.*, 2022; Castro-Fernández *et al.*, 2025).

1.1 Praderas de *Posidonia oceanica*

Posidonia oceanica es una angiosperma marina endémica del mar Mediterráneo con una baja capacidad de recuperación natural debido al lento crecimiento de sus rizomas y una floración que no ocurre todos los años y que, en general, es escasa (Marbà y Duarte, 1998; Díaz-Almela *et al.*, 2006). La recuperación natural de una pradera tras una perturbación requiere décadas o siglos (Kendrick *et al.*, 2005). Por este motivo, la recuperación de una pradera degradada generalmente requiere una restauración activa, que incluye el plantado de *P. oceanica* en la zona de intervención. El objetivo de la restauración de una pradera de *P. oceanica* debe ser recuperar su estructura y funcionamiento ecológico y los servicios ecosistémicos asociados.

Servicios ecosistémicos proporcionados por las praderas de *Posidonia oceanica*

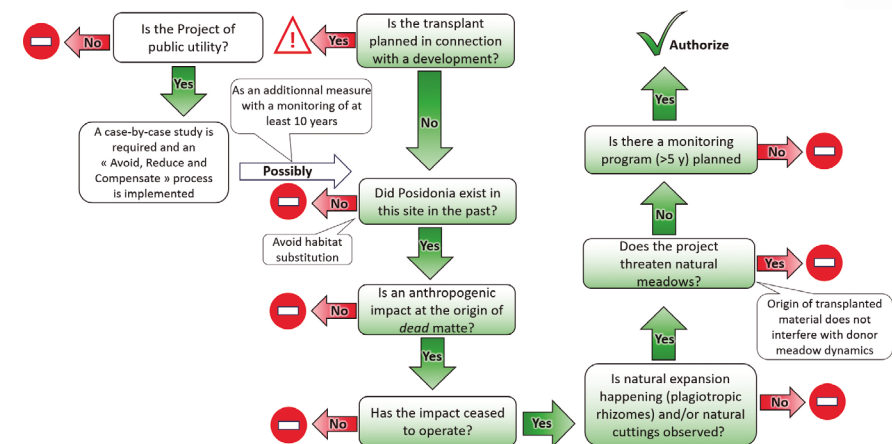
Fuente: https://peopleartfactory.com/g/posidonia_oceanica



A día de hoy las técnicas de plantado de *Posidonia oceanica* están en fase de desarrollo y perfeccionamiento que permita su aplicación a mayor escala. El grueso de los proyectos sobre restauración de *P. oceanica* se han desarrollado considerando la viabilidad del material plantado y la implementación de múltiples técnicas de plantado, casi siempre a pequeña escala. No es el objetivo de esta guía hacer una recopilación exhaustiva de las distintas técnicas ensayadas ni compararlas para identificar las más exitosas. En los últimos años, el interés en la restaura-

ción de las praderas de *P. oceanica* ha aumentado significativamente (Pansini *et al.*, 2022) y se ha publicado toda una serie de trabajos en los que se ha recopilado los resultados de múltiples proyectos que permite extraer conclusiones sobre las técnicas más efectivas, las lagunas de conocimiento aún existentes y los principios generales que deben seguir los proyectos de restauración (Bacci y Laporta, 2021; Laporta y Bacci, 2021; Boudouresque *et al.*, 2021; Terrados *et al.*, 2021; Pansini *et al.*, 2022; Pergent-Martini *et al.*, 2024; Pansini *et al.*, 2025).

Los principios generales que debe seguir un proyecto de restauración de *Posidonia oceanica* están resumidos en la Fig. 2 de Pergent-Martini *et al.* (2024):



La identificación del lugar apropiado para el plantado, que debe acreditar la presencia previa de *P. oceanica* y que las condiciones ambientales actuales son favorables para el establecimiento y desarrollo de la especie, es un aspecto esencial. Sin la eliminación de las causas que han motivado la pérdida de la pradera, un proyecto de restauración no tendrá éxito (Pansini *et al.*, 2022; Pergent-Martini *et al.*, 2024; Pansini *et al.*, 2025). La mata muerta de *P. oceanica* es el sustrato en el que las plantaciones tienen mejores resultados y, además, como indicador inequívoco de la presencia previa de la especie, garantiza que el plantado estaría dentro de una intervención de restauración y no de creación de un nuevo hábitat.

Más específicamente sobre la técnica de plantado, el material más utilizado por su mayor disponibilidad y mejor rendimiento son los fragmentos de rizoma con un ápice de crecimiento horizontal y un mínimo de dos haces verticales. No hay evidencia clara de que fragmentos extraídos de una pradera donante den mejores resultados que aquellos que se encuentran sueltos, a la deriva en el fondo marino (Pergent-Martini *et al.*, 2024 vs Pansini *et al.*, 2025) aunque en el segundo caso se evita el daño a una pradera donante. De hecho, fragmentos de ambos orígenes produjeron resultados similares 36 meses después de haber sido plantados (Boulenger *et al.*, 2025). Sí parece que la colecta de fragmentos a una profundidad inferior o igual a la de plantado y en lugares alejados al del plantado se asocia a un mayor éxito de la plantación (Pansini *et al.*, 2022; Pansini *et al.*, 2025). Con respecto al anclaje de los fragmentos plantados, tanto sistemas individuales (piquetas o estribos metálicos) como aquellos, modulares, que permiten el anclaje de grupos de fragmentos (rejillas, marcos con rejillas, esteras biodegradables) dan buenos resultados si se usan en mata muerta de *P. oceanica* (Pansini *et al.*, 2022; Pergent-Martini *et al.*, 2024; Pansini *et al.*, 2025).

El uso de semillas o plántulas en proyectos de restauración de *Posidonia oceanica* ha sido mucho menor que el de fragmentos de rizoma debido a su baja disponibilidad y por ello la técnica de plantado descrita en esta guía no lo contempla. No obstante, se incluye un anexo con las principales recomendaciones a seguir en el plantado de este material si estuviera disponible.

Esta segunda edición de la “Guía Práctica. El plantado de *Posidonia oceanica* (2018)” incorpora los conocimientos y experiencia adquiridos por los autores desde la publicación de la anterior edición y está dirigida a presentar con detalle la técnica de plantado utilizada en el proyecto “El Bosque Marino de Red Eléctrica”, en adelante “Bosque Marino”, un proyecto de restauración activa de *P. oceanica* realizado en la bahía de Pollença (Mallorca) entre 2018 y 2025 por Red Eléctrica y el Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA, CSIC-UIB) con el apoyo y colaboración de la Conselleria de Medi Ambient i Territori (ahora de Agricultura, Pesca y Medi Natural) del Govern de les Illes Balears y el Aeródromo Militar de Pollença. Esta técnica de plantado ha tenido hasta el presente resultados muy positivos y ha sido y está siendo utilizada en otros proyectos de restauración realizados en España.

A diferencia de la edición anterior, esta “Guía” no incluye estimas del coste de la técnica de plantado porque depende de diversos factores (lugar de plantado, superficie a plantar, diseño de la plantación y densidad de plantado, infraestructuras disponibles, tipo de personal que vaya a realizar las distintas tareas, etc.) que hacen muy difícil proponer unas cantidades o rangos de coste concretos. Comparativamente, las tareas de colecta de fragmentos y el plantado en sí de los mismos requieren menos tiempo que otras como la caracterización de los fragmentos, su atado a los estribos o el seguimiento de las parcelas o superficies plantadas, especialmente si éste incluye parámetros adicionales a la supervivencia de los fragmentos plantados.

Para asegurar el uso correcto de esta guía se debe resaltar que durante la ejecución de un proyecto de replantación de *Posidonia oceanica* se deben considerar los estándares internacionales sobre restauración ecológica descritos anteriormente y no poner en marcha proyectos de replantación en situaciones en las que la amenaza o el impacto sobre la pradera siga presente, así como no proponer la plantación en áreas donde no hubiera pradera previamente (Gann *et al.*, 2019). Los principios generales que deben cumplir los proyectos de restauración de *P. oceanica* y las recomendaciones sobre las técnicas de plantado y monitorización de las plantaciones de esta especie que hacen investigadores del mar Mediterráneo con experiencia en el plantado de la especie están expuestos en Pergent-Martini *et al.* (2024). En ningún caso se puede considerar una acción de restauración como argumento para relajar las medidas de protección y conservación sobre las praderas. No se debe olvidar que la opción más adecuada para la conservación de los ecosistemas, y muy especialmente de aquellos que se encuentran protegidos bajo alguna figura legal como las praderas de *P. oceanica* o especies particularmente sensibles a las perturbaciones, como también ocurre con *P. oceanica*, pasa por la combinación de conservación, reduciendo los impactos, y la restauración (Possingham *et al.*, 2015).

No hay evidencia clara de que fragmentos extraídos de una pradera donante den mejores resultados que aquellos que se encuentran sueltos, a la deriva en el fondo marino.

En ningún caso se puede considerar una acción de restauración como argumento para relajar las medidas de protección y conservación sobre las praderas.

CAPÍTULO

2

**Técnica
de plantado**

Entre las variables evaluadas en las técnicas de replantación de *Posidonia oceanica* se encuentran los tipos de sustrato, el uso de anclajes artificiales o la disponibilidad de nutrientes en los primeros años de implantación.

A continuación, se describen detalladamente las etapas de trabajo necesarias para poner en práctica la técnica de plantado que incluyen:

- La selección y caracterización del área a replantar.
- El diseño de la plantación.
- La identificación de las zonas donde se va a coleccionar el material que se replantará.
- La colecta de dicho material y su mantenimiento hasta el plantado.
- La preparación para el plantado.
- El transporte del material a la zona de intervención y los trabajos de plantado.
- La caracterización y seguimiento de la plantación.

Es necesario hacer un análisis de los aspectos logísticos relacionados con la ejecución de los trabajos en todas estas fases para poder seleccionar las alternativas más favorables en función de los recursos de todo tipo disponibles.

2.1 Selección y caracterización del área a replantar

La zona del fondo marino a replantar debe cumplir los requisitos generales descritos en Pergent-Martini *et al.* (2024). Se debe conocer la historia del área a restaurar, constatar la presencia en el pasado de pradera en la misma (un excelente indicador de ello es que el sustrato de la zona sea mata muerta de *P. oceanica*) e identificar las causas que ocasionaron la afectación sobre la pradera objeto de la replantación. No tiene sentido iniciar un proyecto de estas características si las causas de la afección siguen presentes o lo volverán a estar en el futuro; tampoco lo tiene si las condiciones del área no se han recuperado tras la afección. El tipo de comunidad bentónica presente en el entorno (por ejemplo, la presencia de otras angiospermas marinas como *Cymodocea nodosa*) puede servir de indicador de calidad del agua y disponibilidad de luz suficientes. La presencia o ausencia de pradera o parches de la misma en buen estado en las proximidades, o la presencia de clones o reclutas naturales de

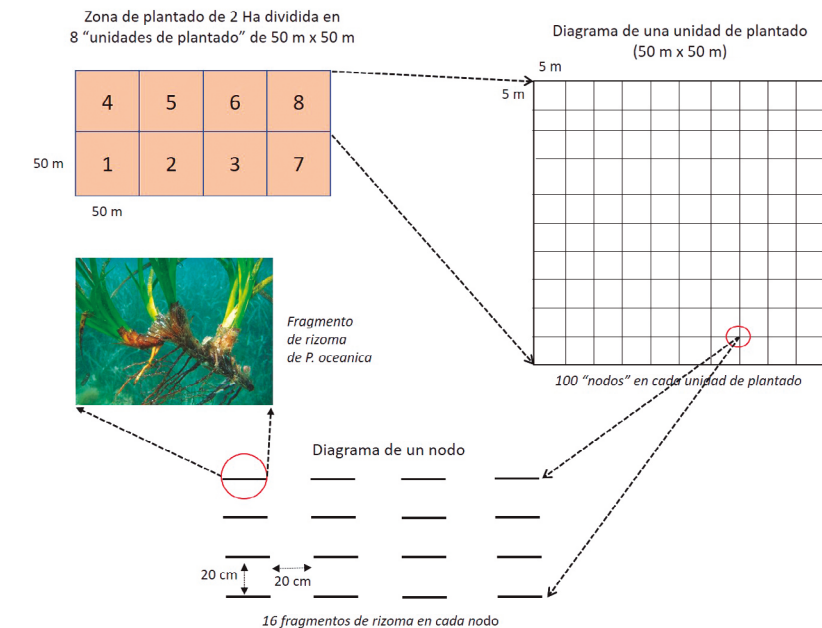
De cara a replantar en un área determinada, un excelente indicador de la presencia en el pasado de praderas de posidonia, es que el sustrato de la zona sea mata muerta de *Posidonia oceanica*.

P. oceanica en la zona a replantar son indicadores de la adecuación del entorno para el desarrollo de *P. oceanica*. Se recomienda acompañar estas observaciones con medidas directas de la disponibilidad de luz (radiación fotosintéticamente activa en el fondo marino) y caracterización de los sedimentos (contenido en materia orgánica y granulometría) en la zona a replantar. Si la información disponible sobre la zona a replantar no es suficiente para establecer si las condiciones ambientales son apropiadas una opción es realizar una plantación de pequeña dimensión, un piloto de corta duración (2-3 años) orientado a evaluar si el material plantado en dicha zona sería viable.

2.2 Diseño de la plantación

El plantado de fragmentos debe hacerse sobre mata muerta de *Posidonia oceanica*, cumplir este requisito asegura que con el plantado estamos realizando una intervención de restauración de una pradera dañada. El diseño del plantado, es decir, cómo se van a distribuir espacialmente los fragmentos en el área de intervención, depende, entre otros, de las características de la zona a plantar y de los objetivos del proyecto de restauración.

Diseño del "Bosque marino de Redeia" en la bahía de Pollença, Mallorca



Si el área de plantado es una superficie extensa de un fondo marino constituido en su totalidad por mata muerta de *P. oceanica*, un diseño que facilita la monitorización es distribuir las parcelas de fragmentos de forma regular cubriendo toda el área siguiendo un patrón cuadrículado. En el proyecto "Bosque Marino" en la bahía de Pollença, en Mallorca, en una zona rectangular de 2 ha de superficie, se dispusieron 800 parcelas/nodos de 1 m² separadas 5 m entre sí. Al ser un patrón regular cada parcela puede ser ubicada mediante las coordenadas de un sistema X,Y. La separación de 5 m entre parcelas fue un compromiso entre el objetivo de superficie del fondo marino a plantar, la cantidad de fragmentos disponibles para el plantado, los recursos económicos y humanos disponibles para ejecutar el proyecto y objetivos relacionados con la monitorización de la plantación y las investigaciones que se puedan hacer en el futuro en la zona, a saber 1) poder hacer un seguimiento individualizado de algunos fragmentos y 2) establecer una serie de núcleos de formación de pradera que con su crecimiento a lo largo del tiempo (décadas) pudieran fundirse y cubrir completamente toda el área de plantado. Las parcelas pueden ser ubicadas con una menor distancia entre ellas (3-4 m).

Parcela de fragmentos de Posidonia oceanica plantada en el proyecto "Bosque Marino" (Marzo, 2018).



Si el área de plantado está formada por una o varias zonas de mata muerta de *P. oceanica* pero de dimensiones muy inferiores a la descrita (por ejemplo, aquellas creadas por fondeo de embarcaciones, borneo de una boya de amarre en superficie,

obras costeras, etc.) un posible diseño de plantado podría ser cubrir completamente la zona o zonas con fragmentos plantados sin que estén agrupados en parcelas sino a una distancia constante entre ellos, entre 0,1 m y 0,5 m. Este diseño permite poblar zonas con un gran número de fragmentos, pero requiere una gran disponibilidad de fragmentos para plantar y, por tanto, es aplicable en superficies pequeñas (< 100 m²).

El plantado de fragmentos agrupados en parcelas o nodos está asociado a objetivos de monitorización del resultado de la plantación y a las posibles investigaciones o estudios que puedan realizarse en la zona en el futuro. Una parte de las parcelas o nodos plantados puede ser monitorizada en el tiempo para evaluar en cada una de ellas variables como la tasa de supervivencia de los fragmentos o su tamaño.



Parcelas de fragmentos de Posidonia oceanica recién plantados en mata. En el fondo de la imagen de la dcha. se observan otras parcelas plantadas. Fuente: de los autores y G. Pergent.

Cuando se plantan los fragmentos agrupados en parcelas la distancia entre ellos debe asegurar que los estribos no se obstaculicen y permitir un seguimiento individualizado de cada fragmento (si ese es uno de los objetivos de monitorización de la plantación). En el "Bosque Marino" la distancia entre fragmentos fue de 20 centímetros. Trabajos previos sugieren un aumento de la supervivencia a distancias de 5 centímetros entre ejemplares (Molenaar y Meinesz, 1995) si bien plantaciones a distancias de 20 centímetros entre fragmentos también ofrecen buenos resultados de supervivencia. La supervivencia de los fragmentos en las parcelas del "Bosque Marino" es superior al 80% transcurridos 6 años desde el plantado.

Como se indicó anteriormente, la disposición de las parcelas plantadas puede ser en cuadrícula o en línea o líneas si la for-

ma de la zona a plantar no es regular. Para facilitar el seguimiento se recomienda marcar con barras metálicas y boyas cada parcela plantada que se vaya a monitorizar. Cada parcela además debe ir identificada mediante etiqueta numerada u otro código acordado. Si el diseño de la plantación no incluye parcelas/nodos sino que se han plantado fragmentos de forma regular en superficies extensas habrá que definir y marcar con barras metálicas y boyas las superficies concretas que serán objeto del seguimiento.

También es conveniente evitar acercarse a menos de 1 m del borde de una pradera existente al plantar los fragmentos o ubicar las parcelas. Estos bordes son zonas de acumulación natural de material derivante que puede interferir con el desarrollo del material plantado. Por la misma razón, hay que evitar las zonas situadas a un nivel inferior con respecto a su entorno inmediato, pues serán zonas de acumulación de material derivante que puede cubrir los fragmentos plantados. Los márgenes de una zona de mata muerta, especialmente si muestran indicios de erosión o disgregación de la propia mata también deben ser evitados.

2.3 Identificación de las zonas de colecta del material para la plantación

Se recomienda como método de obtención del material de plantado la colecta de fragmentos a la deriva generados por procesos naturales, como tormentas.

Las praderas de *Posidonia oceanica* pueden generar paisajes diversos, desde praderas homogéneas con batimetrías suaves, praderas de colina, praderas de microatolones o praderas atigradas, entre otros (Boudouresque *et al.*, 2006). En todas ellas se intercalan áreas sin *Posidonia* viva –zonas donde el sustrato es mata de *Posidonia*– normalmente cubiertas por una capa de arena de espesor variable y que pueden estar colonizadas, o no, por macrófitos de crecimiento más rápido como otras angiospermas marinas (*Cymodocea nodosa*) o macroalgas (*Caulerpa spp.*). Además, se encuentran zonas en la pradera donde el sustrato es arena, grava o roca. La abundancia y tamaño de estas áreas que no son pradera viva varía según el tipo de pradera. Si están a un nivel relativo inferior con respecto a su entorno, son zonas de acumulación natural de los fragmentos desprendidos por efecto de los tempora-

Al plantar los fragmentos es conveniente evitar las zonas de acumulación natural de material, dado que podría interferir con el desarrollo del material plantado.

La colecta de fragmentos a la deriva generados por procesos naturales, como tormentas, se recomienda como método de obtención del material de plantado.

les y transportados por las corrientes o el oleaje. Los claros en praderas de colina maduras, las praderas muy parcheadas (donde la cobertura no es alta y homogénea) o con márgenes complejos, la base de los escarpes, terrazas o márgenes erosivos de praderas son lugares adecuados para la colecta de fragmentos de rizoma a la deriva sobre el fondo marino generados por procesos naturales como el oleaje asociado a temporales. Es muy conveniente registrar la profundidad y coordenadas de los lugares de colecta y la fecha y número de fragmentos colectados cada día de colecta.

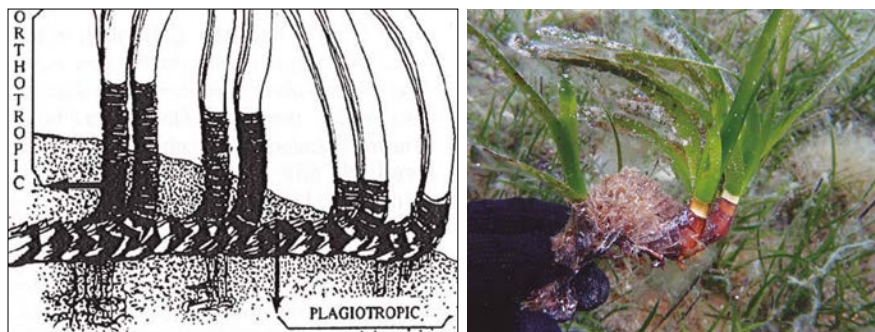
Zona de acumulación de hojas y fragmentos desprendidos de la pradera de *P. oceanica* y buceador buscando fragmentos en una de estas zonas de acumulación natural.



2.4 Colecta y mantenimiento del material para plantar

La técnica de plantado descrita en esta guía utiliza fragmentos de rizoma de *Posidonia oceanica* desprendidos de forma natural de las praderas y acumulados en el fondo marino que deben ser recolectados de forma manual por buceadores. Se debe priorizar la colecta de fragmentos con un ápice con hábito de crecimiento horizontal con al menos dos haces verticales lo que maximizará la supervivencia del material y su desarrollo

posterior (Molenaar *et al.*, 1993; Piazzini *et al.*, 1998; Pansini *et al.*, 2022; Pergent-Martini *et al.*, 2024; Pansini *et al.*, 2025).

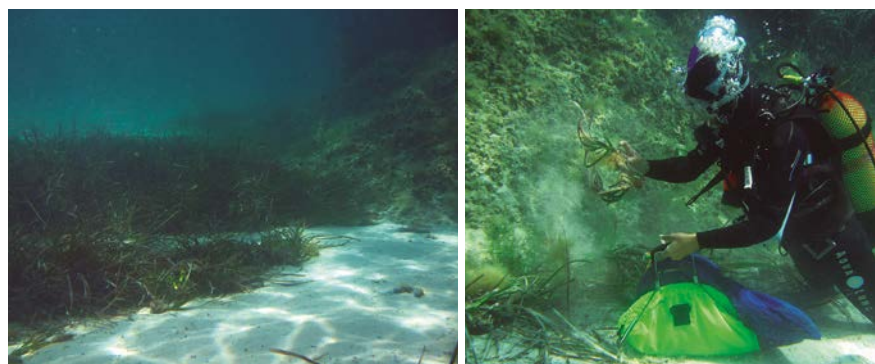


Arriba: esquema de un fragmento de rizoma de *P. oceanica* con un haz foliar apical de hábito de crecimiento horizontal y seis haces foliares verticales tras él (de Molenaar y Meinesz, 1995) e imagen de un fragmento de este tipo recién colectado.

Abajo dcha.: buceador colectando fragmentos a la deriva de *P. oceanica*.

Se recomienda hacer la colecta en invierno cuando la incorporación de nutrientes a través de las hojas es máxima (Alcoverro, Manzanera, y Romero, 2000) si bien también es posible recolectar durante las estaciones de otoño y primavera según el régimen de oleaje y temporales del año. Los fragmentos se van colocando en bolsas de malla, no muy llenas para evitar su aplastamiento, que sirven para su transporte hasta la embarcación o la orilla. Es muy conveniente registrar la fecha y número de fragmentos colectados cada día de colecta.

Las condiciones ambientales que deben tener los fragmentos colectados para su transporte y mantenimiento durante los trabajos de preparación previa al plantado son aquellas que tenían los fragmentos en el lugar de colecta o lo más parecido a ellas. Una forma de conseguirlo es mantener los fragmentos en una estructura sumergida en el propio mar en una zona protegida del



oleaje con buena calidad del agua o disponer de una instalación en tierra o en una embarcación con flujo abierto continuo de agua de mar, que ayude a mantener la salinidad (37 PSU, Fernández-Torquemada y Sánchez-Lizaso, 2013) y temperatura naturales. El mantenimiento de los fragmentos en el mar es la alternativa que requiere menor infraestructura mientras que si la instalación es en una embarcación o en tierra puede requerir el bombeo de agua de mar, la regulación de la temperatura e iluminación en instalaciones más complejas y de mayor consumo de recursos.

Izquierda: instalación en tierra con flujo continuo de agua de mar filtrada, control de temperatura e iluminación para el mantenimiento de fragmentos de *Posidonia oceanica*.



En caso de no disponer de instalaciones en el propio mar o con flujo continuo de agua de mar, la instalación de mantenimiento de los fragmentos puede ser en circuito cerrado de agua marina, en cuyo caso será necesario disponer de un sistema de aireación del agua, controlar y corregir semanalmente la salinidad del agua y renovar completamente el agua de los acuarios o tanques cada mes. La filtración del agua y la aplicación de radiación ultravioleta antes de la entrada en la instalación contribuyen a mantener la calidad del agua y a reducir las proliferaciones de algas y las infecciones. En todo caso se recomienda mantener la temperatura del agua entre los 20 °C y los 22 °C y siempre por debajo de los 24 °C.

Derecha: mantenimiento de fragmentos en el mar en zona protegida con buena calidad del agua.

Condiciones ambientales para el mantenimiento de fragmentos y plántulas de *Posidonia oceanica* entre colecta y plantado

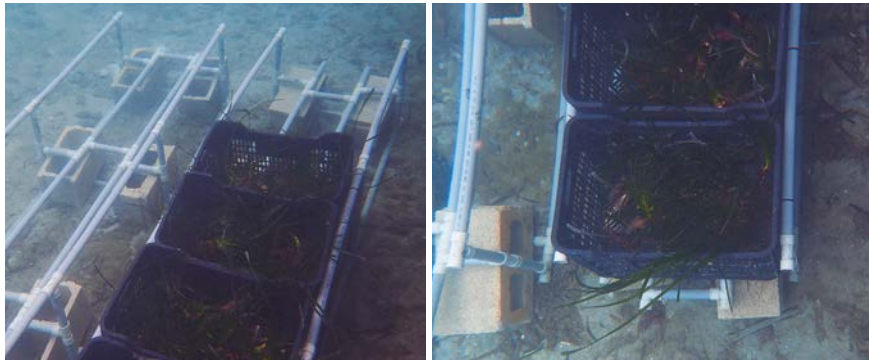
| Tipo de material | Flujo de agua | Temperatura | Salinidad | Luz | Densidad |
|------------------|--------------------|-------------|-----------|--|------------------------------------|
| Fragmentos | Abierto | 20-22 °C | 37 PSU | 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ | 350 haces $\cdot \text{m}^{-2}$ |
| Plántulas | Abierto Cerrado | 20-22 °C | 37 PSU | 64-89 $\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ | 160 plántula $\cdot \text{m}^{-2}$ |

En cualquier instalación, se procurarán unas condiciones de irradiancia en torno a $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al nivel de los fragmentos para asegurar la saturación por luz de la fotosíntesis (Alcoverro *et al.*, 1998; Gacia *et al.*, 2012) con un fotoperiodo (luz/oscuridad) acorde a la época del año o de 12h luz : 12 h oscuridad. Como ya se ha indicado, los fragmentos pueden mantenerse utilizando el sol como fuente de iluminación (Balestri *et al.*, 2011), pero se debe vigilar la subida de la temperatura o un exceso de iluminación. La utilización de una malla sombreadora para evitar la incidencia directa de la luz solar ayuda a mantener las condiciones de salinidad y temperatura y a prevenir una posible fotoinhibición de los fragmentos por exceso de luz.

Dada la corta duración de esta fase de mantenimiento de los fragmentos hasta su plantado no es necesaria la presencia de un sustrato (arena), los fragmentos pueden mantenerse sobre rejillas o bandejas de plástico suspendidas por debajo de la superficie del agua o elevadas sobre el fondo de la instalación. La densidad media de haces foliares a la que deben mantenerse los fragmentos durante esta etapa puede ser de unos 350 haces por metro cuadrado, equivalente a la densidad de haces de una pradera poco densa (Giraud, 1977), y que equivale aproximadamente a 100 fragmentos por metro cuadrado (con 3-4 haces por fragmento).

El control de la fauna introducida en la instalación junto con los fragmentos puede acarrear dificultades, especialmente si la duración de esta fase se prolonga en el tiempo. En caso de proliferaciones de gasterópodos la eliminación manual es posible. Si, por el contrario, se produce un aumento de las abundancias de crustáceos se puede probar a introducir en el medio algún

Instalación para el mantenimiento de fragmentos en el mar, elevada sobre el fondo marino.



predador natural en densidad adecuada al volumen de la instalación, si bien en nuestra experiencia no podemos asegurar su eficacia. Si la instalación está dentro del propio mar la utilización de mallas puede prevenir el acceso de peces herbívoros y la pérdida de los propios fragmentos mientras que si está elevada sobre el fondo se restringe el acceso de macroinvertebrados y el depósito sobre los fragmentos de sedimento resuspendido.

2.5 Preparación del material para plantado

Los fragmentos de rizoma de *Posidonia oceanica* necesitan un sistema de anclaje al sustrato antes de la plantación. Este anclaje les permite permanecer en el lugar de plantado y en una posición correcta sobre fondo para que el haz foliar apical con hábito de crecimiento horizontal pueda crecer sin obstáculos y producir nuevas raíces que fijen el fragmento al sustrato. Si no se proporciona este anclaje, los fragmentos serán dispersados por la dinámica marina y no conseguirán enraizar en el fondo. Con este objetivo, cada fragmento se atará previamente a un estribo de hierro (Verduin y Sinclair, 2013) cubierto con cera de abeja en su parte central para evitar que la corrosión del metal afecte al rizoma. Las medidas de los estribos serán de 20 centímetros en la parte central y 25 centímetros en las patas.

Se recomienda que el sistema de atado de los fragmentos se haga con un medio flexible (e.g. cuerda) mejor que rígido (e.g. brida) para evitar que en los puntos de fricción se produzca rotura del rizoma. Los materiales del sistema de atado deben ser

Izquierda: estribos de hierro usados para anclar individualmente los fragmentos de rizoma de Posidonia oceanica.

Derecha: estribo, cordón y bridas usados para atar el fragmento a él.

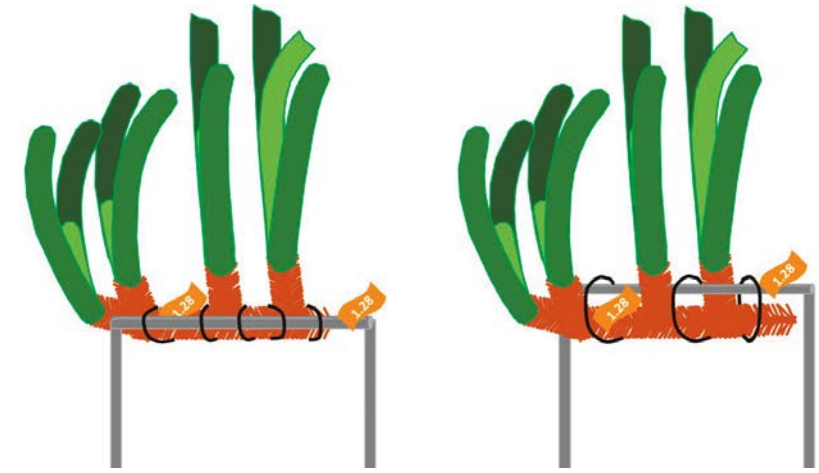


resistentes a la inmersión en agua de mar durante un mínimo de 2 años, tiempo necesario para que un fragmento crezca y produzca nuevas raíces (Balestri *et al.*, 2011; Castejón-Silvo y Terrados, 2021). El atado del fragmento al estribo debe hacerse de forma que el haz foliar apical quede en la mejor posición posible sobre el sustrato una vez el conjunto de estribo y fragmento sea clavado en el fondo marino. Como la morfología de los fragmentos que se va a utilizar será muy diversa, a pesar de contar todos con un mínimo de un haz foliar apical horizontal y dos verticales, el fragmento puede ir atado por encima, por debajo o lateralmente al estribo. En cualquier caso, el haz foliar apical del rizoma, el lugar donde ocurre el crecimiento del rizoma y la producción de nuevos haces foliares y raíces debe quedar en contacto con el sustrato.

Fragmento atado lateralmente al estribo con haz foliar apical de hábito de crecimiento bien posicionado sobre la superficie del sustrato marino.

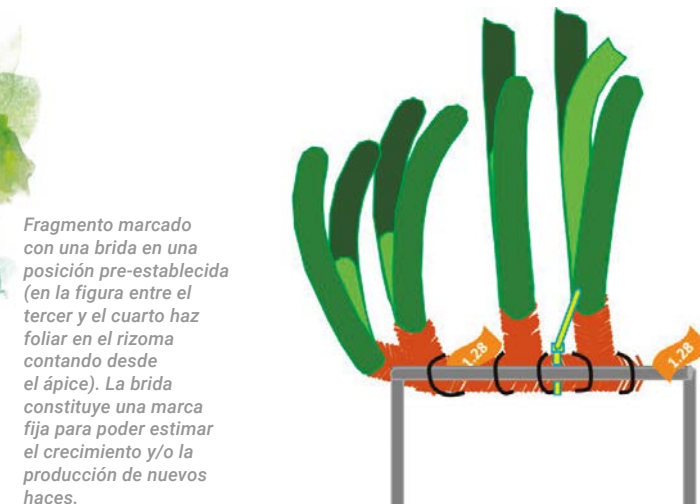


En aquellos fragmentos que vayan a ser objeto de una monitorización individualizada que requiera la colocación de una etiqueta identificadora del fragmento, ésta deberá colocarse de forma que su localización y lectura sea fácil para un buceador. En el caso de que la monitorización del fragmento incluya variables como crecimiento o producción de nuevos haces foliares, es necesario incluir en el fragmento plantado una marca fija que sirva de referencia. Si la etiqueta del fragmento es colocada en una posición estandarizada o anotada para cada fragmento, la misma etiqueta identificadora del fragmento puede servir como marca de referencia.



Se recomienda un etiquetado doble de cada fragmento (dos etiquetas en cada uno) con bridas y etiquetas de impresión de relieve (no usar impresión de tinta). Las bridas y etiquetas se colocan una en el estribo y la otra en el rizoma del fragmento. El motivo del doble etiquetado es asegurar que mantengamos la identificación de los fragmentos durante la monitorización. La etiqueta en el rizoma puede ir colocada detrás del segundo haz vertical o entre el haz apical horizontal/grupo apical de haces y el primer haz vertical del fragmento) y la brida quedará holgada alrededor del rizoma. Las etiquetas de colores claros (p. ej., amarillo) son más fáciles de detectar y leer bajo el agua. Evitar colores verdosos, azulados o marrones para el etiquetado.

El fragmento de la izquierda ha sido atado lateralmente al estribo mientras que el de la derecha lo ha sido por debajo del estribo (en este segundo caso la separación entre estribo y rizoma está exagerada en la imagen para facilitar la visualización de la diferencia con el primer caso).



Fragmento marcado con una brida en una posición pre-establecida (en la figura entre el tercer y el cuarto haz foliar en el rizoma contando desde el ápice). La brida constituye una marca fija para poder estimar el crecimiento y/o la producción de nuevos haces.

2.6 Transporte del material y plantado

Transporte

El transporte de los fragmentos a la zona de plantado implica cierta dificultad. Los fragmentos de rizoma deben ser transportados sumergidos en agua de mar, pero son voluminosos, delicados y van atados a estribos metálicos rígidos. Por este motivo, conviene disponer de un sistema de transporte en el que los fragmentos vayan ordenados e inmóviles hasta la zona de plantado para que no se dañen. La utilización de una malla o rejilla colocada dentro del contenedor de transporte puede ayudar a mantener ordenados los estribos con los fragmentos.

Transporte de los fragmentos hasta el punto de plantado. Fuentes: de los autores y proyecto "Acción Posidonia", Fundación Biodiversidad.



Es recomendable una organización metódica del material a plantar antes de iniciar el buceo para reducir los tiempos de inmersión y evitar errores debajo del agua. Los fragmentos deben ir agrupados previamente en lotes de plantado según sea el diseño de la plantación (ver apartado 2.2), un sistema de transporte ordenado será de gran ayuda. Una posibilidad son cajas de plástico de 40-50 cm de fondo con una rejilla plástica de 1 cm² de luz de malla adaptada a media altura de la caja, donde se introducen las patas de los estribos y permiten mantener el orden de los fragmentos. Llevar durante las inmersiones de plantado una tablilla con el diagrama de la plantación y en su caso con las plantas que debemos plantar en cada grupo será de gran ayuda y agilizará el trabajo debajo del agua.

Se debe procurar que los lotes de plantado sean de características lo más homogéneas posible, mezclando fragmentos de distintos tamaños, distintos lotes de colecta (por pradera donante o fecha) si los hubiera y evitar agrupar los fragmentos más grandes o del mismo origen en un mismo lote.

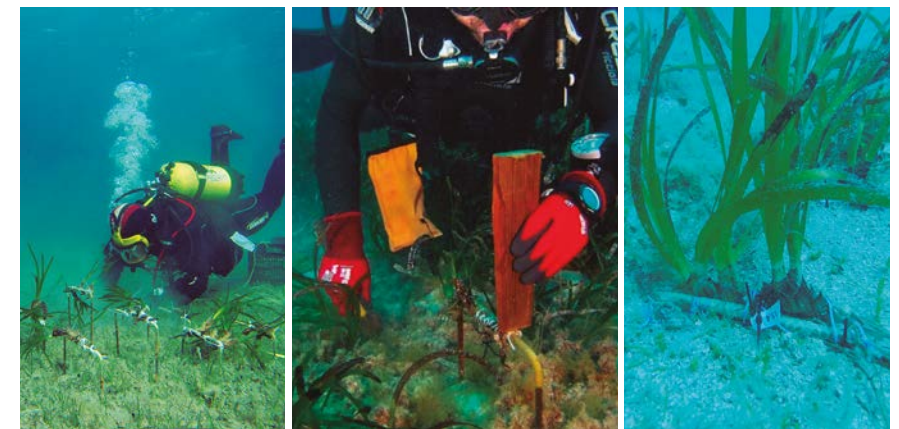
Plantado

La plantación de los fragmentos atados a los estribos se hará presionando sobre el estribo con las manos. En función de la dificultad de penetración del sustrato, nos podremos ayudar de herramientas que aumenten la fuerza ejercida aplicándolo siempre sobre el estribo (maza o martillo directamente o golpeando sobre un listón de madera apoyado en el estribo). En ningún caso se presionará directamente sobre el fragmento. Se

Izquierda: buceador insertando manualmente en el sustrato los estribos con los fragmentos.

Centro: si la mata está muy compactada se puede insertar el estribo con la ayuda de una pieza de madera y una maza.

*Derecha: fragmento de *P. oceanica* plantado con estribo.*



debe procurar además que las raíces del fragmento queden en contacto con la superficie del sustrato y, sobre todo, que el haz foliar apical horizontal quede bien posicionado y en contacto franco con el sustrato.

2.7 Caracterización y seguimiento de la plantación

Para evaluar el resultado de la plantación es necesario, en primer lugar, disponer de una caracterización cuantitativa de los fragmentos que se van a plantar y, en segundo lugar, repetir esa caracterización a lo largo del tiempo. Siendo *Posidonia oceanica* una angiosperma marina de lento crecimiento, se recomienda que el seguimiento de una plantación se haga de forma anual durante al menos los cinco primeros años desde el plantado (Pergent-Martini *et al.*, 2024). La caracterización inicial de los fragmentos permite describir el material plantado y disponer de datos cuantitativos que servirán de referencia para evaluar su desarrollo posterior. El seguimiento en el tiempo de la plantación puede hacerse de forma individualizada en unos fragmentos seleccionados antes de ser plantados de forma aleatoria y/o monitorizando parámetros de la plantación en unas superficies plantadas concretas seleccionadas también de forma aleatoria antes del plantado. Sólo si la plantación es de un tamaño pequeño podrá hacerse una monitorización completa de la misma. La selección de parámetros a cuantificar durante el seguimiento dependerá de si el seguimiento es individualizado para cada fragmento o de superficies plantadas. Si el seguimiento es individualizado, cada fragmento debe ser identificado mediante unas etiquetas que se colocarán durante la preparación de los fragmentos (ver apartado 2.5). No es necesario optar por uno u otro tipo de seguimiento (fragmentos individuales, superficies), ambos tipos pueden simultanearse; la elección de los parámetros a monitorizar depende de los objetivos específicos de cada proyecto de restauración. En cualquier caso, si la plantación tiene éxito, los fragmentos sobreviven y aumentan de tamaño, llegará un tiempo (en décadas) en el que no será posible hacer un seguimiento individualizado de los fragmentos plantados sino sólo el de unas superficies plantadas. La caracterización inicial de la plantación debe incluir, por tanto, también aquellos parámetros que vayan a monitorizarse a medio y largo plazo.

El objetivo de todo seguimiento es obtener una descripción representativa del estado y evolución en el tiempo de la plantación y para ello es necesario obtener datos en un número

Siendo *Posidonia oceanica* una angiosperma marina de lento crecimiento, se recomienda que el seguimiento de una plantación se haga de forma anual durante al menos los cinco primeros años desde el plantado.

suficiente de fragmentos monitorizados individualmente o de superficies plantadas asignadas para la monitorización posterior al plantado. La medida *in situ* de algunos parámetros es más costosa que la de otros, lo que incide en el número de réplicas o muestras que pueden obtenerse durante el seguimiento. Como un ejemplo, la monitorización realizada en el proyecto "Bosque Marino" incluyó el 20% de los nodos/parcelas plantados para la estima de la supervivencia de los fragmentos y entre el 3% y el 10% de los nodos para la estima del tamaño alcanzado por cada fragmento (número de haces foliares por fragmento) según la campaña de plantado. Este seguimiento supuso la estima de la supervivencia en 20 nodos (320 fragmentos) mientras que el tamaño de los fragmentos se estimó en 10 nodos (160 fragmentos) de cada una de las campañas de plantado (4) que se hicieron.

Caracterización inicial de los fragmentos

Durante la preparación de los fragmentos para el plantado se caracterizará de forma aleatoria un mínimo de 160 fragmentos escogidos aleatoriamente para describir su estado inicial. Los descriptores que se pueden registrar previamente al plantado son:

- Número de haces foliares (apical y verticales) por fragmento.
- Número de hojas en cada haz foliar.
- Longitudes de las hojas de cada haz foliar.



Fragmento de rizoma de *Posidonia oceanica* con un haz foliar apical de hábito de crecimiento horizontal y tres haces foliares de hábito de crecimiento vertical.

- Anchura de la segunda hoja más joven de cada haz foliar.
- Número y tipo de marcas de herbívoros en cada haz.
- Longitud del rizoma entre el haz foliar apical y el último haz vertical.
- Número de raíces vivas.

Si el fragmento tuviera más de una ramificación, se tomarán las medidas correspondientes a cada rama. Como no será posible cuantificar alguno de los descriptores indicados durante el seguimiento una vez plantados (p. ej., el número de raíces), o puede que no haya recursos suficientes y asegurados a medio o largo plazo para cuantificarlos todos, las medidas mínimas a determinar previas al plantado serían:

- Número de haces foliares apicales y verticales del fragmento.
- Número de hojas en cada haz foliar.
- Anchura de la segunda hoja más joven de cada haz foliar.

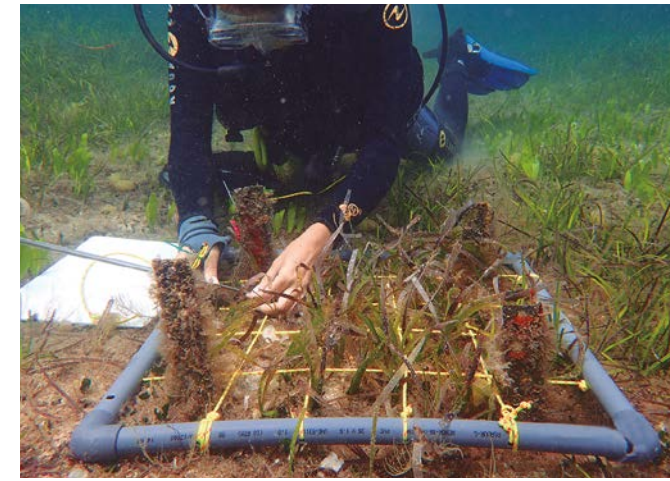
Si una de las variables a estimar durante la monitorización es el crecimiento de los fragmentos o su tasa de producción de haces foliares será necesario colocar una marca fija en el rizoma (p. ej., una brida) que sirva de referencia como ya se ha indicado (ver apartado 2.5).

Seguimiento inicial de la plantación

La descripción cuantitativa inicial de la plantación viene en parte determinada por el diseño de la plantación, esencialmente por la densidad de fragmentos plantados (número por parcela/nodo o número por unidad de superficie del fondo marino) y las dimensiones de las parcelas o superficies plantadas. La densidad de haces foliares (número por unidad de superficie) es un parámetro fácil de estimar de uso generalizado en todas las descripciones cuantitativas de las praderas de *P. oceanica*. Aunque es posible estimar una densidad inicial de haces foliares sabiendo el número de fragmentos plantados por parcela o superficie plantada y el número medio de haces foliares que los fragmentos tenían, es mejor hacer una estima de dicha densidad de haces foliares usando la metodología que se usará durante el seguimiento a medio y largo plazo, el conteo del

Antes del plantado se caracterizan fragmentos de *Posidonia oceanica* mediante número y disposición de haces foliares, hojas y dimensiones, facilitando un seguimiento inicial y evaluación de densidad foliar en parcelas.

número de haces foliares presentes en superficies de tamaño entre 20 cm x 20 cm y 50 cm x 50 cm delimitadas por marcos dispuestos sobre la pradera, parcela o superficie plantada.

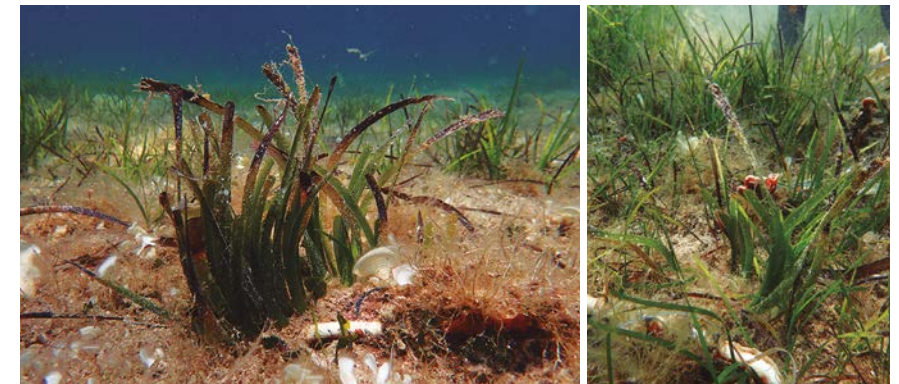


Marco de 50 cm x 50 cm colocado sobre una parcela plantada para estima de la densidad de haces foliares.

Seguimiento de la plantación a medio/largo plazo

La supervivencia de los fragmentos plantados es el principal parámetro para evaluar el éxito de la plantación durante los primeros años (5 años) del seguimiento. Para estimarla se cuenta el número de fragmentos vivos (aquellos que tengan al menos un haz foliar vivo, con hojas verdes) con una frecuencia anual en las parcelas escogidas previamente para hacer el seguimiento o en las superficies del fondo establecidas para ello (ver apartado 2.2), con un número mínimo de N= 20 parcelas.

Monitorizando el número de haces foliares de fragmentos plantados de *Posidonia oceanica*.



La densidad de haces foliares en las parcelas plantadas o en las superficies del fondo establecidas para el seguimiento es otro parámetro fundamental para evaluar el éxito de la plantación y su evolución temporal. Para ello se cuenta el número de haces foliares dentro de superficies entre 400 cm² y 2.500 cm² (20 cm x 20 cm o 50 cm x 50 cm, respectivamente) dentro de los parcelas o superficies de monitorización. El número mínimo de conteos a hacer es N = 20 (un conteo por parcela y monitorización).

Si el proyecto incluye el seguimiento individualizado de los fragmentos con una frecuencia anual durante los primeros años del mismo (5 años), se estimará el tamaño alcanzado por los fragmentos cuantificado por:

- El número de haces foliares apicales y verticales del fragmento y si hay suficientes recursos y lo contemplaba el proyecto
- El número de hojas en cada haz foliar.
- Anchura de la segunda hoja más joven de cada haz foliar.
- El crecimiento en longitud del rizoma.
- La tasa de producción de haces foliares.

Para ello se harán *in situ* las medidas necesarias en cada fragmento. Por ejemplo, el seguimiento del tamaño de los fragmentos en el proyecto "Bosque Marino" implicó la caracterización (número de haces foliares apicales y verticales) de 160 fragmentos de cada campaña de plantado (se hicieron 4) en cada tiempo de monitorización.

Pradera de referencia

La evaluación del resultado de una plantación no debe hacerse sólo consigo misma, es decir evaluando la supervivencia de los fragmentos plantados y la variación de tamaño de los mismos respecto al que tenían en el momento del plantado. Es muy importante comparar algunas características de los fragmentos plantados o de las parcelas/nodos o superficies plantadas con aquellas que muestren praderas de *Posidonia oceanica* cercanas a la zona de plantado y que puedan considerarse como praderas de referencia. Hacer esto permite evaluar no sólo cómo se están desempeñando los fragmentos o

La densidad y características de los haces foliares de los fragmentos plantados se evalúan comparándolos con praderas de referencia, usando medidas repetidas y parámetros como tamaño, número de hojas y crecimiento foliar.

superficies plantadas, sino también si las superficies plantadas o los fragmentos individuales están alcanzando las características de las praderas circundantes y el tiempo necesario para ello. En este sentido, es conveniente estimar la densidad de haces foliares y el tamaño de los mismos (número de hojas por haz foliar, longitudes de todas las hojas en cada haz foliar y anchura de la segunda hoja más joven de cada haz foliar) en la pradera de referencia, con número mínimo de 20 réplicas. Otros parámetros que podrían compararse entre la plantación y la pradera de referencia son la tasa de crecimiento foliar o el contenido interno en nitrógeno, fósforo o carbohidratos en hojas, rizoma y/o raíces. Estos parámetros se pueden usar como descriptores del funcionamiento de la planta y así poder comparar este entre los fragmentos plantados y los de la pradera de referencia. Si hubiera en el entorno de la plantación clones naturales de un tamaño más parecido al de los fragmentos plantados, por ejemplo, fragmentos aislados de rizoma con un haz foliar apical y dos o más haces verticales, algunos de estos fragmentos podrían ser muestreados (N= 20) para compararlos con los fragmentos plantados.

La densidad y el crecimiento de los haces foliares en las parcelas plantadas se mide mediante conteos periódicos de fragmentos, registrando número de hojas, tamaño foliar, longitud del rizoma y producción foliar.

CAPÍTULO

3

**Legislación
aplicable
y solicitud
de permisos**

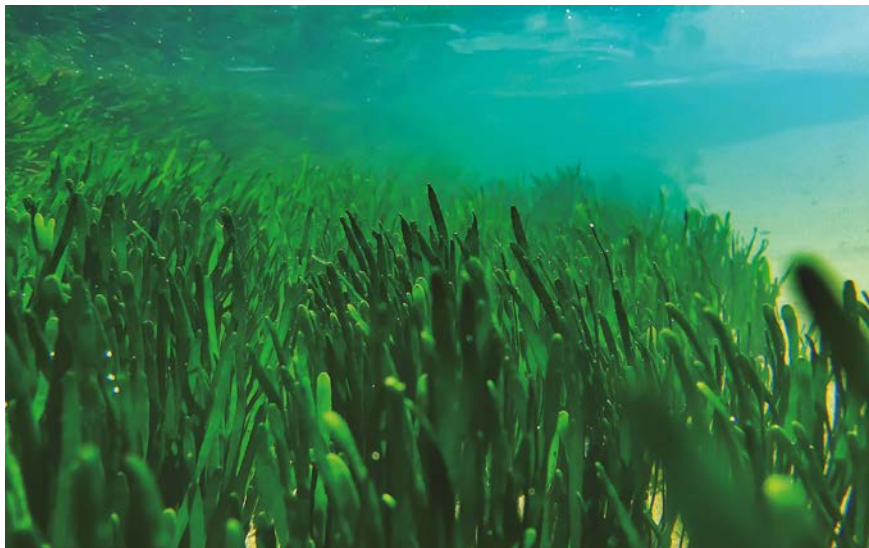
Posidonia oceanica es una especie protegida en Régimen de Protección Especial, por lo que está expresamente prohibido 'recoger, cortar, mutilar, arrancar o destruir intencionadamente' ejemplares de planta, ya sea adulta o semilla.

Posidonia oceanica es una especie protegida y la colecta de ejemplares de planta, ya sea planta adulta o semillas, está prohibida por la Convención de Berna. Se trata además de una especie en Régimen de Protección Especial según la legislación nacional (RD 139/2011 del 4 de febrero). Por ello, según la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad se prohíbe expresamente 'recoger, cortar, mutilar, arrancar o destruir intencionadamente' *Posidonia oceanica* como especie incluida en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial. Por lo tanto, las colectas previas a una replantación deberán ser justificadas ante el organismo competente que aplique en cada caso y autorizadas formalmente. La recolecta de fragmentos a la deriva generados por procesos naturales, como tormentas, y no la extracción de fragmentos de una pradera donante, se recomienda como método de obtención del material de plantado.

Además del permiso de colecta y previamente a la puesta en marcha de un proyecto de plantado de *P. oceanica* se deben tramitar los permisos de las administraciones competentes según el caso. A este respecto, en España, hay que considerar:

- La administración medioambiental, normalmente autonómica, responsable de la protección de las praderas de *Posidonia oceanica*.

Posidonia oceanica es una especie protegida; cualquier colecta para replantación exige autorización y debe usar fragmentos naturales a la deriva.



Los proyectos de plantado requieren tramitar permisos de diversas administraciones, incluyendo medio ambiente, ocupación del lecho marino y autoridades específicas del área, como puertos, zonas militares o reservas marinas.

- La administración, puede ser de ámbito nacional o autonómico, como responsable de autorizar proyectos de ocupación del lecho marino, espacio marino de dominio público. Un proyecto de replantación puede requerir este permiso tanto para la plantación en sí misma, si la planta va acompañada de un sistema de anclaje artificial, como para la señalización/protección del área de replantación mediante boyas en superficie o sistema equivalente.
- Las administraciones afectadas propias de la zona seleccionada para la replantación, a saber: LIC, zona portuaria, zona militar, zona afectada por régimen aeroportuario, reserva marina, etc.

CAPÍTULO

4

Conclusiones

La restauración de las praderas de *Posidonia oceanica* requiere considerar su valor ecológico y económico, aplicar técnicas adecuadas y realizar un seguimiento prolongado para recuperar el ecosistema mediterráneo.

El valor económico de los servicios ecosistémicos que han podido ser estimados monetariamente de una hectárea de pradera de *Posidonia oceanica* se ha calculado entre los 284-514 euros por hectárea y año, lo que implica que las praderas de esta angiosperma marina tienen un valor entre 25,3 y 45,9 millones de euros al año (Campagne *et al.*, 2015). A este valor se añade la estimación de los servicios ecosistémicos no de mercado (*non-market*) que, por no traducirse en bienes de consumo directo o indirecto y por desconocimiento del público, son difíciles de traducir en unidades monetarias (Börger y Piwowarczyk, 2016).

La técnica de plantado descrita en esta "Guía práctica" puede formar parte de medidas de restauración de actuaciones que produzcan impactos mecánicos en las praderas (i.e. poca modificación de las condiciones ambientales, cambios menores en las características del sustrato). Se pueden realizar dos tipos de acciones: por un lado, consolidar el sustrato para facilitar la recolonización natural de *Posidonia oceanica*, que se ha demostrado posible una vez las condiciones ambientales que requiere esta especie se restablecen (Bryars y Neverauskas, 2004; Di Carlo *et al.*, 2005); por otro lado, se pueden tomar medidas activas de replantación para acelerar la recuperación de la pradera afectada. En cualquier caso, no hay que olvidar que se trata de una planta de crecimiento muy lento (Marbà y Duarte 1998) y que las medidas de restauración no darán como resultado una pradera en dimensiones equivalentes a la pradera hasta transcurridos varios siglos (Kendrick *et al.*, 2005). Es esencial subrayar que el éxito de los resultados de replantación mediante la técnica descrita se ha de evaluar no sólo por la tasa de supervivencia a corto plazo (5 años) sino por algún parámetro descriptivo del tamaño de los fragmentos o la densidad de haces foliares en las parcelas o superficies plantadas. La ausencia de seguimiento, o seguimientos muy cortos en el tiempo, de las plantaciones es una característica frecuente en proyectos de restauración de ecosistemas marinos. El seguimiento de una plantación debe tener una duración acorde a la velocidad de crecimiento de la especie plantada. En el caso de *P. oceanica* no es previsible obtener aumentos significativos de, por ejemplo, la densidad de haces foliares en las parcelas o superficies plantadas tras intervalos de tiempo inferiores a una década (Bacci *et al.*, 2025).

Por otra parte, los proyectos de restauración deberían incluir medidas de la recuperación del funcionamiento del ecosistema

restaurado, en términos de diversidad, estructura y procesos (Ruiz-Jaén y Aide, 2005) y de los servicios ecosistémicos que aportan pues éste es el objetivo último de la restauración ecológica. Si la medida del éxito de los proyectos de replantación se basa, hasta ahora, en la supervivencia de los ítems plantados es porque la restauración de ecosistemas costeros se encuentra todavía en una fase inicial que debe ir evolucionando hacia medidas de seguimiento y evaluación basadas en la recuperación de la comunidad y los procesos. Esta guía no incluye recomendaciones en este sentido.

Esta nueva edición de la "Guía práctica: el plantado de *Posidonia oceanica* (2018)" tiene como objetivo principal dar difusión a la técnica descrita y facilitar su implantación en diferentes áreas degradadas presentes en el Mediterráneo. Es deseo de los autores que sirva de estímulo para la realización de proyectos de restauración de praderas de *P. oceanica*, bien sea usando la técnica de plantado descrita u otra demostrada efectiva, contribuyendo así a la recuperación y conservación de un hábitat único y de alto valor ecológico.

La *Posidonia oceanica* crece extremadamente despacio; incluso con medidas de restauración, una pradera alterada no recuperará dimensiones comparables hasta transcurrido un período de varios siglos.



Bibliografía

Alcoverro, T., Manzanera, M., Romero, J. (1998). Seasonal and age-dependent variability of *Posidonia oceanica* (L.) Delile photosynthesis and respiration. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 230, 1–13. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00022-7](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00022-7)

Alcoverro, T., Manzanera, M., Romero, J. (2000). Nutrient mass balance of the seagrass *Posidonia oceanica*: the importance of nutrient retraslocation. *Marine Ecology Progress Series*, 194, 13–21. <https://doi.org/10.3354/meps194013>

Bacci, T., La Porta, B. (2021). Manual of techniques and procedures for the transplantation of *Posidonia oceanica*. LIFE SEPOSSO (LIFE 16 GIE/IT/000761), Rome - Italy. https://lifeseosso.eu/wp-content/uploads/LIFESEPOSSO_Manual_of_techniques_procedures_transplantation_Posidonia_oceanica_EN.pdf

Bacci, T., Scardi, M., Tomasello, A., Valiante, L.M., Piazzzi, L., Calvo, S., Badalamenti, F., Di Nuzzo, F., Raimondi, V., Assenzo, M., Cecchi, E., Penna, M., Bertasi, F., Piazzzi, A., La Porta, B. (2025) Long-term response of *Posidonia oceanica* meadow restoration at the population and plant level: implications for management decisions. *Restoration Ecology*, 33, 3, e14360. Doi: 10.1111/rec.14360

Balestri, E., Vallerini, F., Lardicci, C. (2011) Storm-generated fragments of the seagrass *Posidonia oceanica* from beach wrack - A potential source of transplants for restoration. *Biological Conservation*, 144: 1644-1654. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.02.020>

Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., Sillman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193. <http://doi.org/10.1890/10-1510.1>

Beheshti, K. M., S. L. Williams, K. E. Boyer, C. Endris, A. Clemons, T. Grimes, K. Wasson, and B. B. Hughes. 2022. Rapid enhancement of multiple ecosystem services following the restoration of a coastal foundation species. *Ecological Applications* 32(1): e02466. 10.1002/eap.2466

Bayraktarov, E., Saunders, M. I., Abdullah, S., Mills, M., Beher, J., Possingham, H. P., Lovelock, C. E. (2015). The cost and feasibility of marine coastal restoration. *Ecological Applications*, 26 (January 2016), 1055–1074. <http://doi.org/10.1890/15-1077.1>

Blignaut, J., Esler, K. J., de Wit, M. P., Le Maitre, D., Milton, S. J., Aronson, J. (2013). Establishing the links between economic development and the restoration of natural capital. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(1), 94–101. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.12.003>

Börger, T., & Piwowarczyk, J. (2016). Assessing Non-market Benefits of Seagrass Restoration in the Gulf of Gdańsk. *Journal of Ocean and Coastal Economics*, 3(3). <http://doi.org/10.15351/2373-8456.1034>

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel E., Diviacco, G., Meinesz, A., ... Tunesi L. (2006). *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. (RAMOGE, Ed.), *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. Marseille. Retrieved from http://www.ramoge.org/Documents/documents/ramoge/Posidonia_ramoge.pdf

Boudouresque, C. F., Blanfuné, A., Pergent, G., Thibaut, T. (2021). *Restoration of seagrass meadows in the Mediterranean Sea: a critical review of effectiveness and ethical issues*. *Water*, 13(8): 1034. <https://doi.org/10.3390/w13081034>

Boulenger, A., Marengo, M., Boissery, P., Gobert, S. (2025). Comparative assessment of transplantation methods and donor sources for the restoration of *Posidonia oceanica* meadows. *Science of the Total Environment* 100, 180488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180488>
 Bryars, S., Neverauskas, V. (2004). *Natural recolonisation of seagrasses at a disused sewage sludge outfall*. *Aquatic Botany*, 80(4), 283–289. <http://doi.org/10.1016/j.aquabot.2004.09.001>

Campagne, C. S., Salles, J. M., Boissery, P., Deter, J. (2015). The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine Pollution Bulletin*, 97, 391–400. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.061>

Castejón-Silvo I, Álvarez B, Terrados J (2018) Guía Práctica. El plantado de *Posidonia oceanica*. Red Eléctrica de España, Madrid, 64 págs. <https://www.ree.es/es/publicaciones/sostenibilidad-y-medio-ambiente/sostenibilidad/guia-plantacion-posidonia>. Depósito legal: M-35941-2018

Castejón-Silvo I, Terrados J (2021) Poor success of seagrass *Posidonia oceanica* transplanting in a meadow disturbed by power line burial. *Marine Environmental Research*, 170:105406. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105406>

Castro-Fernández, J., Castejón-Silvo, I., Hinz, H., Escandell Westcott A., Terrados, J. (2025) Differences in habitat complexity between restored and natural seagrass meadows shape fish community structure. *Nature-Based Solutions*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2025.100230>

Danovaro R, Aronson J, Bianchelli S, Boström C, Chen W, Cimino R, Corinaldesi C, Cortina-Segarra J, D'Ambrosio P, Gambi C, Garrabou J, Giorgetti A, Grehan A, Hannachi A, Mangialajo L, Morato T, Orfanidis S, Papadopoulou N, Ramirez-Llodra E, Smith C.J, Snelgrove P, van de Koppel J, van Tatenhove J, Frascchetti S. Assessing the success of marine ecosystem restoration using meta-analysis. *Nat Commun*. 2025 Mar 29;16(1):3062. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57254-2>

De Groot, R. S., Blignaut, J., Van Der Ploeg, S., Aronson, J., Elmqvist, T., Farley, J. (2013). Benefits of Investing in Ecosystem Restoration. *Conservation Biology*, 27(6), 1286–1293. <http://doi.org/10.1111/cobi.12158>

Díaz-Almela, E., Marbà, N., Alvarez, E., Balestri, E., Ruiz-Fernández, J. M., Duarte, C. M. (2006). Patterns of seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering in the Western Mediterranean. *Marine Biology*, 148(4), 723–742. <http://doi.org/10.1007/s00227-005-0127-x>

Di Carlo, G., Badalamenti, F., Jensen, A. C., Koch, E. W., Riggio, S. (2005). Colonisation process of vegetative fragments of *Posidonia oceanica* (L.) Delile on rubble mounds. *Marine Biology*, 147(6), 1261–1270. <http://doi.org/10.1007/s00227-005-0035-0>

Fernández-Torquemada, Y., Sánchez-Lizaso, J. L. (2013). Effects of salinity on seed germination and early seedling growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 119, 64–70. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.12.013>

Gacia, E., Marbà, N., Cebrián, J., Vaquer-Sunyer, R., Garcias-Bonet, N., Duarte, C. M. (2012). Thresholds of irradiance for seagrass *Posidonia oceanica* meadow metabolism. *Marine Ecology Progress Series*, 466, 69–79. <http://doi.org/10.3354/meps09928>

Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.-G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., Dixon, K.W.. (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration, *Restoration Ecology*, 27(S1), pp. 1-46. doi: 10.1111/rec.13035

Giraud. (1977). Contribution à la description et à la phénologie quantitative des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Univ. Aix-Marseille.

Greiner, J. T., McGlathery, K. J., Gunnell, J., McKee, B. A. (2013). Seagrass Restoration Enhances 'Blue Carbon' Sequestration in Coastal Waters. *PLoS ONE*, 8(8), 1–8. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0072469>

Hemminga MA y Duarte Cm (2000). *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge, 298 pp

Kendrick, G. A., Marbà, N., Duarte, C. M. (2005). Modelling formation of complex topography by the seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65, 717–725. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.07.007>

Kraufvelin, P, J. Olsson, L. Bergström, U. Bergström, A.C. Bryhn, (2025). Ecological restoration measures for shallow coastal habitats of the Baltic Sea and the Skagerrak – effectiveness, costs and knowledge gaps. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2025.109353>.

Kuo, J., den Hartog, C (2006) *Seagrass Morphology, Anatomy, and Ultrastructure*, 51-87, en Larkum AWD, Orth RJ, Duarte CM (Eds.) *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht.

La Porta, B., Bacci, T. (2022). Manual for the planning, implementation and monitoring of transplantation of *Posidonia oceanica*. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Rome – Italy.

https://lifeseosso.eu/wp-content/uploads/LIFESEPOSSO_Manual_planning_implementation_monitoring_transplantation_Posidonia_oceanica_EN.pdf

Marbà N, Duarte CM (1998) Rhizome elongation and seagrass clonal growth. *Mar.Ecol.Prog.Ser.* 174:269-280.

<https://doi.org/10.3354/meps174269>

Mola, I., Balaguer, L. (2024). Metodología. Restauración ecológica, qué es y cómo se aplica: pp. 19-48. En: Mola, I. (Ed.) Restauración Ecológica: ejemplos de bases técnicas y soluciones prácticas. Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Madrid. ISBN: 978-84-931561-1-4.

<https://ieeb.fundacion-biodiversidad.es/recursos/restauracion-ecologica-ejemplos-de-bases-tecnicas-y-soluciones-practicas>

Molenaar, H., Meinesz, A. (1995). Vegetative Reproduction in *Posidonia oceanica*: Survival and Development of Transplanted Cuttings According to Different Spacings, Arrangements and Substrates. *Botanica Marina*.

<http://doi.org/10.1515/botm.1995.38.1-6.313>

Molenaar, H., Meinesz, A., Caye, G. (1993). Vegetative Reproduction in *Posidonia oceanica*. Survival and Development in Different Morphological Types of Transplanted Cuttings. *Botanica Marina*, 36, 481–488.

<https://doi.org/10.1515/botm.1993.36.6.481>

Orth, R. J., Harwell, M. C., Bailey, E. M., Bartholomew, A., Jawad, J. T., Lombana, A. V, Woods, H. E. (2000). A review of issues in seagrass seed dormancy and germination: implications for conservation and restoration. *Marine Ecology Progress Series*, 200, 277–288.

<http://doi.org/10.3354/meps200277>

Orth R.J. et al. (2020). Restoration of seagrass habitat leads to rapid recovery of coastal ecosystem services. *Sci. Adv.* 6. DOI:10.1126/sciadv.abc6434.

Pansini, A., Bosch-Belmar, M., Berlino, M., Sara, G., Ceccherelli, G. (2022). Collating evidence on the restoration efforts of the seagrass *Posidonia oceanica*: Current knowledge and gaps ». *Science of the Total Environment*, 851: 158320.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158320>

Pansini, A., Deroma, M., Guala, I., Monnier, B., Pergent-Martini, C., Piazzini, L., Stipich, P., Ceccherelli, G. (2024) The resilience of transplanted seagrass traits encourages detection of restoration success. *Journal of Environmental Management* 357, 120744.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120744>

Pansini, A., Berlino, M., Mangnao, M.C., Sarà, G., Ceccherelli, G. (2025) Meta-analysis reveals the effectiveness and best practices for the iconic Mediterranean seagrass restoration. *Science of the Total Environment* 976, 179325.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179325>

Piazzini, L., Balestri, E., Magri, M., & Cinelli, F. (1998). Experimental Transplanting of *Posidonia oceanica* (L.) Delile into a Disturbed Habitat in the Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, 41(1–6), 593–602.

<http://doi.org/10.1515/botm.1998.41.1-6.593>

Possingham, H., Bode, M., Klein, C. J. (2015). Optimal Conservation Outcomes Require Both Restoration and Protection. *PLoS Biology*, 13(1), 1–15.

<http://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002052>

Pergent-Martini C., André S., Castejon I., Deter J., Frau F., Gerakaris V., Mancini G., Molenaar H., Montefalcone M., Oprandi A., Pergent G., Poursanidis D., Royo L., Terrados J., Tomasello A., Ventura D., Villers F., 2024.Guidelines for *Posidonia oceanica* restoration. Report Cooperation agreement Mediterranean Posidonia Network (MPN), French Biodiversity Agency (OFB) & University of Corsica Pasquale Paoli (UCPP) N°OFB-22-1310: 29 p. + Appendices.

Ruiz-Jaén, M. C., Mitchell Aide, T. (2005). Restoration Success: How Is It Being Measured? *Restoration Ecology*, 13(3), 569–577.

<http://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2005.00072.x>

Society for Ecological Restoration (2004) The SER international primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona.

Tan YM, Dalby O, Kendrick GA, Statton J, Sinclair EA, Fraser MW, Macreadie PI, Gillies CL, Coleman RA, Waycott M, van Dijk K, Vergés A, Ross JD, Campbell ML, Matheson FE, Jackson EL, Irving AD, Govers LL, Connolly RM, McLeod IM, Rasheed MA, Kirkman H, Flindt MR, Lange T, Miller AD, Sherman CDH (2020) Seagrass Restoration Is Possible: Insights and Lessons From Australia and New Zealand. *Front. Mar. Sci.* 7:617. doi: 10.3389/fmars.2020.00617.

Terrados J, Otero M, Bacci T, Dideren K, La Porta B, Teunis M, Bouma T (2021) Restauración de sistemas de carbono azul, pp 110-129, en UICN (2021) Manual para la creación de proyectos de carbono azul en Europa y en el Mediterráneo, Otero M (Ed.), 144 págs.

Verduin, A., Sinclair, E. A. (2013). Seagrass meadow restoration trial using transplants – Cockburn Sound, Western Australia | EMR Project Summaries. Retrieved from

<https://site.emrprojectsummaries.org/2013/03/08/seagrass-meadow-restoration-trial-using-transplants-cockburn-sound-western-australia/>

Viejo, R.M., Castillo, J.M., Terrados, J., Castejón, I., Cebrián, E., Verdura, J., Linares, C. (2024) Restauración de ecosistemas marinos dominados por macrófitos y corales de zonas templadas: pp. 150-160. En: Mola, I. (Ed.) Restauración Ecológica: ejemplos de bases técnicas y soluciones prácticas. Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Madrid. ISBN: 978-84-931561-1-4.

ANEXO

**El plantado de
Posidonia oceanica
mediante plántulas**

La recolección y cultivo de plántulas de *Posidonia oceanica* ofrecen una alternativa viable para la restauración, aunque su disponibilidad natural variable condiciona su aplicación y exige protocolos específicos para garantizar el éxito.

La anterior edición de esta "Guía práctica: el plantado de *Posidonia oceanica* (2018)" contemplaba el uso de plántulas como material para el plantado en proyectos de restauración de praderas de esta especie. La presente edición no lo contempla porque dada la gran variabilidad espacial y temporal de la floración y fructificación de *P. oceanica* (Balestri, 2004; Díaz-Almela et al., 2006) y, por tanto, de la disponibilidad de frutos y semillas maduras, es muy comprometido desarrollar un proyecto de replantación utilizando semillas o plántulas. No obstante, este anexo presenta las principales recomendaciones a seguir en el uso de este material para el plantado pues, en caso de estar disponible, ofrece ventajas logísticas y de otro tipo (p. ej., mayor diversidad genética del material plantado) frente al uso de fragmentos de rizoma.

La colecta de plántulas

Dónde y cómo: en el arribazón de las playas en las que, por su orientación, haya estado entrando viento hacia tierra. Equipados con un recipiente donde almacenaremos las semillas húmedas.

Cuándo: a final de primavera y principio de verano, con variación según el área del Mediterráneo, el período de recolecta puede oscilar entre final de abril y mediados de junio.



Frutos de *Posidonia oceanica* en el arribazón (arriba) y frutos y semillas (abajo) tras una colecta.



Los frutos maduros de *Posidonia oceanica* inician su fase de dispersión natural a mediados o finales de abril y hasta finales de junio es posible encontrar frutos en el arribazón de las playas. Éstas actúan como colectores naturales de parte de los frutos en dispersión y algunos años es posible hacer colectas abundantes (centenares) de frutos y semillas. Al llegar a la playa los frutos, muchos a medio abrir, liberan la semilla por lo que es fácil encontrar también semillas desnudas sobre la arena. La colecta de frutos y semillas se hace de forma manual y evitando la desecación, la incidencia directa de la luz solar y temperaturas por encima de los 24-26 °C. Las colectas deben ser diarias, pues los frutos y semillas pierden rápidamente su viabilidad sobre la arena (Sutera et al., 2024). Detectada la presencia de frutos en el arribazón de playas concretas, la visita regular a éstas puede asegurar la colecta de frutos y semillas.

No existe hasta el momento una técnica contrastada de uso de semillas para el plantado de *P. oceanica*. Sí se han hecho, sin embargo, diversas experiencias usando plántulas, obtenidas a partir de la germinación de frutos colectados en el arribazón y su desarrollo en condiciones controladas hasta que adquieren un tamaño adecuado para el plantado (Meinesz et al., 1993; Balestri et al., 1998; Domínguez et al., 2012; Terrados et al., 2013).

La semilla de *Posidonia oceanica* no tiene un periodo de latencia, por lo que si es madura y las condiciones ambientales son adecuadas, germina con facilidad. Acuarios o tanques de agua marina que mantengan la salinidad natural, una temperatura entre 20°C y 24°C y un sustrato de arena o grava proporcionan las condiciones adecuadas para la obtención de plántulas. La semilla proporciona los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plántulas durante los primeros 6-8 meses de vida (Balestri et al., 2009) por lo que no es necesario añadir nutrientes a los acuarios. Sí es necesaria la iluminación (entre 30 y 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fotoperiodo de 12 a 16 horas de luz) y la presencia de un sustrato (arena, grava, fibra de vidrio) para el desarrollo integral de la plántula (Bedini, 1997; Celdrán y Marín, 2013; Terrados et al., 2013; Guerrero-Meseguer et al., 2017). Las semillas no deben enterrarse en el sustrato sino colocarse semienterradas o sobre la superficie del sustrato (Caye y Meinesz, 1989) pues el enterramiento limita su desarrollo durante esta primera etapa de su vida. Transcurridos 2-4 meses las plántulas han producido 4-6 hojas y 1-3 raíces (Balestri et al., 1998, Domínguez et al., 2011) y pueden ser plantadas en el

Las plántulas de *Posidonia oceanica* germinan en condiciones controladas y pueden mantenerse adecuadamente hasta el momento óptimo para su plantado.

fondo marino (Meinesz *et al.*, 1993; Balestri *et al.*, 1998; Domínguez *et al.*, 2012; Terrados *et al.*, 2013). Esta fase de "cultivo" permite seleccionar aquellas plántulas que muestran un desarrollo integral, con hojas y raíces, siendo éstas fundamentales para el anclaje y la supervivencia de la plántula tras el plantado. Si es necesario, las plántulas pueden mantenerse en las condiciones de cultivo durante al menos un año en espera del tiempo adecuado para el plantado. Alternativamente, las plántulas pueden también cultivarse en una instalación al aire libre manteniendo las condiciones ambientales descritas.

Producción de plántulas de *Posidonia oceanica* en acuarios.



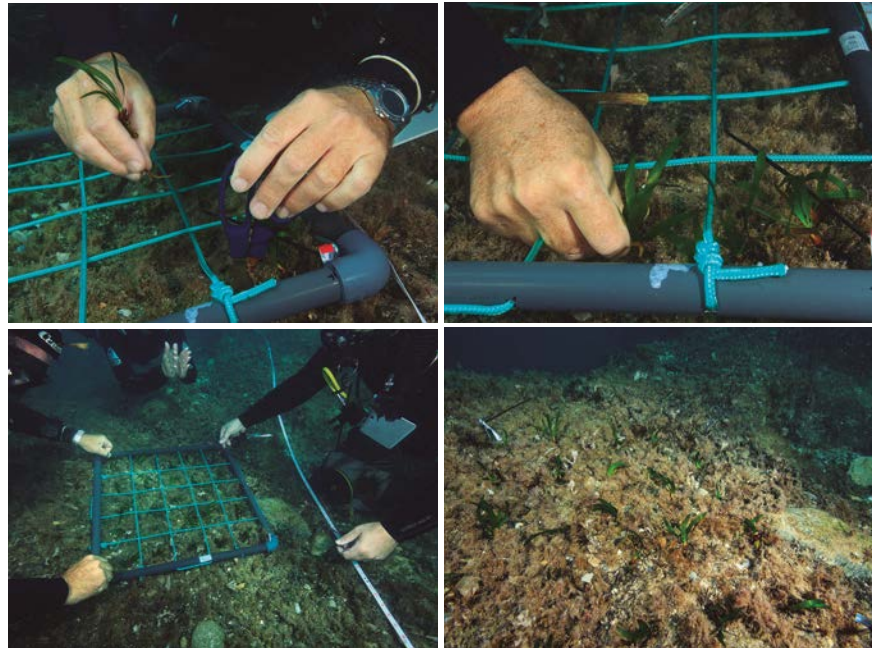
El transporte de las plántulas, dentro de cajas o bolsas con agua de mar, debe evitar la incidencia directa de la luz solar y temperaturas por encima de los 24-26 °C. Es conveniente organizar las plántulas en lotes de plantado organizando, por ejemplo, todas las plántulas que vayan a ser plantadas en una misma parcela dentro de una bolsa con autocierre. Bolsas con 25 plántulas son fácilmente transportadas por buceadores hasta el lugar de plantado.

Transporte de plántulas agrupadas por lotes de plantado en bolsas de autocierre.

Al igual que se ha indicado para las semillas no existe hasta el momento una técnica contrastada para el plantado de plántulas sobre sustrato rocoso. Las recomendaciones de esta guía se limitan al sustrato formado por la mata muerta de *P. oceanica*, muy favorable al enraizamiento de las plántulas, indicador inequívoco de la presencia previa de una pradera en el lugar y garantía de que el plantado corresponde a una intervención de restauración. El plantado es manual, haciendo un agujero en la mata con la ayuda de los dedos u otro instrumento e introduciendo en éste con cuidado las raíces de manera que la semilla de la plántula quede ligeramente enterrada. Los meses de julio a septiembre son los más adecuados para el plantado pues, por un lado, es la época en la que las plántulas se asientan de forma natural y, por otro, permite a éstas enraizar durante unas semanas antes de que empiecen los temporales asociados al otoño. La técnica descrita no usa ningún tipo de anclaje por lo que las plántulas no necesitan preparación previa al plantado y su transporte no conlleva dificultad, resultando en demandas logísticas muy inferiores a las del plantado de fragmentos de rizoma con estribos.

La fase de cultivo de plántulas es necesaria para dar tiempo a la germinación y el desarrollo de las raíces.

Con respecto al diseño de plantado recomendamos que éste se haga en parcelas de 50 cm x 50 cm con la ayuda de un



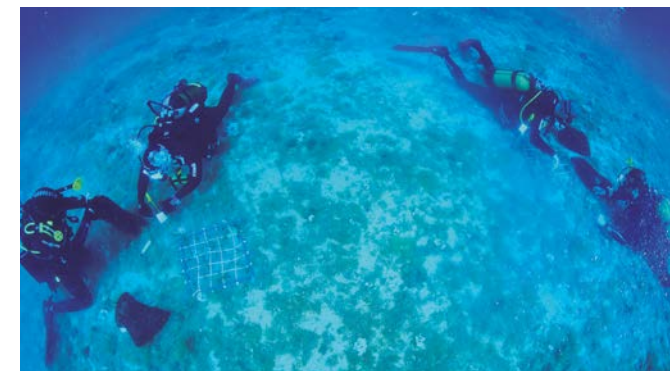
Secuencia del plantado manual de plántulas en mata de *Posidonia oceanica*. Fuente: Proyecto Restaura *Posidonia* Ibiza (Fundación Blue Life).

marco dividido en 25 celdas de 10 cm x 10 cm y plantando una plántula en el centro de cada celda. Las parcelas, al menos aquellas que vayan a ser objeto de seguimiento, deben marcarse con barras metálicas, boyas y etiquetas de forma que un buceador pueda colocarse siempre con la misma orientación con respecto a la parcela. Así cada plántula puede ser identificada en la parcela, en caso de ser necesario, por su ubicación en la misma considerando que las 5 filas y 5 columnas en las que han sido plantadas determinan un sistema de coordenadas. De manera similar al plantado de fragmentos de rizoma, las parcelas de plántulas pueden disponerse a una distancia fija (3-5 m) entre ellas por toda la extensión del fondo marino a plantar o, si el área a plantar es pequeña, colocar plántulas en toda ella a una distancia fija (p. ej., 10 cm) entre plántulas. En este caso será necesario marcar qué superficies serán objeto de seguimiento. También deben evitarse los bordes de praderas vivas, las zonas situadas a un nivel inferior con respecto a su entorno inmediato y las zonas de mata muerta que muestren indicios de erosión o disgregación de la propia mata.

Para evaluar el resultado del plantado de plántulas se pueden usar los mismos descriptores que se usan en el plantado de

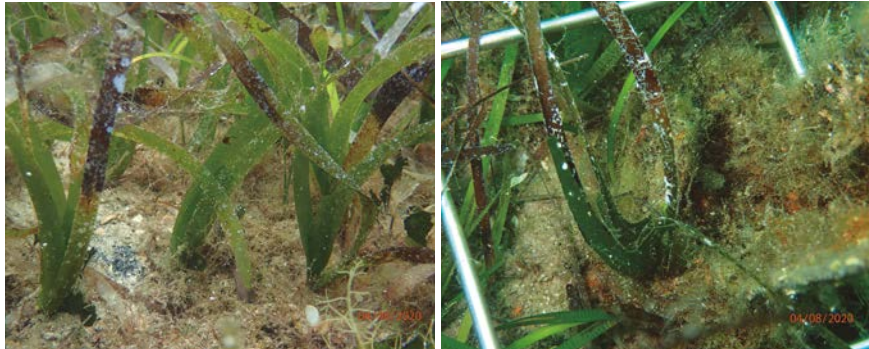
El diseño de plantado requiere parcelas ordenadas, marcadas y espaciadas, permitiendo identificar plántulas y asegurar un seguimiento preciso.

fragmentos de rizoma: la supervivencia de las plántulas, a partir del conteo de aquellas que permanecen en las parcelas ($N = 20$) en los distintos tiempos de monitorización, y el tamaño alcanzado por éstas, haciendo medidas in situ de la longitud y anchura de todas las hojas que tienen las plántulas ($N = 20$) en cada tiempo de monitorización. Si en la zona de plantado hubiera plántulas establecidas de forma natural un grupo de éstas podría ser marcado y objeto de seguimiento para comparar su desempeño con el de las plántulas plantadas.



Plantado manual de plántulas de *P. oceanica*. Fuente: Proyecto Acción *Posidonia*, Fundación Biodiversidad.

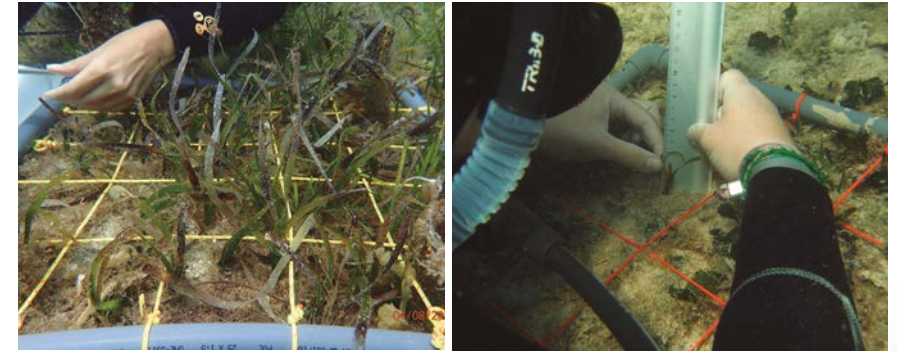
La monitorización de plántulas requiere una caracterización inicial detallada y un seguimiento anual que evalúe supervivencia, crecimiento y densidad foliar, permitiendo analizar la evolución de las parcelas y asegurar una evaluación rigurosa del éxito del plantado a largo plazo.



Plántulas de *P. oceanica* durante la monitorización anual.



Monitorización de parcelas plantadas con plántulas.



Monitorizando la supervivencia y el tamaño alcanzado por las plántulas de *P. oceanica*.

Previamente al plantado se debe hacer una descripción cuantitativa de las plántulas utilizadas. Para ello se escogerán aleatoriamente un grupo de plántulas ($N = 20$) y se caracterizarán mediante los descriptores:

- Longitud y anchura de la semilla.
- Longitud del rizoma.
- Número y longitud de todas las raíces.
- Longitud y anchura de todas las hojas.

En el seguimiento posterior al plantado se mantienen los mismos descriptores, exceptuando los correspondientes a las raíces. Si las plántulas se hubieran ramificado se tomarán las medidas en cada uno de los haces o ramas formados. Los conteos de plántulas por parcela o superficie de seguimiento permiten la estimación de la densidad de haces foliares. El seguimiento de las plantaciones de plántulas debe hacerse con una frecuencia anual durante al menos los 5 primeros años tras el plantado.

Para el seguimiento de la supervivencia y desarrollo del material plantado será necesaria la identificación individual del total de plántulas o fragmentos o bien de una porción representativa del total.

Bibliografía del anexo

Balestri, E. (2004). Flowering of the seagrass *Posidonia oceanica* in a north-western Mediterranean coastal area: temporal and spatial variations. *Marine Biology*, 145(1), 61–68.

<http://doi.org/10.1007/s00227-004-1301-2>

Balestri, E., Gobert, S., Lepoint, G., Lardicci, C. (2009). Seed nutrient content and nutritional status of *Posidonia oceanica* seedlings in the northwestern Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 388, 99–109.

<http://doi.org/10.3354/meps08104>

Balestri, E., Piazzoli, L., Cinelli, F. (1998). Survival and growth of transplanted and natural seedlings of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in a damaged coastal area. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 228, 209–225.

[http://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00027-6](http://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00027-6)

Bedini, R. (1997). Esperimenti di coltura di semi di *Posidonia oceanica* in acquario. *Atti-Societa Toscana Di Scienze Naturali Serie B*.

<http://doi.org/0365-7450>

Caye, G., Meinesz, A. (1989). Cultures en milieu artificiel *Posidonia oceanica* a partir de graines. In E. F. and V. G. C.F. Boudouresque, A. Meinesz (Ed.), *The second international workshop on Posidonia beds, Ischia, Italy* (pp. 293–299). Marseille.

Celdrán, D., Marín, A. (2013). Seed photosynthesis enhances *Posidonia oceanica* seedling growth. *Ecosphere*, 4(December), 1–11.

<http://doi.org/10.1890/ES13-00104.1>

Díaz-Almela, E., Marbà, N., Alvarez, E., Balestri, E., Ruiz-Fernández, J. M., Duarte, C. M. (2006). Patterns of seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering in the Western Mediterranean. *Marine Biology*, 148(4), 723–742.

<http://doi.org/10.1007/s00227-005-0127-x>

Domínguez, M., Celdrán, D., Muñoz-Vera, A., Infantes, E., Martínez-Baños, P., Marín, A., Terrados, J. (2012). Experimental Evaluation of the Restoration Capacity of a Fish-Farm Impacted Area with *Posidonia oceanica* (L.) Delile Seedlings. *Restoration Ecology*, 20(2), 180–187.

<http://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00762.x>

Guerrero-Meseguer L., Sanz-Lázaro C., Suk-ueng K., Marín A. (2017) Influence of substrate and burial on the development of *Posidonia oceanica*: Implications for restoration. *Restoration Ecology* 25:453–45

Meinesz, A., Caye, G., Loquès, F., Molenaar, H. (1993). Polymorphism and Development of *Posidonia oceanica* Transplanted from Different Parts of the Mediterranean into the National Park of Port-Cros. *Botanica Marina*.

<http://doi.org/10.1515/botm.1993.36.3.209>

Terrados, J., Marín, A., Celdrán, D. (2013). Use of *Posidonia oceanica* seedlings from beach-cast fruits for seagrass planting. *Botanica Marina*, 56(2), 185–195.

<http://doi.org/10.1515/bot-2012-0200>

Sutera A, Bonaviri C, Spinelli P, Carimi F, De Michele R (2024) Fruit encasing preserves the dispersal potential and viability of stranded *Posidonia oceanica* seeds. *Scientific Reports* 14: 6218.

<https://doi.org/10.1038/s41598-024-56536-x>

Edita

Redeia
Paseo del Conde
de los Gaitanes, 177
28109 Alcobendas
(Madrid)

Edición 2025
www.redeia.com

Redacción

Inés Castejón Silvo
icastejon@imedea.uib-csic.es

Jorge Terrados Muñoz
terrados@imedea.uib-csic.es

Borja Álvarez Enríquez
boalvarez@redeia.com

Esta obra está licenciada
bajo una Licencia Creative
Commons Atribución-
NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)



ISBN: 978-84-09-82239-3



redeia
El valor de lo esencial

