

GUÍA PRÁCTICA

El plantado de *Posidonia oceanica*



Técnica desarrollada
en el proyecto 'Uso de semillas
y fragmentos de *Posidonia
oceanica* en la restauración de
zonas afectadas por la actividad
de Red Eléctrica de España'



RED
ELÉCTRICA
DE ESPAÑA



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
CSIC

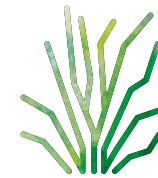
UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Instituto Mediterraneo
de Estudios Avanzados



GUÍA PRÁCTICA

El plantado de *Posidonia oceanica*



Técnica desarrollada
en el proyecto 'Uso de semillas
y fragmentos de *Posidonia
oceanica* en la restauración de
zonas afectadas por la actividad
de Red Eléctrica de España'

CAPÍTULO 1
Introducción

—
4

CAPÍTULO 2
Antecedentes de cultivo
y trasplante de
Posidonia oceanica

—
14

CAPÍTULO 3
Técnica de plantado
propuesta

—
26

CAPÍTULO 4
Fases previas
al plantado

—
32

CAPÍTULO 5
Fases durante
el plantado

—
44

CAPÍTULO 6
Coste económico
de la técnica

—
52

CAPÍTULO 7
Conclusiones

—
54

Bibliografía

—
58

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.

Un proyecto de restauración puede ser activo cuando implica técnicas como el trasplante 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 [Shuster, 2004]. La rápida degradación de 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.

El coste de la restauración en ecosistemas marinos se estima entre 10-400 veces más elevado que en las restauraciones de humedales y ecosistemas terrestres [De Groot et al., 2013]. Valorando en términos económicos los servicios ecosistémicos encontramos que la proporción coste-beneficio de las restauraciones de ecosistemas marinos, si bien más baja que en ecosistemas terrestres, se mantiene positiva [De Groot et al., 2013]. Entre los proyectos de restauración de ecosistemas marinos la restauración de praderas de angiospermas marinas se encuentra entre los más caros con un coste estimado por hectárea plantada de 383.672 US \$*Ha⁻¹. Además, 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., 2015]. 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, el desarrollo de la restauración de praderas de angiospermas marinas es necesario y tiene por delante un amplio margen de mejora. 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. Siempre sin olvidar que la opción más adecuada para la conservación de los ecosistemas, y muy especialmente de aquellos que se encuentran protegidos

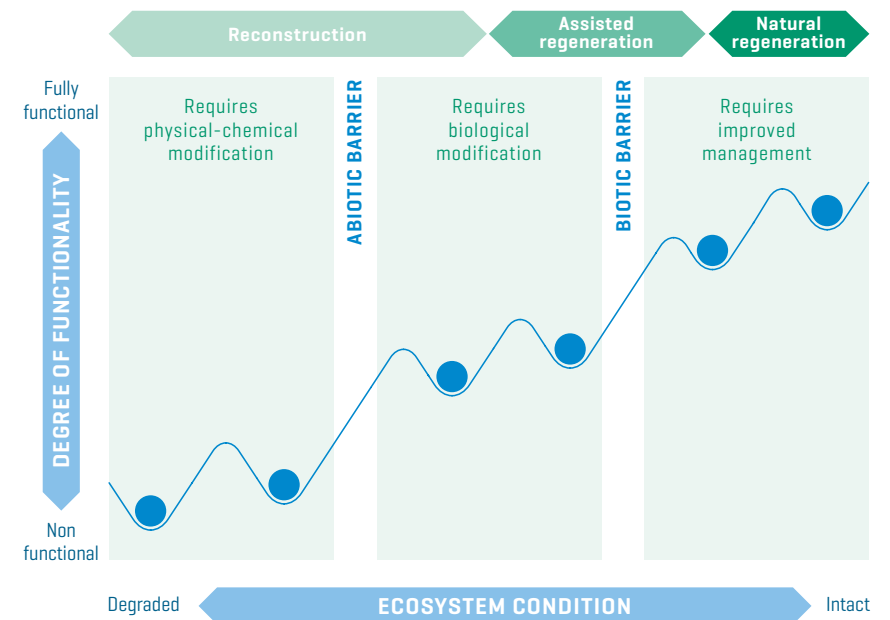
La importancia de las praderas de *Posidonia oceanica* en el control de la erosión costera, el secuestro de carbono o la depuración natural del agua, hace que estos ecosistemas se encuentren entre los sistemas costeros de mayor interés para la restauración.

38%

Supervivencia media de angiospermas marinas replantadas en proyectos de restauración

bajo alguna figura legal como las praderas de *Posidonia oceanica* o especies particularmente sensibles a las perturbaciones, como es la citada *Posidonia oceanica*, pasa por la combinación de conservación, reduciendo los impactos, y restauración [Possingham et al., 2015].

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]



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 replantación de *Posidonia oceanica* se han desarrollado desde un enfoque de viabilidad del material plantado, efecto de la época de plantado en la supervivencia e implementación de técnicas a pequeña escala. El éxito de los trasplantes se cuantifica 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-Jaen & Aide, 2005]. La restauración de praderas de angiospermas marinas, entendiendo como tal la recuperación de funciones, es una línea de trabajo incipiente y son pocos los trabajos que la abordan [Dapson, 2011]. En *Posidonia*

oceanica aún no se han desarrollado trabajos de restauración con este enfoque, si bien la plantación de 2 hectáreas en la Bahía de Pollença, Mallorca, en el marco del proyecto 'Bosque Marino de REE' (2017-2020) incorpora este enfoque y contempla el seguimiento de la recuperación de las funciones durante la duración del proyecto, abriendo la oportunidad de continuarlo más allá del horizonte temporal del proyecto.

Las angiospermas marinas disponen de dos mecanismos de reproducción: vegetativo y sexual, que dan lugar a dos tipos de material de plantado para la restauración: fragmentos y 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 crecimiento vertical u horizontal. Según la especie de angiosperma marina dispondrá de ambos o solo de rizomas de crecimiento horizontal [Hemminga & Duarte, 2000; Hartog & Kuo, 2006].

La reproducción vegetativa consiste en la formación de clones, mediante la elongación y ramificación de los rizomas horizontales, el crecimiento de haces sobre 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 [Duarte & Sand-Jensen, 1990]. Por este mecanismo se producen fragmentos de planta adulta: i.e. trozos de rizoma con uno o varios haces foliares y raíces, aptos para el plantado. El oleaje también puede romper los rizomas y producir fragmentos.

Posidonia oceanica cuenta con rizomas lignificados de crecimiento horizontal sobre los que crecen los haces que dan lugar a rizomas verticales durante su desarrollo. Las experiencias previas de plantado de *Posidonia oceanica* con planta adulta han partido tanto de fragmentos de rizoma vertical [Augier et al., 1996; Piazzini et al., 1998; Meinesz et al., 1992; Molenaar & Meinesz, 1992] como horizontales [Piazzini et al., 1998] con uno o varios haces, obteniendo mejores resultados de supervivencia con fragmentos de rizomas horizontales. Más concretamente, transcurridos entre uno y dos años desde el plantado de fragmentos verticales se observó un cambio en su hábito de crecimiento de vertical a horizontal [Augier et al., 1996; Molenaar & Meinesz, 1992]. Además, los fragmentos verticales mostraron en general menor supervivencia, menor rami-

Las experiencias previas de plantado de *Posidonia oceanica* con planta adulta han partido tanto de fragmentos verticales como horizontales con uno o varios haces, obteniendo mejores resultados de supervivencia con rizomas horizontales.

ficación y menor producción de raíces [Molenaar et al., 1993], estas últimas imprescindibles para el anclaje de la planta, la incorporación de nutrientes y su supervivencia a medio plazo [Balestri et al., 2009; Infantes et al., 2011].

Los rizomas horizontales en *Posidonia oceanica* presentan tasas de elongación [1-6 cm/año] muy superiores a las de los rizomas verticales [0,1-4 cm/año] aunque ambas se encuentran entre las tasas de crecimiento más bajas de las angiospermas marinas [Hemminga & Duarte, 2000]. La selección de fragmentos horizontales para la restauración de *Posidonia oceanica* presenta por tanto ventajas frente al uso de fragmentos verticales: facilita el establecimiento del material plantado, la consolidación de los clones y la colonización de zonas adyacentes.

Por otro lado, respecto a la estacionalidad en el plantado, los resultados previos indican que las plantaciones realizadas en otoño con fragmentos procedentes de praderas profundas con dos o más haces muestran mejores tasas de supervivencia que los trasplantes realizados en verano procedentes de praderas someras y con un solo haz [Genot, Caye, Meinesz, & Orlandini, 1994; Meinesz et al., 1992; Molenaar & Meinesz, 1992]. Existe la posibilidad de mantener los fragmentos en condiciones controladas previamente al plantado, lo que permite el descarte de las plantas en peores condiciones. Según los resultados de Meinesz, Caye, Loquès, & Molenaar [1993] los fragmentos mantenidos previamente en acuario [durante 3 meses] muestran supervivencias mayores tras su trasplante al mar [60-100%] que los colectados y trasplantados directamente [25-80%]. Por otro lado, el mantenimiento previo en acuario puede suponer un tiempo de adaptación para fragmentos cuya profundidad de origen sea menor que la de destino, situación que puede comprometer la supervivencia de la plantación como consecuencia de la menor concentración de clorofila en las plantas provenientes de estaciones someras [Genot et al., 1994].

La supervivencia de fragmentos con varios haces en cultivo es del 80-100% durante los primeros 4 meses [Balestri et al., 2011; Marín-Guirao et al., 2011] y se va reduciendo paulatinamente: 67-68% a los 12 meses, 36-56% a los 24 meses y 42% a los 34 meses [Balestri et al., 2011; Meinesz et al., 1991]. Los fragmentos con un único haz vertical tienen supervivencias menores en cultivo [41% tras 7 meses en cultivo] aunque los supervivientes son capaces de generar raíces nuevas y de tornar en rizomas de hábito de crecimiento horizontal con ramificaciones [el 68% de los supervivientes pueden estar ramificados tras dos años de cultivo] [Meinesz et al., 1991].

Respecto a la estacionalidad en el plantado, los resultados previos indican que las plantaciones realizadas en otoño con fragmentos procedentes de praderas profundas con dos o más haces muestran mejores tasas de supervivencia que los trasplantes realizados en verano procedentes de praderas someras y con un solo haz.

El segundo mecanismo reproductor de las angiospermas marinas es la reproducción sexual, mediante la cual se producen nuevos individuos, denominados plántulas, aptos para el plantado. Las plántulas se producen mediante la germinación de una semilla proveniente del fruto consecuencia 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]. El hecho de que las semillas de *Posidonia oceanica* no tengan período de latencia tiene consecuencias en el desarrollo de proyectos de restauración ya que imposibilita la creación de bancos de semillas o su almacenaje [Belzunce et al., 2008] hasta el momento adecuado para el plantado.

Otra dificultad presente en el uso de plántulas para la restauración de *Posidonia oceanica* es la irregularidad no predecible de los eventos de floración y, por tanto, de la producción de semillas. Sin embargo, la facilidad de manipulación, la reducción de costes logísticos en comparación con el plantado de planta adulta, así como las elevadas supervivencias bajo determinadas condiciones alientan el uso de plántulas en proyectos de replantación de *Posidonia oceanica*. Las experiencias previas de plantado resultaron en supervivencias del 80-75% sobre mata de *Posidonia* tras el primer año de plantado [Balestri et al., 1998; Domínguez et al., 2012] y del 44-70% tras 36 meses de plantado [Balestri et al., 1998; Terrados et al., 2013].

Las plántulas de *Posidonia oceanica* durante el primer año de vida mantienen la semilla y les provee de los nutrientes necesarios durante los 6-8 primeros meses de su desarrollo [Balestri et al., 2009]. La capacidad de las semillas para germinar y sobrevivir durante el primer año depende del buen estado de conservación de la semilla y de la disponibilidad de luz que incida sobre ella [Celdrán & Marín, 2013]. A efectos de un proyecto de replantación, la germinación en condiciones controladas posibilita la selección de las plántulas en mejores condiciones para el plantado.

Existen experiencias previas de cultivo de *Posidonia oceanica* a pequeña escala con semillas y plántulas desde finales de la década de los ochenta. Estas experiencias demostraron que el cultivo de semillas se puede prolongar por varios meses con una supervivencia superior al 25% [Bedini, 1997; Buia & Mazzella, 1991; Meinesz

et al., 1993] y se puede desarrollar en condiciones de laboratorio, con circuito cerrado y agua de mar artificial [Caye & Meinesz, 1989]. El éxito del cultivo de plántulas puede verse comprometido cuando la semilla agota sus reservas y la plántula necesita incorporar nutrientes del medio [Balestri et al., 2009]. Respecto a las condiciones físico-químicas que favorecen la supervivencia en cultivo, según los resultados de Caye & Meinesz [1989], la disponibilidad de nutrientes favorece la ramificación de las plántulas y la generación de nuevos haces aunque también parece reducir el desarrollo de las raíces y la supervivencia de plántulas en el primer año de vida [Statton & Kendrick, 2014; datos propios]. La supervivencia también se reduce a salinidades por encima de 37 PSU [Fernández-Torquemada & Sánchez-Lizaso, 2013] y a temperaturas de 29 °C [Hernán et al., 2017; Guerrero-Meseguer et al., 2017].

Por otro lado, la superficie foliar se ve reducida en plántulas de un año sometidas durante tres meses a una temperatura de 29 °C [Hernán et al., 2017], en el mismo sentido que los resultados de Olsen et al. [2012] para plantas de cuatro años de edad sometidas a temperaturas del agua por encima de 26 °C. Se ha demostrado que las semillas de *Posidonia oceanica* son fotosintéticamente activas y la incidencia de luz sobre ellas es esencial en el desarrollo de la plántula [Bedini, 1997; Celdrán & Marín, 2013]. El cultivo previo permite además el desarrollo del sistema radical fundamental para el anclaje [y por tanto la supervivencia] de las plántulas y para cubrir los requerimientos de nutrientes de la plántula [Balestri, 2009] tras el primer año de vida. Balestri et al. [2015] demostraron que las raíces desarrolladas en plántulas establecidas sobre granulometrías media [arenosas] alcanzaban mayores profundidades que aquellas establecidas en sustratos rocosos, que favorecen el crecimiento horizontal de las raíces.

Por su parte, Infantes et al. [2011] demostraron que las plántulas de *Posidonia oceanica* necesitan una longitud de raíz enraizada de aproximadamente 0,35 veces la raíz cuadrada de la superficie total de la hoja para permanecer ancladas y que una erosión del sedimento circundante mayor que 2 ó 3 centímetros conlleva el desenraizamiento de las plántulas. Los trabajos previos de plantación de plántulas apuntan a que la mata de *Posidonia* [entramado de rizomas, raíces y sedimento que forman las praderas y sustrato que permanece cuando una pradera muere] es el sustrato más favorable para la supervivencia de plántulas [Balestri et al., 1998; Domínguez et al., 2012; Piazzini et al., 1998] siendo también capaces de establecerse en roca [Alagna et al., 2013; Balestri & Lardicci, 2008]. Los resultados previos desaconsejan la plantación de plántulas so-

Las semillas de *Posidonia oceanica* son fotosintéticamente activas y la incidencia de luz sobre ellas es esencial en el desarrollo de la plántula. El cultivo previo permite además el desarrollo del sistema radical fundamental para el anclaje de las plántulas y para cubrir los requerimientos de nutrientes tras el primer año de vida.

bre sustratos no consolidados [Infantes et al., 2011]. En condiciones de cultivo en laboratorio mantener el contacto de las raíces en desarrollo con sedimento (i.e. arena) incentiva el crecimiento de las raíces y por tanto puede mejorar el anclaje y la supervivencia tras el trasplante al mar [Guerrero-Meseguer, Sanz-Lázaro, Suk-ueng, & Marín, 2016].

Esta guía presenta una revisión del conocimiento generado y publicado sobre colecta, cultivo y trasplante de *Posidonia oceanica*, además aglutina la experiencia acumulada por investigadores del grupo de investigación de Ecología de Macrófitos Marinos del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados sobre técnicas de replantación de *Posidonia oceanica* como resultado de dos proyectos de investigación fundamental orientada, y un proyecto de investigación y desarrollo. Los proyectos que nutren de contenido esta guía son:

- Técnicas de recuperación y expansión de las praderas de *Posidonia oceanica* mediante reimplante con semillas [116/SGTB/2007/1.3]. Ministerio de Medio Ambiente [2007/2009].
- Restauración de praderas de *Posidonia oceanica* con plántulas; Influencia de la luz, nutrientes y herbivoría [CTM2011-27377]. Ministerio de Ciencia e Innovación [2012/2014].
- Uso de semillas y fragmentos de *Posidonia oceanica* para su recuperación en zonas afectadas por la actividad de REE. Red Eléctrica de España [2014/2016].

En los dos primeros proyectos se trabajó con plántulas germinadas de semillas con dos objetivos: testar los efectos de distintos tipos de anclajes y de sustrato sobre la supervivencia de las plántulas y evaluar la importancia relativa de procesos *bottom-up* (disponibilidad de recursos) y *top-down* (presión de predadores) en la supervivencia y desarrollo de las plántulas trasplantadas. Estos proyectos se desarrollaron en el litoral de la Región de Murcia y en la costa de Mallorca.

En el marco del tercer proyecto, al trasplante de plántulas se sumó la replantación de esquejes de planta adulta de *Posidonia oceanica*, con el objetivo de poner a punto un método de restauración activa para esta especie. Este proyecto de I+D+i se desarrolló a instancias de Red Eléctrica de España que actuó como promotor coincidiendo con el fin de las obras de ejecución de la conexión eléctrica entre Mallorca e Ibiza, Rómulo 2. El enlace eléctrico entre islas consiste en un doble cable de 126 km de longitud, con un tramo submarino de 118 km que alcanza profundidades de hasta 800 metros.

Las praderas de *Posidonia oceanica* afectadas por esta instalación submarina se ubican en la entrada del cable a tierra en ambas islas [Ibiza-Talamanca y Mallorca-Santa Ponça] y fueron las áreas experimentales sobre las que se ejecutó el trasplante.

Esta guía da difusión a un protocolo de cultivo y trasplante de fragmentos y plántulas de *Posidonia oceanica* consecuencia del conocimiento generado en los diferentes proyectos desde 2007, con el objeto de facilitar la puesta en práctica de proyectos de restauración de praderas en aquellos casos en los que sea recomendable, por ejemplo: como medida de atenuación de actuaciones que produzcan impactos meramente mecánicos sobre la pradera (i.e. sin modificación de las condiciones ambientales). Para asegurar el uso correcto de esta guía se debe resaltar que durante la ejecución de un proyecto de replantación de *Posidonia* que pretenda basarse en este documento se deben cumplir todos los requisitos previos y buenas prácticas recomendadas a lo largo de la guía. A este respecto se deben considerar los estándares internacionales sobre restauración ecológica 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 [McDonald, Gann, Janson, & Dixon, 2016]. En ningún caso se puede considerar una acción de restauración como argumento para relajar las medidas de protección y conservación sobre las praderas.

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

Antecedentes
de cultivo
y trasplante
de *Posidonia
oceanica*

El cultivo de *Posidonia oceanica* a partir de semillas se ha realizado en diversas ocasiones y condiciones, aunque siempre a pequeña escala.

Antecedentes de cultivo de plántulas

La mayoría de experiencias de cultivo corresponden a pruebas en acuario de frutos recogidos en las praderas, flotando en la superficie del mar durante la fase de dispersión o encontradas en el arribazón de la costa.

La colecta en arribazón ha sido el principal origen de las semillas que se han cultivado hasta ahora. La eficiencia de la colecta dependerá de varios factores. Determinados años y en determinadas condiciones (i.e. tras eventos de viento fuerte durante la época de dispersión de los frutos) es posible recolectar un gran número de frutos de *Posidonia oceanica* en el arribazón de algunas playas (Balestri & Lardicci, 2008). En ausencia de vientos fuertes o tormentas se pueden recolectar frutos en el arribazón si las playas se visitan de forma regular durante la época de dispersión que ocurre entre abril y junio.

Las experiencias de cultivo durante períodos inferiores a 4 meses que se han venido realizando hasta la actualidad obtienen altas tasas de germinación y posterior supervivencia de plántulas bajo distintas condiciones de cultivo. Sin embargo, la supervivencia se reduce cuando los períodos de cultivo se prolongan. Balestri et al. (2009) demostraron que las reservas de carbono y nutrientes contenidas en la semillas permiten el desarrollo de la plántula durante los primeros 6 a 8 meses tras la germinación, período a partir del cual la plántula necesita incorporar carbono y nutrientes del entorno para continuar su desarrollo. Se describen a continuación algunas de las experiencias de cultivo de plántulas de *Posidonia oceanica* desarrolladas hasta ahora.

Caye & Meinesz (1989) cultivaron semillas obtenidas de frutos en dispersión, flotando en la superficie del mar, y en el arribazón de playas. En esta experiencia se cultivaron semillas durante 42 días. Se emplearon acuarios con circuito de agua de mar artificial cerrado, a temperatura ambiental del laboratorio (15-20 °C) y luz natural (sol a través de ventanas). Durante el cultivo se manipularon los niveles de luz que recibían las semillas (3% y 77% de la luz incidente), la disponibilidad de nutrientes (con y sin nutrientes añadidos) y la disposición de las semillas (semienterradas en arena o suspendidas en el agua). La mayor supervivencia (90%) y desarrollo vegetativo de las plántulas tuvo lugar en las condiciones de mayor iluminación, agua no enriquecida con nutrientes y semillas suspendidas en la columna de agua del acuario. Del mismo modo, Bedini (1997) observó el deterioro y posterior muerte de semillas

Las experiencias de cultivo durante períodos inferiores a 4 meses que se han venido realizando hasta la actualidad obtienen altas tasas de germinación y posterior supervivencia de plántulas bajo distintas condiciones de cultivo.

cultivadas en semioscuridad (10% de luz incidente), mientras que las semillas bajo un régimen de luz del 80% de la luz natural incidente se desarrollaron normalmente. Este trabajo mantuvo las semillas en cultivo durante un año a temperatura constante de 16 °C en acuarios con agua de mar natural que se renovaba parcialmente cada mes. Dos décadas más tarde Celdrán y Marín (2013) demostraron la importancia de la actividad fotosintética de las semillas en el desarrollo de las plántulas. Se demostró que la actividad fotosintética de las semillas es más activa que la de las primeras hojas de una plántula y es responsable del 29% del crecimiento de las hojas y del 42% del crecimiento de las raíces en los primeros tres meses de la germinación.

Peores resultados de supervivencia obtuvieron Buia & Mazzella (1991), con una supervivencia de las plántulas del 28% tras un período de cultivo de 8 meses. Las semillas fueron recolectadas en el arribazón y cultivadas en acuarios con circuito abierto de agua de mar, con la iluminación natural y temperatura ambiental del laboratorio (este trabajo no detalla los rangos de temperatura y luz alcanzados).

Balestri et al. (1998) cultivaron semillas obtenidas a partir de frutos recolectados en el arribazón y cultivadas en acuarios (20 L) en el laboratorio durante dos meses, empleando agua marina natural, aireada y renovada semanalmente. Mantuvieron la temperatura constante a 16 °C con fotoperiodo de 16 h de luz fluorescente blanca (30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Las semillas estaban suspendidas en la columna de agua y un 88% germinó normalmente. Al final del cultivo las plántulas tenían 3 hojas, 1 raíz primaria y 2 adventicias, la longitud máxima de las hojas era 2,4 cm, la anchura de las hojas, 3 mm, y la longitud de las raíces primaria y secundarias, 3 y 3,5 mm, respectivamente.

Belzunze et al. (2008) cultivaron las semillas en recipientes plásticos tapados y semitransparentes en los que dispusieron una base de papel de filtro doblado en forma de acordeón y saturado con agua de mar natural esterilizada. Sobre los pliegues colocaron las semillas. Los recipientes se mantuvieron durante 4 semanas en una cámara de germinación a 17 °C con un fotoperiodo de 24 horas e iluminación de 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Terrados et al. (2013) colectaron semillas obtenidas a partir de frutos recogidos en el arribazón y las cultivaron durante 2-3 meses. Se emplearon acuarios (80 L) en circuito cerrado, con agua marina natural, iluminadas con lámparas halógenas de 500 W (irradiancia > 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y con un fotoperiodo 12:12 h luz:oscuridad a

La actividad fotosintética de las semillas es más activa que la de las primeras hojas de una plántula y es responsable del 29% del crecimiento de las hojas y del 42% del crecimiento de las raíces en los primeros tres meses de la germinación.

21 °C de temperatura. Las semillas estaban colocadas sobre un lecho de lana de fibra de vidrio.

Guerrero-Meseguer et al. (2016) cultivaron semillas (36 PSU, 21 °C, 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 10 h:14 h oscuridad:luz fotoperiodo) en acuarios de 10 L sobre dos tipos de sustrato (i.e. arena y sustrato duro, vidrio) durante cuatro meses. Tras esa fase, las plántulas fueron trasplantadas en acuarios con sustrato arena sometidas a distintos niveles de enterramiento, con el resto de condiciones sin cambios, y se les hizo seguimiento durante un mes más. Se testaron 3 niveles de enterramiento de las plántulas [i.e. sin enterrar, semi enterradas (0,5 cm), totalmente enterradas (1,5 cm)]. El desarrollo de las raíces fue mayor en las plántulas cultivadas los primeros 4 meses sobre arena que en las cultivadas sobre vidrio. Además, estas plántulas también mostraron un mayor desarrollo de las raíces tras ser trasplantadas sobre arena. El desarrollo de las hojas en las plántulas cultivadas en vidrio fue mayor que el de las cultivadas con arena. No hubo diferencias en el desarrollo de la plántula entre los diferentes niveles de enterramiento.

Además de la influencia del tiempo de cultivo y de la incidencia de la luz sobre las semillas, también se ha observado que una salinidad superior a 37 PSU reduce la germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas (*Fernández-Torquemada & Sánchez-Lizaso*, 2013) y que temperaturas del agua crecientes por encima de 26 °C tienden a reducir el crecimiento foliar de plantas de cuatro años de edad (*Olsen, Sánchez-Camacho, Marbà, & Duarte*, 2012), reducen su desarrollo foliar y aumentan su mortalidad (*Hernán et al.*, 2017; *Guerrero-Meseguer et al.*, 2017).

Antecedentes de cultivo de fragmentos de planta adulta

El mantenimiento o cultivo de fragmentos de *Posidonia oceanica* en condiciones de acuario ha sido siempre una tarea difícil con malos resultados en la mayoría de los casos.

Meinesz et al. (1991) cultivaron haces verticales en acuario durante dos años. Los acuarios tenían un volumen de 750 L y una profundidad de 0,9 m y estaban llenos de agua de mar natural, 1/3 de la cual se renovaba cada 4 meses. El agua se filtraba a través de arena y era también aireada con un compresor de aire. La temperatura osciló entre 18 °C y 22 °C y la iluminación era natural, a través de una cubierta transparente. Los rizomas se plantaron insertándolos de forma individual en macetas con arena (3 rizomas por maceta). La longitud de los rizomas era de 3-4 cm. La mortalidad fue del 50% a

los 4 meses, 59% a los 7 meses y 64% pasados los 24 meses. Los rizomas mantuvieron inicialmente su hábito de crecimiento vertical pero paulatinamente lo cambiaron a horizontal resultando en elongaciones de 6-8 cm al cabo de dos años. Todos los fragmentos formaron nuevas raíces a los 13-16 meses del trasplante. El porcentaje de fragmentos ramificados al cabo de dos años fue de un 68% y el número de ramas nuevas osciló entre 1 y 4.

Meinesz, Caye, et al. (1993) indican que fueron capaces de mantener fragmentos en el laboratorio durante 28 meses, aunque no describen los acuarios ni las condiciones ambientales utilizadas.

Marín-Guirao et al. (2011) cultivaron fragmentos de rizoma con 40-60 haces colectados por buceadores en la pradera y mantenidos en acuarios de 1.500 L durante dos meses con una supervivencia del 100%. Condiciones ambientales: circuito cerrado de recirculación, con agua de mar natural; salinidad, 37 PSU; temperatura, 21 °C, iluminación por medio de lámparas halógenas de 400 W (irradiancia, 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); fotoperiodo 12:12 h de luz:oscuridad. En este trabajo se demostraron los efectos negativos de salinidades superiores a 38 PSU sobre la tasa fotosintética de los fragmentos de planta adulta de *Posidonia oceanica*.

Balestri et al. (2011) utilizaron fragmentos de rizoma de *Posidonia oceanica* colectados en el arribazón inmediatamente después de ser arrojados a la playa (<7 h) por tormentas en invierno. Los fragmentos se cultivaron en tanques de 5.000 L al aire libre y pleno sol y llenos de agua de mar que era bombeada desde el mar de forma continua y en circuito abierto. La profundidad del agua era de 1,5 m; la salinidad, 37,5-37,8 PSU y la temperatura osciló entre 12 °C y 29 °C. Los fragmentos estaban dispuestos sobre rejillas de plástico y suspendidos 0,5 m por debajo de la superficie del agua en los tanques. Se cultivaron tanto fragmentos verticales con 2 haces y 10-12 cm de longitud de rizoma como horizontales con 4-5 haces y 15-17 cm de longitud de rizoma. También se utilizaron fragmentos de rizoma de 6-9 haces para producir nuevos fragmentos con 1-4 haces por corte de los anteriores.

El porcentaje de supervivencia total de los fragmentos fue del 80-97% a los 4 meses de colecta, 67-68% a los 12 meses, 44-50% a los 22 meses y 42% a los 34 meses. La primera raíz nueva se formó 4 meses después de la colecta de los fragmentos. Los fragmentos produjeron nuevas raíces en primavera y verano, y nuevos haces solo en primavera. El crecimiento en longitud de los rizomas fue de 0,9 cm año⁻¹. El porcentaje de fragmentos que se habían ra-

Una salinidad superior a 37 PSU reduce la germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas.

mificado fue del 10-24% a los 12 meses, 37-55% a los 22 meses y 60% a los 34 meses. El número de nuevos haces producidos fue de 1-2 por fragmento, pero no fue suficiente para compensar la muerte de haces. Tampoco se encontró una relación entre tipo de fragmento [vertical/horizontal] y tamaño inicial del fragmento y su capacidad de formación de nuevos haces.

Antecedentes de trasplante de plántulas

Los trabajos previos de plantación de plántulas indican que la mata muerta de *Posidonia oceanica* maximiza la supervivencia de plántulas y que los sustratos móviles como gravas y arenas son inadecuados para el trasplante. Además, el desarrollo vegetativo de las plántulas trasplantadas sobre un sustrato adecuado es equiparable al desarrollo que alcanzan las plántulas asentadas por procesos naturales. Por otro lado, la disponibilidad suficiente de luz para las plántulas se señala como un factor esencial en el éxito de las plantaciones al igual que ocurre en la fase de cultivo.

Meinesz et al. [1993] experimentaron con veinte plántulas obtenidas a partir de cultivo de semillas en acuario que se plantaron sobre mata muerta de *Posidonia* tras 14 meses de cultivo en acuario. La técnica de plantado no se describe. Se plantaron a 11 m de profundidad resultando en porcentajes de supervivencia del 50% al cabo de un año, 45% al cabo de dos años y 20% al cabo de tres años.

Balestri et al. [1998] utilizaron plántulas obtenidas a partir del cultivo en acuario de frutos del arribazón. Las plántulas, de 2 meses de edad, envueltas individualmente en gasa, fueron fijadas a una rejilla de plástico de 25 x 25 cm y 1 cm de luz de malla (5 plántulas por rejilla). Posteriormente las rejillas se fijan al sustrato (grava o mata) con cuatro barras metálicas de 20 cm colocadas en las esquinas. El anclaje fue exitoso porque ninguna de las rejillas se perdió durante los tres años que duró el experimento. La profundidad era de 10 m. La supervivencia de las plántulas sobre mata fue > 80% tras un año del plantado y del 70% pasados tres años. Sobre grava la supervivencia se redujo (< 25% tras un año, 0% a los tres años). Las plántulas supervivientes crecieron hasta alcanzar una longitud del rizoma al final del experimento de 4,5 cm; el número de hojas, 4,4; la longitud máxima de las hojas, 16 cm, y la anchura, 7 mm. Un 14% de las plántulas se habían ramificado al cabo de tres años. Como elemento de contraste, la supervivencia de plántulas establecidas de forma natural en la zona fue del 66% al cabo de tres años. El resto de caracteres vegetativos fueron también similares a los de las plántulas trasplantadas.

Los trabajos previos de plantación de plántulas indican que la mata muerta de *Posidonia oceanica* maximiza la supervivencia de plántulas y que los sustratos móviles como gravas y arenas son inadecuados para el trasplante.

Terrados et al. [2013] trasplantaron plántulas de 2-3 meses de edad germinadas en acuario a partir de frutos colectados en el arribazón. Un primer experimento evaluó la influencia del lugar de plantado [mata muerta, mata dentro de pradera] y nivel de enterramiento del plantado [bajo/sobre la superficie del sedimento] en la supervivencia y desarrollo de las plántulas tres años después del trasplante. Las plántulas iban colocadas individualmente en macetas de rejilla de plástico que se anclaron al sustrato con dos barras metálicas. Un segundo experimento comparó la supervivencia al cabo de dos años de plántulas trasplantadas con las macetas descritas y plántulas trasplantadas sin ningún tipo de anclaje. Todos los trasplantes se hicieron en el mes de julio.

Un año después del trasplante la supervivencia de las plántulas fue del 75% en mata muerta y del 22% en mata dentro de la pradera viva. Dos años después la mayoría de las plántulas trasplantadas dentro de la pradera habían muerto. La supervivencia de las plántulas en mata muerta fue del 44%. El nivel de plantado no afectó a la supervivencia de las plántulas que se empezaron a ramificar a partir del segundo año de vida, pero sólo aquellas que fueron trasplantadas bajo la superficie del sedimento. Un 50% de las plántulas produjeron entre 1 y 4 haces tres años después del trasplante.

La supervivencia de las plántulas dos años después del trasplante fue del 37% en las plántulas con anclaje y del 26% en las plántulas sin anclaje, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Algunas plántulas se ramificaron a partir del primer año de edad de manera que el 51% de las plántulas habían producido entre 1 y 3 nuevos haces al cabo de dos años.

Antecedentes de trasplante de fragmentos

El trasplante de fragmentos de planta adulta de *Posidonia oceanica* tiene una cierta trayectoria en la que se han testado distintas técnicas y condiciones. La mayoría de estas experiencias obtuvieron los fragmentos para el trasplante directamente de praderas vivas. Esta técnica se desaconseja taxativamente en cualquier caso y a día de hoy está prohibida por la Convención de Berna. *Posidonia oceanica* está catalogada en el listado de especies silvestres en régimen de protección especial del Ministerio Español de Medio Ambiente, RD 139/2011 del 4 de febrero. De estos trabajos previos se ha obtenido información valiosa a aplicar en futuras plantaciones, como coleccionar los fragmentos a mayores o iguales profundidades de la zona de trasplante o elegir fragmentos horizontales.

Tanto el anclaje individual como en mallas han demostrado buen resultado si la fijación al fondo es adecuada. La mayoría de plantaciones se han desarrollado entre junio y noviembre sin efecto claro sobre la supervivencia de los trasplantes, si bien la bibliografía recomienda que la plantación de fragmentos se haga en otoño y primavera.

Meinesz et al. [1992] plantaron rizomas verticales de *Posidonia oceanica* colectados directamente en la pradera y plantados a 5,3 m de profundidad sobre mata en junio. Los rizomas estaban fijados horizontalmente en grupos de 18 a unas rejillas de plástico [50 x 35 cm] de 1 cm de luz de malla que a su vez se fijaron al fondo con 6 piquetas metálicas. Se evaluó el efecto de la longitud del rizoma [7, 12 y 17 cm] y el mes de trasplante [junio, septiembre, diciembre, marzo] en la supervivencia y desarrollo vegetativo de los fragmentos.

El sistema de fijación funcionó bien pues solo se perdieron 2 soportes. La mortalidad a los 12 meses osciló entre 3% y 47% sin diferencias en función del tamaño inicial del rizoma. La mortalidad de los fragmentos trasplantados en septiembre fue del 5%, mientras que los trasplantados en junio, diciembre y marzo tuvieron mortalidades del 23%, 29% y 33%.

Los fragmentos formaron raíces solo en verano. Al cabo de un año entre un 3% y un 69% de los fragmentos tenían raíces mientras que entre un 3% y un 28% estaban ramificados. Los trasplantados en septiembre mostraron la menor ramificación [6-28%] y los de junio la mayor [19-25%]. Como resultado de este trabajo se recomienda que los trasplantes de rizomas verticales [10-15 cm de longitud] se hagan en otoño [temperatura inferior a 20 °C].

En la actualidad la extracción directa de fragmentos para el trasplante de praderas vivas no está permitido. Cualquier daño a la pradera está a día de hoy prohibido. *Posidonia oceanica* está protegida por la Convención de Berna y catalogada en el listado de especies silvestres en régimen de protección especial del Ministerio Español de Medio Ambiente, RD 139/2011 del 4 de febrero.

Molenaar & Meinesz [1992] trasplantaron durante agosto rizomas verticales de *Posidonia oceanica* colectados directamente en la pradera a 3 m y 30 m de profundidad y plantados a 3 m, 14 m, 20 m, 29 m y 36 m de profundidad. Los trasplantes se hicieron en agosto. Los fragmentos se fijaron horizontalmente en grupos de 18 a rejillas de plástico [60 x 17 cm] de 1 cm de luz de malla que a su vez se fijaban con piquetas metálicas al fondo de mata de *Posidonia oceanica*.

Tanto el anclaje individual como en mallas han demostrado buen resultado si la fijación al fondo es adecuada.

La mayoría de plantaciones se han desarrollado entre junio y noviembre sin efecto claro sobre la supervivencia de los trasplantes, si bien la bibliografía recomienda que la plantación de fragmentos se haga en otoño y primavera.

Tres de los 10 lotes de soportes se perdieron, falló la fijación de las rejillas. A los once meses del plantado los fragmentos de 30 m tuvieron supervivencias entre el 93% y el 100% al ser trasplantados a profundidades entre 3 m y 20 m, y del 72% al ser trasplantados a 36 m. Tras el mismo período [11 meses] los fragmentos procedentes de praderas someras a 3 m de profundidad tuvieron supervivencias entre el 5% y el 41% al ser trasplantados a profundidades de 14 m y 29 m, y solo del 3% al trasplantarlos a 36 m.

Todos los fragmentos de 30 m mostraron cambio de hábito de crecimiento [vertical a horizontal] mientras que no ocurrió así en la mayoría de los de 3 m [solo los trasplantados a 14 m se ramificaron, un 44%]. Los fragmentos de 3 m no se ramificaron y solo un lote [los trasplantados a 14 m] produjo raíces. Los fragmentos de 30 m se ramificaron más [22-42%] entre 3 y 20 m de profundidad que a 36 m [11%]. Algo semejante ocurrió con la formación de raíces.

Molenaar et al. [1993] compararon la supervivencia y desarrollo de tres tipos de fragmentos de *Posidonia oceanica*: rizomas verticales con un ápice [haz de hojas], rizomas verticales con dos ápices [2 haces foliares], rizomas horizontales con tres ápices [1 terminal y 2 laterales, es decir, con 3 haces foliares]. Los fragmentos se colectaron y trasplantaron en agosto, a 14 m de profundidad, sobre mata y utilizando rejillas de plástico [60 x 17 cm] de 1 cm de luz de malla, en cada malla se ataron 18 fragmentos verticales o 12 horizontales.

Once meses después del trasplante la supervivencia de los fragmentos horizontales fue del 100%, el 49% había formado nuevos haces [ramificación] y el 97% había formado nuevas raíces. En el caso de los fragmentos de rizoma vertical con dos haces los porcentajes fueron 94%, 8% y 62%, respectivamente. La supervivencia de los fragmentos de rizoma vertical con un solo ápice fue del 31%, con un 9% de fragmentos ramificados y solo el 14% produjeron nuevas raíces.

Meinesz, Caye, et al. [1993] plantaron fragmentos de rizoma de *Posidonia oceanica* colectados directamente en la pradera de distintos tipos y orígenes a lo largo del Mediterráneo. Las plantaciones se hicieron entre septiembre y octubre de distintos años. Se plantaron en una misma área de mata muerta dentro de una reserva marina, cada fragmento individualmente ayudando el anclaje mediante un tipo de gancho metálico y monitorizados durante dos años. Los fragmentos cultivados previamente en acuario entre 4 y 28 meses, mostraron una supervivencia mayor tras su trasplante al mar [60-100%] que los colectados y trasplantados directamente [25-80%].

En la actualidad la extracción directa de fragmentos para el trasplante de praderas vivas no está permitido. Cualquier daño a la pradera está a día de hoy prohibido.

Se observó una mayor mortalidad en aquellos fragmentos que provenían de profundidades menores que la del trasplante [11 m].

Molenaar & Meinesz [1995] evaluaron diferencias en supervivencia, crecimiento y ramificación de fragmentos de rizoma de *Posidonia oceanica* de distintos tipos [verticales, horizontales] en función de la distancia entre los fragmentos trasplantados [entre 5 cm y 20 cm], la disposición espacial de los fragmentos [círculos de tamaño creciente, líneas paralelas con los ápices enfrentados o en la misma dirección] y el tipo de sustrato [mata muerta, arena sin vegetación, arena con *Cymodocea nodosa*]. Las plantaciones se realizaron en abril, julio y octubre sin evaluar si hubo efecto del mes de plantado.

Los resultados revelaron que la supervivencia de los fragmentos fue mayor cuando se plantaron a poca distancia entre sí [5-10 cm], en círculos o en filas paralelas. Los trasplantes realizados en arena sin vegetación no sobrevivieron debido a bioturbación [*Pestarella tyrrhena*].

Augier et al. [1996] describen los resultados de trasplantes de *Posidonia oceanica* utilizando marcos rectangulares de cemento que sujetan los fragmentos [30-35 fragmentos verticales obtenidos de la fragmentación de trozos más grandes formados de manera natural] entre dos capas de malla de alambre. Durante los dos primeros años los ápices se ramifican y a partir de entonces aparecen rizomas horizontales que al cabo de diez años han formado pequeñas manchas de *Posidonia oceanica*.

Piazza et al. [1998] describen un experimento en el que se evaluó la influencia de lugar [tres localidades] y profundidad de origen del fragmento [5, 10 y 20 m] y tipo de fragmento [vertical, horizontal] en la supervivencia y desarrollo de fragmentos colectados y plantados en una de estas localidades. La longitud del rizoma era de 8-9 cm en ambos tipos de fragmentos mientras que el número de haces era 1 en los rizomas verticales y 2 en los horizontales. Los rizomas se fijaron en grupos de 17 a una rejilla plástica [unidad de trasplante] que se fijaba al fondo. La localidad de trasplante albergó en el pasado una pradera de *Posidonia oceanica* siendo el sustrato mata muerta. Los trasplantes se hicieron a una profundidad de 10 m entre junio y septiembre.

La pérdida de unidades de plantado al cabo de tres años fue del 5%. No se detectaron diferencias en supervivencia y desarrollo de los fragmentos según la localidad y profundidad de origen, pero

El trasplante de fragmentos de planta adulta de *Posidonia oceanica* tiene una cierta trayectoria en la que se han testado distintas técnicas y condiciones. De los trabajos previos se ha obtenido información valiosa a aplicar en futuras plantaciones, como coleccionar los fragmentos a mayores o iguales profundidades de la zona de trasplante o elegir fragmentos horizontales.

sí en función del tipo de fragmento. Los fragmentos horizontales tuvieron una mayor supervivencia [76% frente a 59%], longitud de rizoma [9-30 cm frente a 6-20 cm], elongación del rizoma [70% frente a 22%], tiempo para la formación de nuevos haces [5-6 meses frente a >12 meses], número de ramificaciones [9,6 frente a 1,3] al final del experimento. Un 5% de los fragmentos florecieron al final del experimento, pero solo los fragmentos verticales produjeron frutos.

Boudouresque [2001] hace referencia al trabajo de *Charbonnel, Molenaar, & Gravez* [1995] en el que se obtiene una supervivencia para fragmentos de *Posidonia oceanica* trasplantados en la bahía de Prado [Marsella] del 84% al cabo de cuatro años y una duplicación del número de haces por fragmento. No se dan datos de la técnica utilizada. También se comenta que primavera es la mejor época para el trasplante de fragmentos de rizoma horizontal dando como referencia la tesis doctoral de *Molenaar* [1992].

Balestri et al. [2011] utilizan acumulaciones de fragmentos causados por las tormentas [técnica recomendada] que se trasplantan tras ser cultivados en tanques al aire libre durante dos años y son trasplantados al mar durante noviembre. El sustrato donde se trasplantaron es un arrecife artificial formado por escombros de rocas calcáreas, a una profundidad de 1,5 m. La supervivencia de estos fragmentos, con una media de 3,3 haces por fragmento, fue del 50% al cabo de un año y un 40% de estos supervivientes produjeron al menos un nuevo haz foliar.

CAPÍTULO

3

Técnica
de plantado
propuesta

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.

Las experiencias de plantado en el proyecto de 'Técnicas de recuperación y expansión de las praderas de *Posidonia oceanica* mediante reimplante con semillas' testaron la supervivencia y desarrollo de plántulas de *Posidonia oceanica* en dos tipos de sustrato: sobre mata muerta y sobre pradera viva. En ambos sustratos las plántulas se afianzaron con ayuda de un anclaje artificial consistente en una maceta de plástico con lana de vidrio a modo de sustrato, fijada al fondo mediante barras de hierro.

La mata muerta (ausencia de dosel foliar) es el sustrato más adecuado para la replantación de plántulas de *Posidonia oceanica* y no requiere el uso de sistemas de anclajes añadidos.



Detalle de disposición de las plántulas sobre mata: anclaje sobre el sustrato permitiendo la incidencia de luz sobre la semilla (arriba), anclaje por debajo del sustrato impidiendo la incidencia de luz sobre la semilla (abajo).



Tanto en el sustrato de mata como en la pradera, los anclajes se ubicaron con dos disposiciones diferentes: una sobre el sustrato que permitía la incidencia de luz sobre la semilla y otra por debajo del sustrato.

Por otro lado, se testaron las diferencias en la supervivencia de las plántulas cuando se usaba el anclaje artificial para afianzarlas y cuando se plantaban sin necesidad de estructuras añadidas.

Las plántulas plantadas directamente en mata sin anclaje se ramificaron más y desarrollaron más hojas y de mayor longitud.

Detalle de sistema de anclaje de las plántulas sobre sustrato mata: sin anclaje (arriba), con anclaje artificial (abajo).



Transcurridos dos años desde el trasplante no se encontraron diferencias en supervivencia entre las plántulas afianzadas mediante anclaje artificial y natural.

Como resultado de estas experiencias se determinó que la mata muerta (ausencia de dosel foliar) es el sustrato más adecuado para la replantación de plántulas de *Posidonia oceanica* y se descartó el uso de sistemas de anclajes añadidos, al no proveer éstos de mejoras significativas para la supervivencia de los ítems plantados. La plantación sobre sustrato arena ya se había testado en experiencias piloto propias con la pérdida del total del material plantado a profundidades mayores a 20 metros.

Posteriormente en el proyecto 'Restauración de praderas de *Posidonia oceanica* con plántulas; Influencia de la luz, nutrientes y herbivoría' se evaluó si aumentando la disponibilidad de nutrientes en los primeros años de implantación de una plántula la supervivencia o desarrollo se verían beneficiados. Por otro lado, se testaron los efectos de la herbivoría sobre el desarrollo de las plántulas trasplantadas.



Detalle de plántulas con concentración ambiental de nutrientes (arriba) y plántulas con concentración enriquecida de nutrientes (abajo).

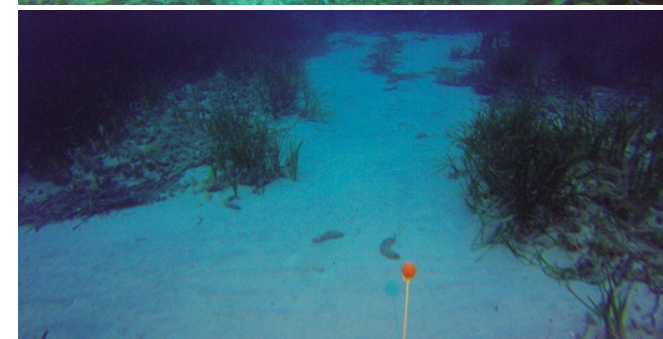


Las plántulas plantadas en un entorno con nutrientes añadidos desarrollaron mayor número de hojas, más anchas y más largas. Sin embargo, los nutrientes parecieron reducir la supervivencia.

La técnica utilizada en el proyecto I+D+i 'Uso de semillas y fragmentos de *Posidonia oceanica* para su recuperación en zonas afectadas por la actividad de REE' y descrita con detalle en esta guía se testó en dos tipos de sustrato cercanos a una pradera de *Posidonia oceanica*: arena y arena consolidada con sacos de grava. La arena es el sustrato natural perturbado que se generó tras los trabajos de colocación del cable de interconexión eléctrica entre Mallorca e Ibiza. Como ya se menciona en los antecedentes de trasplante, los sustratos de sedimento móvil no son adecuados para la supervivencia de plántulas. Por otro lado, existía la necesidad de recuperar el perfil del fondo en aquellos tramos donde la zanja del cable generó un desnivel en la mata de la pradera para

evitar el desplome y la pérdida de mayor superficie de pradera; lo que conllevó la instalación de sacos de arpillera rellenos de grava para la estabilización del perfil. Estos sacos de material biodegradable rellenos de grava constituyen el segundo sustrato sobre el que se ejecutaron las plantaciones.

A continuación, se describen detalladamente las etapas de trabajo necesarias para poner en práctica la técnica de plantado desarrollada para el proyecto de I+D+i 'Uso de semillas y fragmentos de *Posidonia oceanica* para su recuperación en zonas afectadas por la actividad de REE'.



Detalle de sustrato arenoso y sustrato consolidado con sacos de plantado.

72%

Supervivencia de fragmentos tras un año de plantado

20%

De los fragmentos con balance positivo en el número de haces tras un año de plantado

80%

Supervivencia de fragmentos plantados sobre sustrato consolidado con sacos de grava (60% en el caso de sacos de arena)



CAPÍTULO

4

Fases previas
al plantado

La selección y caracterización del área, la tramitación de permisos, las colectas del material para la plantación y la preparación y transporte del material de plantado son algunos de los procesos previos al proceso de plantado.

Selección y caracterización del área

En primer lugar, debemos preguntarnos qué objetivos perseguimos con la replantación, lo que nos ayudará a acotar el proyecto.

Se debe seleccionar, delimitar, caracterizar y documentar la zona a replantar. Seleccionar zonas bajo figuras de protección previas puede agilizar la tramitación documental necesaria para el trasplante. Se debe conocer la historia del área a restaurar y 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 en el entorno sirve de indicador de la calidad de agua y la disponibilidad de luz. La presencia o ausencia de pradera o parches de *Posidonia oceanica* en buen estado en las proximidades es una muestra de la adecuación del entorno para el desarrollo de Posidonia. Se recomienda acompañar estas observaciones con medidas directas de la disponibilidad de luz y caracterización de los sedimentos (contenido en materia orgánica y granulometría) en la zona a replantar.

En la caracterización del área de actuación previa al inicio del proyecto de replantación se deben considerar;

1. Condiciones ambientales

Tipo	Valores de referencia	Observaciones
Calidad agua intersticial	NO ₃ + NO ₂ + NH ₄ - 300-645 μM PO ₄ - 9 -43,4 μM H ₂ S <10 μM	Media anual, medidas tomadas en los 5 primeros cm de sedimento [Alcoverro, Duarte, & Romero, 1995; Alcoverro & Romero, 1997; Calleja, Marbà, & Duarte, 2007]
Disponibilidad de luz	>338 μE m ⁻² s ⁻¹	Medidos en verano a la profundidad de la planta. [Gacia et al., 2012; Serrano, Mateo, & Renom, 2011]
Tipo de sustrato	Mata de posidonia	

Tipo	Valores de referencia	Observaciones
Caracterización de sedimentos: Materia orgánica	< 5%	[Cancemi, De Falco, & Pergent, 2003; Invers, Pérez, & Romero, 1995]
Caracterización de sedimentos: Granulometría	Arenas y limos. No fangos	
Batimetría	0-40 metros	Según rango de distribución de las praderas en la zona a replantar
Comunidad circundante	Comunidad autóctona de algas fotófilas	Sin proliferaciones de especies invasoras. Se recomienda que la presencia de <i>C. prolifera</i> y <i>C. racemosa</i> sea limitada [Holmer, Marbà, Lamote, & Duarte, 2016]
Hidrodinamismo	Situación hidrodinámica reestablecida si se hubiera modificado	

2. Otros condicionantes

- Sólo se considerará la replantación en áreas donde haya existido Posidonia y preferiblemente donde aún se encuentre establecida de manera natural, aunque haya sufrido alguna afección.
- Sólo se considerará la replantación en ausencia de impactos. Cuando los impactos que generaron la afección sobre la pradera hayan cesado y bajo la previsión de que no se van a reinstaurar.
- Se identificará y planificará la gestión de las potenciales futuras afecciones a la zona de replantación.
- Es necesario implementar un programa de seguimiento de la supervivencia de los ítems plantados. La supervivencia se debe evaluar al menos una vez al año durante los años siguientes a la plantación. Es deseable mantener el seguimiento varios años tras la plantación. Plantar Posidonia no es un objetivo válido en sí mismo, el objetivo es ayudar a su recuperación para lo cual es necesario evaluar el éxito de la plantación.

La presencia o ausencia de pradera o parches de *Posidonia oceanica* en buen estado en las proximidades es una muestra de la adecuación del entorno para el desarrollo de Posidonia.



- El seguimiento de la recuperación de la comunidad en los años posteriores a la plantación, es deseable pero no obligado.

Tramitación

Previamente a la puesta en marcha de un proyecto de replantación de *Posidonia 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*.
- Demarcación de costas, como responsable de autorizar proyectos de ocupación del lecho marino. Un proyecto de replantación puede requerir este permiso tanto para la replantación en sí misma, si la planta va acompañada de un sistema de anclaje artificial, como para la señalización/protección del área de replantación con boyas o 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.

Colectas del material para la plantación

Como ya se ha mencionado entre las figuras de protección de las praderas como del hábitat, *Posidonia oceanica* es también 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 medioambiental competente que aplique en cada caso y autorizadas formalmente. La recolecta de fragmentos a la deriva generados por procesos naturales, como tormentas, se recomiendan como método de obtención del material de plantado.

Colecta de fragmentos de *Posidonia oceanica*:

Las praderas de *Posidonia oceanica* pueden generar paisajes diversos, desde praderas simples con batimetrías suaves, praderas de

La colecta de fragmentos

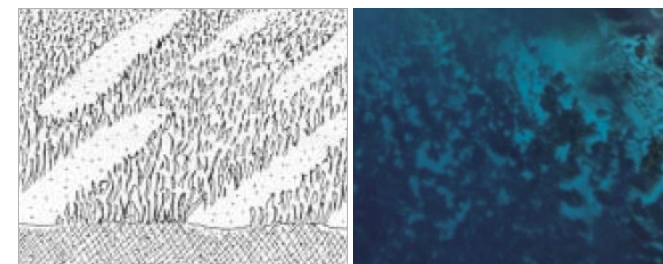
Dónde: áreas recomendables de prospección en los claros en praderas simples muy parcheadas o con meandros.

Cómo: los buceadores colectan sobre acumulaciones de fragmentos a la deriva que se encuentran en los claros de las praderas parcheadas.

Tipo de fragmento: crecimiento horizontal con al menos dos haces verticales.

Cuándo: en otoño/invierno tras un temporal.

colina, praderas de microatolones o praderas atigradas entre otros (Boudouresque et al., 2006). En todas ellas se intercalan áreas sin *Posidonia* viva –zonas de mata– normalmente cubiertas por una capa de arena y que pueden estar colonizadas, o no, por macrófitos de crecimiento más rápido. La frecuencia y tamaño de estas áreas varía según el tipo de pradera y son las zonas de acumulación natural de los fragmentos arrancados naturalmente de la pradera por efecto de los temporales. Los claros en praderas de colina maduras, las praderas simples muy parcheadas o con meandros son lugares adecuados para la recolecta.



Detalles de morfologías de pradera parcheada y con meandros (Fte. Boudouresque et al., 2006)

La colecta se realiza de forma manual por buceadores con escafandra autónoma. Se debe priorizar la colecta de fragmentos de crecimiento horizontal con al menos dos haces verticales lo que maximizará la supervivencia durante el cultivo y plantado del material (Molenaar et al., 1993, Piazzini et al., 1998).

Se recomienda hacer la colecta en invierno cuando la incorporación de nutrientes a través de las hojas es máxima (Alcoverro, Manzanaera, & Romero, 2000) si bien también es posible recolectar durante las estaciones de otoño y primavera según el régimen de oleaje y temporales del año.



Imagen de colecta en acumulación natural de fragmentos (izq.). Detalle de fragmento tipo usado en la plantación (dcha.).

Colecta de semillas de *Posidonia oceanica*:

La temporada de colecta de semillas de *Posidonia oceanica* se restringe a los meses de final de primavera y es irregular, dado que no hay floración anualmente [Balestri, 2004; Díaz-Almela et al., 2006]. En zonas más cálidas y/o más someras la maduración de los frutos ocurrirá antes [Buia & Mazzella, 1991], por lo que la temporada de recolecta de frutos cambiará según la zona del Mediterráneo en que se realice el proyecto de replantación. La recolecta se puede dar desde mediados de abril hasta finales de junio.

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.



Imagen de recolecta de semillas.

Detalle de semillas dañadas no aptas para el cultivo.

La colecta se hace en el arribazón de las playas donde se produce una acumulación natural de frutos maduros que, tras haberse desprendido de la planta, son arrastrados hasta la costa por el viento. Estos frutos serán viables durante menos de 24 horas sobre la arena, por lo que se trata de frutos que se han perdido para el proceso de reclutamiento natural de las praderas. Dado que los frutos flotan y son dispersados por el viento, las playas donde concentrar los esfuerzos de colecta deben escogerse de acuerdo con el régimen de vientos durante las 12-24 h previas a la recogida.

Condiciones de cultivo generales

Tanto para fragmentos de planta adulta como para semillas se requiere disponer de flujo abierto continuo de agua de mar, que ayuda a mantener la salinidad natural (en torno a 37 PSU), reduce las proliferaciones de algas y las infecciones en el material de plantado. En caso de cultivo de plántulas, si no se dispone de flujo continuo de agua de mar, la instalación de cultivo puede darse en circuito cerrado de agua marina, en cuyo caso será necesario corregir semanalmente la salinidad del agua y renovar completamente el agua de los acuarios cada mes. Si el flujo de agua es suficiente, no será necesario disponer de un sistema de aireación del agua. La filtración del agua y la aplicación de radiación ultravioleta antes de la entrada de agua 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.

Como tarea de mantenimiento durante la fase de cultivo, se inspeccionarán los fragmentos y/o plántulas cada 2-3 días para sacar de los acuarios aquellos fragmentos y plántulas que estén deteriorados o muertos y evitar así la propagación de infecciones al resto. También se controlará el crecimiento de algas epífitas, que puede afectar negativamente el desarrollo de los fragmentos y, especialmente, de las plántulas de *Posidonia oceanica*. Los epífitos serán eliminados de las hojas de forma manual para evitar daños en las hojas. Además, se eliminarán cuando sea posible de forma manual los invertebrados (e.g. gasterópodos, isópodos, anfípodos) que hayan podido ser introducidos en el sistema de cultivo y que sean potenciales predadores de *Posidonia oceanica*. El control de predadores en el cultivo de plántulas es sencillo, ya que no es frecuente encontrar fauna viva en los frutos del arribazón. Sin embargo, los fragmentos vendrán acompañados de un sinnúmero de invertebrados alojados entre las hojas y rizomas. Dado que plántulas y semillas pueden ser preferidas por los herbívoros frente a la planta adulta, se recomienda que el cultivo de plántulas y fragmentos no se dé en el mismo medio.

La fase de cultivo de fragmentos en proyectos en los que se manejen grandes cantidades de plantas puede eliminarse, abaratando los costes del proyecto. Sin embargo, es una etapa recomendable en la que se descartan fragmentos enfermos o debilitados.

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

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 $\cdot \text{m}^{-2}$

Cultivo de fragmentos de planta adulta

El cultivo de fragmentos previo al plantado es una etapa recomendable, si bien no imprescindible, como proceso de criba de plantas en mal estado. 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, Manzanera, & Romero, 1998; Gacia et al., 2005] con un fotoperiodo [luz/oscuridad] adecuado a la época del año del cultivo. Alternativamente, los fragmentos podrían cultivarse al aire libre, utilizando el sol como fuente de iluminación [Balestri et al., 2011], pero se debe vigilar la subida de la temperatura en los meses de verano.

No fue necesaria la presencia de un sustrato para el cultivo de los fragmentos de planta adulta que puede hacerse sobre rejillas o bandejas de plástico suspendidas por debajo de la superficie del agua. La densidad media durante la etapa de cultivo que se utilizó fue 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 [3-4 haces por fragmento].

El control de la fauna introducida en el sistema de cultivo junto con los fragmentos puede acarrear dificultades, especialmente si el período de cultivo 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 o poliquetos se puede probar a introducir en el medio algún predador natural en densidad adecuada al volumen del medio de cultivo, si bien no podemos asegurar su eficacia con base en nuestra experiencia de cultivo.

Cultivo de plántulas

En el caso de las semillas el cultivo es imprescindible para permitir la germinación y el desarrollo de raíces de la plántula que favorecerán el éxito del plantado. El tiempo mínimo de cultivo previo a la plantación de plántulas se estima entre 6 y 8 semanas desde la germinación para dar tiempo al desarrollo del sistema radicular. El cultivo de plántulas se puede hacer en acuarios de distintos tamaños, las semillas deben estar separadas entre sí entre 7-10 cm [densidad máxima aproximada $40 \text{ plántulas} * 0,25 \text{ m}^2$], con disponibilidad de luz superior a $64-89 \mu\text{moles de fotones} * \text{m}^{-2} * \text{s}^{-1}$ para asegurar la saturación por luz de la fotosíntesis [Hernán et al., 2016, 2017]. Alternativamente, las plántulas podrían también cultivarse al aire li-

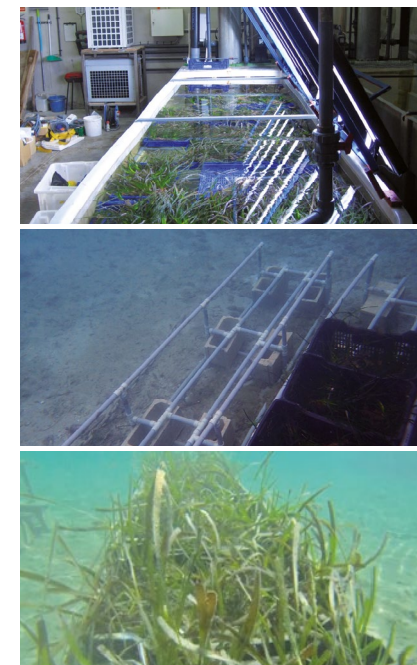
El tiempo mínimo de cultivo previo a la plantación de plántulas se estima entre 6 y 8 semanas desde la germinación para dar tiempo al desarrollo del sistema radicular.



Escanea este código QR para ver el video



Ejemplo de instalaciones de cultivo de fragmentos en acuario con flujo continuo de agua de mar y al aire libre.



bre pero seguramente sea necesario el uso de malla sombreadora y se debe vigilar la subida de la temperatura en los meses de verano.

Un sustrato de grava o arena en contacto con las semillas durante la germinación favorecerá el desarrollo de raíces verticales que incrementarán la resistencia de las plantaciones al hidrodinamismo [Balestri et al., 2015; Guerrero-Meseguer et al., 2016], siempre que la plantación se ejecute sobre sustratos consolidados [Infantes et al., 2011]. Las semillas son fotosintéticamente activas por lo que la incidencia de la luz sobre las semillas es esencial para la germinación y desarrollo de las plántulas, las semillas no deben enterrarse [Celdrán & Marín, 2013].

Abajo a la derecha detalle de cultivo de semillas. En las dos fotografías de la izquierda detalle de instalación de cultivo de fragmentos.



Preparación del material para plantado

Los fragmentos de planta adulta necesitan reforzar el anclaje al sustrato antes de la plantación. Con este objetivo cada fragmento se atará previamente a un estribo de hierro [Verduin & Sinclair, 2013] cubierto con cera de abeja en la parte central para evitar que la corrosión del metal modifique el entorno de las raíces. 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 material vegetal. Los materiales del sistema de atado deben ser resistentes a la inmersión en agua salada durante varios años.

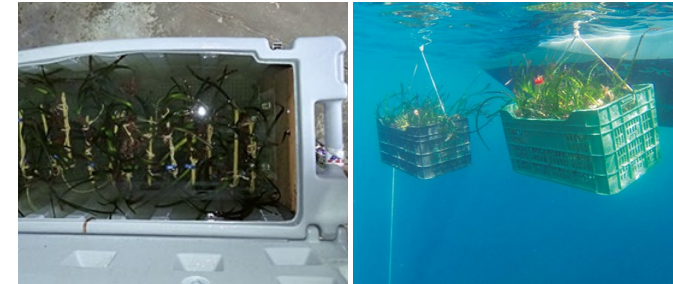
Las plántulas no necesitan preparación previa al plantado.



Arriba detalle de sistema de anclaje de fragmentos durante las actividades de puesta a punto de la técnica. En el centro fragmento plantado en mata de Posidonia.



Abajo, imagen de una parcela de fragmentos en disposición lineal sobre sustrato consolidado con sacos.



Detalle de transporte de fragmentos en tierra y bajo el agua.



Detalle de transporte de plántulas.

Transporte del material de plantado

El transporte de plántulas a la zona de plantación no conlleva dificultad. Se hará siempre con las plantas sumergidas en agua de mar, bien en un recipiente rígido o bien en bolsas con autocierre, estas últimas presentan la ventaja de poder usarse directamente para el transporte durante las inmersiones de plantado.

El transporte de fragmentos a la zona de plantado implica mayor dificultad. Los fragmentos de planta adulta al igual que las plántulas deben ser transportados sumergidos en agua de mar, pero son más voluminosos, son delicados y van atados a los 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.

CAPÍTULO

5

Fases durante
el plantado

El plantado de posidonia conlleva el etiquetado de las plántulas o fragmentos, el control de su ubicación y disposición, el seguimiento de su supervivencia y desarrollo y medidas de reducción de la bioturbación.

Etiquetado

Para describir la evolución detallada de las plantas previamente será necesario caracterizar las plántulas o fragmentos, o una porción representativa que se definirá según las dimensiones del proyecto, antes de la plantación y mantener las plantas identificadas individualmente para su seguimiento posterior. Se recomienda que la identificación de las plántulas se haga por ubicación sin añadir ningún etiquetado físico a la plántula que provocará con alta probabilidad la rotura de tejidos. Cada plántula será identificada con un sistema de coordenadas: e.g. la plántula en primera posición 'A1' estará ubicada en la 'fila' A y 'columna' 1, la plántula 'A2' (ubicada a la derecha de la anterior) estará en la segunda posición de la 'fila' A [ver diagrama]. Este método nos permitirá no añadir etiquetado físico a la frágil estructura de las plántulas. Para que este método sea posible, la forma de marcar cada grupo de plántulas trasplantadas debe indicar, no solo la presencia y número del grupo, como ya se ha indicado, sino también el sentido en el que se debe hacer el seguimiento.

●

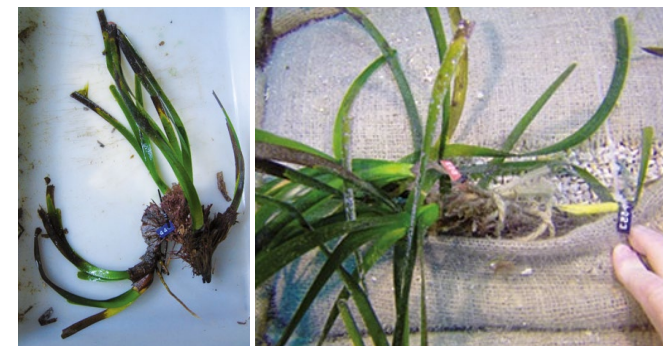
A1	A2	A3	A4	A5
B1	B2	B3	B4	B5
C1	C2	C3	C4	C5
D1	D2	D3	D4	D5
E1	E2	E3	E4	E5

Detalle de identificación por posición de las plántulas para las labores de seguimiento tras el plantado. Una barra o piqueta diferenciada, representada por un punto rojo, se situará para indicar el sentido correcto para el seguimiento del grupo de plántulas.

En el caso de fragmentos se recomienda el etiquetado con bridas y etiquetas de impresión de relieve [no usar impresión de tinta]. Las bridas se atarán sobre los estribos y se puede reforzar con un segundo etiquetado (respetando siempre la misma numeración) sobre el rizoma del fragmento. El motivo del doble etiquetado es asegurar que no perdemos la identificación de los fragmentos de seguimiento. En caso de colocar una segunda etiqueta sobre el fragmento, irá colocada sobre el segmento de rizoma entre el grupo apical de haces y el primer haz vertical del fragmento y la brida quedará holgada alrededor del rizoma. Mantener esta posición nos permitirá saber en

Se recomienda que la identificación de las plántulas se haga por ubicación sin añadir ningún etiquetado físico a la plántula que provocará con alta probabilidad la rotura de tejidos.

los sucesivos seguimientos si se han generado nuevos haces desde el grupo apical. Las etiquetas de colores claros (e.g. amarillo) son más fáciles de detectar y leer bajo el agua. Se recomienda evitar colores verdosos, azulados o marrones para el etiquetado.



Detalle de etiqueta sobre fragmento y fragmento plantado con doble etiquetado.

Ubicación y disposición

La plantación de plántulas y fragmentos debe hacerse sobre mata muerta de *Posidonia oceanica*. En el caso de los fragmentos la distancia entre ejemplares debe asegurar que los estribos no se obstaculicen y permitir un seguimiento individualizado de cada fragmento. En la plantación descrita la distancia entre fragmentos fue de 20 centímetros. Trabajos previos señalan un aumento de la supervivencia a distancias de 5 centímetros entre ejemplares [Molenaar & Meinesz, 1995] si bien plantaciones a distancias de 20 centímetros entre fragmentos también ofrecen buenos resultados de supervivencia. En cuanto las plántulas se recomienda una distancia entre 5-10 centímetros entre ejemplares.

Detalle de parcela de plantación de plántulas sobre sustrato mata.





Escanea estos códigos QR para ver los videos



Las plántulas se trasplantan manualmente. Se debe ayudar con los dedos para que las raíces de la plántula se alojen en el sustrato. Una vez colocada se presiona suavemente sobre el sustrato para aumentar el contacto de raíces y estimular el crecimiento.

La plantación de los fragmentos atados a los estribos se hará presionando sobre el estribo. En función de la dificultad de penetración del sustrato nos podremos ayudar de herramientas que aumenten la fuerza ejercida (martillo), aplicándolo siempre sobre el estribo. En ningún caso se presionará directamente sobre el fragmento. Se debe procurar además que las raíces del fragmento queden en contacto con la superficie del sustrato.

La disposición del material plantado (plántulas o fragmentos) puede ser lineal o en cuadrícula. Para facilitar el seguimiento del material plantado se recomienda indicar con barras o boyas cada grupo de plantas, así como el número de plantas en cada grupo. Cada grupo de plantas debe ir identificado mediante etiqueta numerada u otro código acordado. 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 (ej. 20%) en el caso de replantaciones a mayor escala.

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 o plántulas deben ir agrupados previamente en sets de plantado, un sistema de transporte ordenado será de gran ayuda (ver apartado de transporte del material de plantado). Una posibilidad son bolsas con autocierre para las plántulas, con una bolsa para cada set de plantado. Y cajas de plástico de 40-50 cm de fondo con una rejilla plástica de 1*1 cen-



Detalle de caja para el transporte ordenado de fragmentos durante las inmersiones

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.

tímetros cuadrados 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 o seguimiento una tablilla con el diagrama de la plantación y en su caso con las plantas que debemos encontrar en cada grupo será de gran ayuda y agilizará el trabajo debajo del agua.

Detalle de tablilla para seguimiento ordenado de la plantación.



Se debe procurar que los grupos de plantado sean equivalentes, mezclando fragmentos de distintos tamaños, distintos lotes de colecta (por pradera donante o fecha) si los hubiera y evitar agrupar juntos los fragmentos más grandes o del mismo origen.



Detalle de parcela de disposición lineal de plantación de fragmentos en arena (arriba) y sobre sustrato consolidado con sacos (abajo).

Caracterización y seguimiento

Los descriptores que se pueden registrar previamente al plantado para hacer el seguimiento detallado a lo largo del tiempo de los fragmentos son: el número de haces por fragmento, el número de hojas por haz, la longitud de la hoja más larga de cada haz, la anchura de la segunda hoja más joven de cada haz, el número y tipo de marcas de herbívoros por haz, la longitud del rizoma entre el grupo apical y el último haz vertical. Si el fragmento tiene más de una ramificación se toman las medidas para cada rama. Las medidas mínimas a determinar previas al plantado son el número de haces verticales del fragmento, el número de hojas por haz y la longitud de rizoma entre el grupo apical y el vertical.



Fragmento para plantado con grupo apical y 4 haces verticales [izquierda].

Detalle de grupo apical. Se señala la base de la hoja [ligula] desde donde se comienza a medir la longitud de la hoja más larga [centro].

Detalle de medida de la longitud del rizoma entre el grupo apical y el primer haz vertical [derecha].

Los descriptores para las plántulas que se pueden registrar previamente al plantado son: longitud y anchura de la semilla, número y longitud de todas las raíces, número y longitud de todas las hojas, anchura de las hojas. Las medidas mínimas a determinar serán longitud y anchura de la semilla, número de hojas de la plántulas y número de raíces.

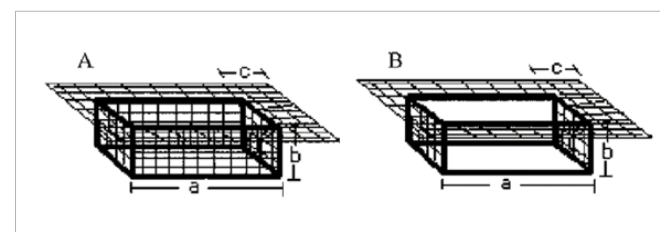
Estos descriptores nos permitirán saber si el material plantado [plántula o fragmento] está desarrollando nuevas hojas o haces, y ver si el rizoma está creciendo. La medida de marcas de herbívoros no es necesaria, pero sí recomendable, especialmente en plantaciones que puedan verse comprometidas por la herbivoría.

En el seguimiento posterior al plantado se pueden mantener las mismas medidas, exceptuando las medidas sobre rizoma y raíces. En el caso de las plántulas, si se hubieran ramificado se tomarán las medidas para cada rama.

Los descriptores nos permitirán saber si el material plantado [plántula o fragmento] está desarrollando nuevas hojas o haces, y ver si el rizoma está creciendo.

Medidas de reducción de la bioturbación

En las plantaciones de plántulas que son fácilmente desarraigadas se recomienda tomar medidas para evitar los efectos de la bioturbación. Por ejemplo, mediante la instalación de redes o mallas, de luz menor de 2 centímetros cuadrados, en torno a los grupos de plántulas trasplantadas, desalentará el acceso de organismos bentónicos reptadores [e.g. holoturias, estrellas de mar...]. Según Alves, Chíchara, Serrao, & Abreu (2003) si en el borde superior de las mallas se incorpora otra malla horizontal o en pendiente negativa, se dificultará aún más el acceso de macroinvertebrados.



Detalle de sistema de exclusión de macroinvertebrados. Extraído de Alves et al., 2003.



Imagen de bioturbación: estrella de mar arrastrando plántulas de la plantación.

CAPÍTULO

6

Coste económico de la técnica

El coste económico mostrado en la guía se ha establecido en base a la experiencia en la contratación del I+D+i 'Uso de semillas y fragmentos de *Posidonia oceanica* para su recuperación en zonas afectadas por la actividad de REE' y el proyecto de restauración del Bosque Marino de Red Eléctrica [más información www.ree.es/es].

Actualmente la técnica presentada en la guía se encuentra en su etapa de emergencia o introducción, por lo que se espera que si se desarrolla hasta su madurez los costes unitarios expuestos a continuación disminuyan considerablemente.

En la siguiente tabla se desglosa el precio estimado de ítem plantado que varía según la superficie total plantada; la distribución de parcelas de plantado es uniforme en toda la superficie y la densidad de plantación constante [i.e. 1.600 plántulas o fragmentos en ¼ de hectárea]. El coste incluye materiales, recursos humanos, recursos técnicos y logística asociada y se presenta desglosada para fragmentos y semillas.

Actividad	Coste ítem (€) / 2.500 m²	Coste ítem (€) / 10.000 m²
Plantado fragmentos	26,68 €	12,40 €
Unidad Plantado Semillas	22,16 €	8,17 €

Los costes están estimados para una campaña de trabajo de campo en la que se planta la superficie indicada en la tabla. A mayor escala de superficie plantada se observa una reducción de costes del 46% en fragmentos y del 36% en semillas.

Tomando como ejemplo el Bosque Marino de Red Eléctrica (dos hectáreas de plantación), en el caso de plantar 2.500 m² /campaña, el coste total sería 341.504,00 € para fragmentos y 283.648,00 € para semillas. Por el contrario, en el caso de plantar 10.000 m²/ campaña, el coste total sería 158.720,00 € para fragmentos y 104.576,00 € para semillas.

A mayor escala de superficie plantada se observa una reducción de costes:

46%
EN FRAGMENTOS

36%
EN SEMILLAS

CAPÍTULO

7

Conclusiones

La técnica descrita en esta guía recoge gran parte del conocimiento generado hasta ahora sobre trasplante de *Posidonia oceanica* y lo aplica en una metodología viable técnica y económicamente.

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 *Posidonia oceanica* 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 & Piwowarczyk, 2016]. Según el cálculo de coste por ítem plantado basado en los resultados del proyecto, se sitúa en los 8,17-22,16 euros/plántula y los 12,40-26,68 euros/fragmento. El coste de replantar una hectárea de *Posidonia oceanica* dependerá del diseño de plantado y de la densidad de ítems deseada.

Esta técnica puede formar parte de medidas de restauración de actuaciones que produzcan impactos meramente mecánicos [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 se reestablecen [Bryars & Neverauskas, 2004; Di Carlo, Badalamenti, Jensen, Koch, & Riggio, 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 et al., 1996] y que las medidas de restauración no darán como resultado una pradera en dimensiones equivalentes a la pradera afectada por la obra 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 evaluado como la tasa de supervivencia a corto plazo. Esto es una característica frecuente en proyectos de restauración de ecosistemas marinos, sin embargo, los proyectos de restauración deben por definición incluir medidas de la recuperación de funciones del ecosistema restaurado, en términos de diversidad, estructura y procesos [Ruiz-Jaen & Aide, 2005]. Si la medida del éxito de los proyectos de replantación se basa por el momento 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.

La presente guía realiza el esfuerzo de aglutinar y analizar los principales estudios realizados sobre colecta, cultivo y trasplante

La *Posidonia* es una planta de crecimiento muy lento y las medidas de restauración no darán como resultado una pradera en dimensiones equivalentes a la pradera afectada por la obra hasta transcurridos varios siglos.



Escanea estos códigos QR para ver los vídeos



de *Posidonia oceanica* escritos hasta la fecha. Añadiendo la experiencia obtenida tras la realización del proyecto de I+D+i 'Uso de semillas y fragmentos de *Posidonia oceanica* para su recuperación en zonas afectadas por la actividad de Red Eléctrica de España', y que en los próximos años se expandirá con la experiencia desarrollada en el proyecto 'Bosque Marino de Red Eléctrica'.

Esta guía de plantado de *Posidonia oceanica* tiene el objetivo principal de dar difusión a las técnicas descritas e incentivar su implantación en diferentes áreas degradadas presentes en el Mediterráneo. Es ánimo de todo el equipo de trabajo, que la guía de plantado sea replicada y alimentada de otras experiencias para la identificación de aspectos de mejora y optimizar la eficiencia en el plantado de *Posidonia oceanica*, contribuyendo así en la conservación de un hábitat único y de alto valor ecológico.



Bibliografía

- Alagna, A., Fernández, T. V., Terlizzi, A., & Badalamenti, F. [2013]. Influence of microhabitat on seedling survival and growth of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* [L.] Delile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 119, 119-125. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.01.009>
- Alcoverro, T., Duarte, C. M., & Romero, J. [1995]. Annual growth dynamics of *Posidonia oceanica*: contribution of large-scale versus local factors to seasonality. *Marine Ecology Progress Series*, 120 (Duarte 1991), 203-210. <http://doi.org/10.3354/meps120203>
- 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.
- 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.
- Alcoverro, T., & Romero, J. [1997]. Spatial and temporal variations in nutrient limitation of seagrass *Posidonia oceanica* growth in the NW Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 146, 155-161. Retrieved from <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v146/p155-161/>
- Alves, F. M. A., Chícharo, L. M., Serrao, E., & Abreu, A. D. [2003]. Grazing by *Diadema antillarum* [Philippi] upon algal communities on rocky substrates. *Scientia Marina*, 67(3), 307-311. <http://doi.org/10.3989/scimar.2003.67n3307>
- Augier, H., Eugene, C., Harmand-Desforges, J. M., & Sougy, A. [1996]. *Posidonia oceanica* re-implantation technology of the marine gardeners is now operational on a large scale. *Ocean and Coastal Management*, 30, 297-307. [http://doi.org/10.1016/0964-5691\(95\)00064-X](http://doi.org/10.1016/0964-5691(95)00064-X)
- 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., de Battisti, D., Vallerini, F., & Lardicci, C. [2015]. First evidence of root morphological and architectural variations in young *Posidonia oceanica* plants colonizing different substrate typologies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 154, 205-213. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.01.002>
- 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., & Lardicci, C. [2008]. First evidence of a massive recruitment event in *Posidonia oceanica*: Spatial variation in first-year seedling abundance on a heterogeneous substrate. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76 (3), 634-641. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.07.048>
- Balestri, E., Piazzì, 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)

- 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(5), 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., & Silliman, 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>
- 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>
- 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>
- Belzunce, M., Navarro, R. M., & Rapoport, H. F. [2008]. ***Posidonia oceanica* seeds from drift origin: Viability, germination and early plantlet development.** *Botanica Marina*, 51(1), 1-9. <http://doi.org/10.1515/BOT.2008.005>
- 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. [2001]. **La restauration des écosystèmes à Phanérogames marines.** *Restauration Des Écosystèmes Côtiers: Brest: Ifremer*. Retrieved from http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=NeyqoGJU-hYC&oi=fnd&pg=PA65&dq=a+restauration+des+écosystèmes+à+Phanérogames+marines&ots=Y3Q0Lfu9Bc&sig=I3rgiXDlbp_6CXG3SngdzJAlls
- 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
- 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>
- Buia, M. C., & Mazzella, L. [1991]. **Reproductive phenology of the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* [L.] Delile, *Cymodocea nodosa* [Ucria] Aschers., and *Zostera noltii* Hornem.** *Aquatic Botany*, 40(4), 343-362. [http://doi.org/10.1016/0304-3770\(91\)90080-0](http://doi.org/10.1016/0304-3770(91)90080-0)
- Calleja, M. L., Marbà, N., & Duarte, C. M. [2007]. **The relationship between seagrass [*Posidonia oceanica*] decline and sulfide porewater concentration in carbonate sediments.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73(3-4), 583-588. <http://doi.org/10.1016/J.ECSS.2007.02.016>

- 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>
- Cancemi, G., De Falco, G., & Pergent, G. [2003]. **Effects of organic matter input from a fish farming facility on a *Posidonia oceanica* meadow.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(5-6), 961-968. [http://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00295-0](http://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00295-0)
- 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>
- Charbonnel, E., Molenaar, H., & Gravez, V. [1995]. **Réimplantations de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* dans le golfe de Marseille [Bouches-du-Rhône].** Ville de Marseille.
- Clewell, A., Aronson, J., & Winterhalder, K. [2004]. **The SER International primer on ecological restoration.** *Ecological Restoration*, 2(2), 206-207. <http://doi.org/S34>
- Dapson, I. [2011]. **Assessing ecosystem recovery in transplanted *Posidonia australis* at Southern Flats, Cockburn Sound.**
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>

- Gacía, E., Kennedy, H., Duarte, C. M., Terrados, J., Marbà, N., Papadimitriou, S., & Fortes, M. [2005]. [Light-dependence of the metabolic balance of a highly productive Philippine seagrass community](#). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 316, 55–67. <http://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.10.008>
- Gacía, 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>
- Genot, I., Caye, G., Meinesz, A., & Orlandini, M. [1994]. [Role of chlorophyll and carbohydrate contents in survival of *Posidonia oceanica* cuttings transplanted to different depths](#). *Marine Biology*, 119, 23–29. <http://doi.org/10.1007/BF00350102>
- Giraud. [1977]. [Contribución 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>
- Guerrero-Meseguer L., Sanz-Lázaro C., Suk-ueng K., Marín A. [2016] [Influence of substrate and burial on the development of *Posidonia oceanica*: Implications for restoration](#). *Restoration Ecology* 25:453–45
- Guerrero-Meseguer L., Marín A., Sanz-Lázaro C. [2017] [Future heat waves due to climate change threaten the survival of *Posidonia oceanica* seedlings](#). *Environmental Pollution* 230:40–45
- Hernán, G., Ortega, M. J., Gándara, A. M., Castejón-Silvo, I., Terrados, J., & Tomas, F. [2017]. [Future warmer seas: Increased stress and susceptibility to grazing in seedlings of a marine habitat-forming species](#). *Global Change Biology*, [May], 1–14. <http://doi.org/10.1111/gcb.13768>
- Hernán, G., Ramajo, L., Basso, L., Delgado, A., Terrados, J., Duarte, C. M., & Tomas, F. [2016]. [Seagrass \[*Posidonia oceanica*\] seedlings in a high-CO₂ world: from physiology to herbivory](#). *Scientific Reports*, 6(1), 38017. <http://doi.org/10.1038/srep38017>
- Holmer, M., Marbà, N., Lamote, M., & Duarte, C. M. [2016]. [Deterioration of Sediment Quality in Seagrass Meadows \[*Posidonia oceanica*\] Invaded by Macroalgae \[*Caulerpa* sp.\]](#), 32(3), 456–466. <http://doi.org/10.1007/s12237-009-9133-4>
- Infantes, E., Orfila, A., Bouma, T. J., Simarro, G., & Terrados, J. [2011]. [Posidonia oceanica and Cymodocea nodosa seedling tolerance to wave exposure](#). *Limnology and Oceanography*, 56(6), 2223–2232. <http://doi.org/10.4319/lo.2011.56.6.2223>
- Invers, O., Pérez, M., & Romero, J. [1995]. [Alkaline phosphatase activity as a tool for assessing nutritional conditions in the seagrass *Posidonia oceanica* \(L.\) Delile](#). *Scientia Marina*, 59(1), 41–47.
- 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>

- Marbà, N., Duarte, C. M., Cebrián, J., Gallegos, M., Olesen, B., & Sand-Jensen, K. [1996]. [Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean Coast: Elucidating seagrass decline](#). *Marine Ecology Progress Series*, 137, 203–213. <http://doi.org/10.3354/meps137203>
- Marín-Guirao, L., Sandoval-Gil, J. M., Ruíz, J. M., & Sánchez-Lizaso, J. L. [2011]. [Photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* in response to simulated salinity increases in a laboratory mesocosm system](#). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92(2), 286–296. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.01.003>
- Mcdonald T., Gann, G. D., Jonson, J., & Dixon, K. W. [2016]. [International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts](#). SER, [December]. Retrieved from http://cymcdn.com/sites/www.ser.org/resource/resmgr/docs/SER_International_Standards.pdf
- Meinesz, A., Caye, G., Loquès, F., & Molenaar, H. [1991]. [Growth and development in culture of orthotropic rhizomes of *Posidonia oceanica*](#). *Aquatic Botany*, 39, 367–377. [http://doi.org/10.1016/0304-3770\(91\)90010-3](http://doi.org/10.1016/0304-3770(91)90010-3)
- 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>
- Meinesz, A., Molenaar, H., Bellone, E., & Loques, F. [1992]. [Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*: I Effects of rhizome length and trasplantation season in ortotropic shoots](#). *Marine Ecology*, 13(2), 163–174. <http://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1992.tb00348.x>
- Meinesz, A., Molenaar, H., & Caye, G. [1993]. [Transplantations de phanerogames marines en Mediterranee](#). *BOLLETTINO DI OCEANOLOGIA TEORICA ED APLICATA*, 11(3–4), 183–190.
- Molenaar, H. [1992]. [Etude de la transplantation de boutures de *Posidonia oceanica* \(L.\) delile, phanerogames marines. Modelisation de l'architecture et du mode de croissance](#). Nice Sophia-Antipolis.
- Molenaar, H., & Meinesz, A. [1992]. [Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. II Effects of depth changes on trasplanted orthotropic shoots](#). *Marine Ecology*, 13(2), 175–185. <http://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1992.tb00348.x>
- 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.
- Olsen, Y. S., Sánchez-Camacho, M., Marbà, N., & Duarte, C. M. [2012]. [Mediterranean Seagrass Growth and Demography Responses to Experimental Warming](#). *Estuaries and Coasts*, 35(5), 1205–1213. <http://doi.org/10.1007/s12237-012-9521-z>

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>

Piazzì, 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>

Ruiz-Jaen, M. C., & Aide, T. M. [2005]. *Restoration Success: How Is It Being Measured?*, 13 [3], 569-577.

Ruiz-Jaen, 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>

Serrano, O., Mateo, M. A., & Renom, P. [2011]. *Seasonal response of *Posidonia oceanica* to light disturbances*. *Marine Ecology Progress Series*, 423, 29-38. <http://doi.org/10.3354/meps08955>

Shuster, W. D. [2004]. *Restoration in practice*. [M. R. (University of E. A. Perrow & A. J. (University of E. A. Davy, Eds.), *Handbook of Ecological Restoration* (Vol. 33). Cambridge: Cambridge University Press. <http://doi.org/10.2134/jeq2004.2389>

Statton, J., & Kendrick, G. A. [2014]. *Inorganic Nutrient Supplements Constrain Restoration Potential of Seedlings of the Seagrass, *Posidonia australis**. *Restoration ...*, 22 [2], 196-203. <http://doi.org/10.1111/rec.12072>

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>

Verduin, A., & Sinclair, E. a. [2013]. *Seagrass meadow restoration trial using transplants - Cockburn Sound, Western Australia | EMR Project Summaries*. Retrieved from <https://site.emrprojectssummaries.org/2013/03/08/seagrass-meadow-restoration-trial-using-transplants-cockburn-sound-western-australia/>

Edita

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA
Paseo del Conde de los Gaitanes, 177
28109 Alcobendas [Madrid]
Tel. 91 650 85 00
Fax. 91 640 45 42
www.ree.es

Redacción

Inés Castejón Silvo,
icastejon@imedea.uib-csic.es
Borja Álvarez Enríquez,
boalvarez@ree.es
Jorge Terrados Muñoz,
terrados@imedea.uib-csic.es

Coordinación técnica

Departamento de Medio Ambiente de RED ELÉCTRICA

Edición

Departamento de Marca e Imagen Corporativa de RED ELÉCTRICA

Diseño y maquetación

dis_ñ
estudio@dis-n.es



Red Eléctrica trabaja en la selección de las fuentes tipográficas más legibles en sus publicaciones. Los textos y gráficos de este libro se han compuesto con la fuente tipográfica Geogrotesque.



RED
ELÉCTRICA
DE ESPAÑA



CSIC



Universitat
de les Illes Balears

Instituto Mediterráneo
de Estudios Avanzados