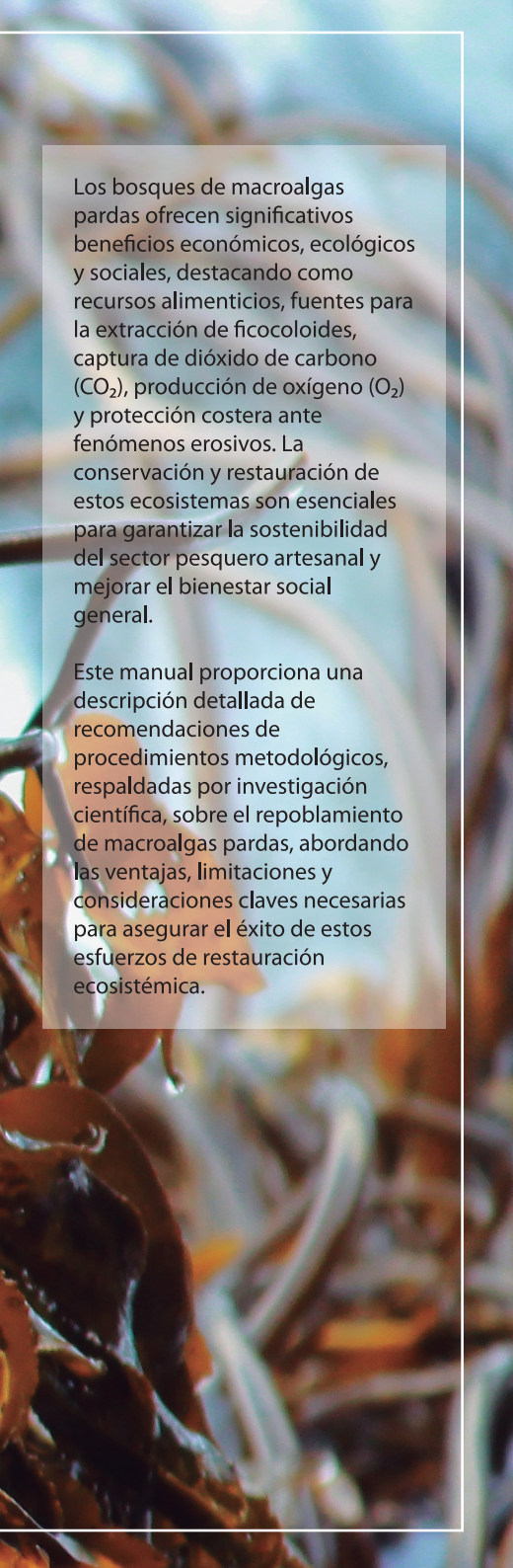




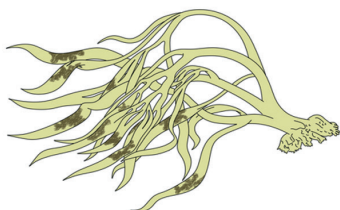
Manual de Buenas Prácticas para el Repoblamiento de Algas Pardas

Loretto Contreras-Porcía, Bernardo Broitman, Andrés Meynard,
Benjamín Pinilla-Rojas, Cristian Bulboa, Fadia Tala, Ricardo Otaíza,
Cesar Pedrihi, Armando Rosson, Manuel Núñez, Javiera Vera-Duarte,
Geraldine Véliz, Fernanda X. Oyarzún, Daniel González,
Nelson Lagos, Ana María Mora y Nicolás Segovia.



Los bosques de macroalgas pardas ofrecen significativos beneficios económicos, ecológicos y sociales, destacando como recursos alimenticios, fuentes para la extracción de ficocoloides, captura de dióxido de carbono (CO_2), producción de oxígeno (O_2) y protección costera ante fenómenos erosivos. La conservación y restauración de estos ecosistemas son esenciales para garantizar la sostenibilidad del sector pesquero artesanal y mejorar el bienestar social general.

Este manual proporciona una descripción detallada de recomendaciones de procedimientos metodológicos, respaldadas por investigación científica, sobre el repoblamiento de macroalgas pardas, abordando las ventajas, limitaciones y consideraciones claves necesarias para asegurar el éxito de estos esfuerzos de restauración ecosistémica.



2025

ISBN: 78-956-7247-97-4

Cita: Contreras-Porcía L, Broitman B, Meynard A, Pinilla-Rojas B, Bulboa C, Tala F, Otaíza R, Pedrini C, Rosson A, Núñez M, Vera-Duarte J, Véliz G, Oyarzún FX, González D, Lagos N, Mora AM, Segovia N I. Santiago de Chile. Manual de buenas prácticas para el repoblamiento de algas pardas. ISBN 78-956-7247-97-4; 72 pp.

Email para correspondencia: lorettocontreras@unab.cl

Editora de contenidos: Loretto Contreras-Porcía

Diseño editorial: Fernanda X. Oyarzún

Ilustraciones: Felipe Portilla y Fernanda X. Oyarzún

Fotografía portada: *Lessonia spicata* en el intermareal de Quintay. Fotografía por Cristian Bulboa.

Para más información

visita el sitio web de LEBMA – UNAB:



Manual de buenas prácticas para el repoblamiento de algas pardas

INSTITUCIONES Y CENTROS DE INVESTIGACIÓN

Instituto Milenio en Socio Ecología Costera (SECOS)
Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ), UNAB
Centro de Ecología Aplicada & Sustentabilidad (CAPES)
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Algas y otros Recursos Biológicos (CIDTA-UCN)
Centro de Investigación e Innovación para el Cambio Climático, Facultad de Ciencias (UST)

INVESTIGADORES

Dra. Loretto Contreras-Porcía

Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ), Universidad Andrés Bello
Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera, SECOS

Dr. Bernardo Broitman

Departamento de Ciencias, Facultad Artes Liberales, Universidad Adolfo Ibáñez
Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera, SECOS

Dr. Andrés Meynard

Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ), Universidad Andrés Bello
Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera, SECOS

Biol. Mar. Benjamín Pinilla-Rojas

Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ), Universidad Andrés Bello
Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera, SECOS

Dr. Cristian Bulboa

Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ), Universidad Andrés Bello

Dra. Fadia Tala

Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Católica del Norte
Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera, SECOS

Dr. Ricardo Otaíza

Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias
Universidad Católica de la Santísima Concepción

Ing. Acuí. César Pedrini

Bitecma Ltda

T. Rec. Mar. Armando Rosson

Bitecma Ltda

MSc y Biol. Mar. Manuel Núñez

Departamento de Ciencias, Facultad Artes Liberales

Universidad Adolfo Ibáñez

Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera, SECOS

MSc y Biol. Mar. Javier Vera-Duarte

Departamento de Ciencias, Facultad Artes Liberales

Universidad Adolfo Ibáñez

Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera, SECOS

Biol. Mar. Geraldine Véliz

Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ),

Universidad Andrés Bello

Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera, SECOS

Dra. Fernanda X. Oyarzún

Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera, SECOS

Dr. Daniel González

Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias

Universidad Católica de la Santísima Concepción

Dr. Nelson Lagos

Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás

Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera, SECOS

Dr (c). Ana María Mora

Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás

Dr. Nicolás I. Segovia

Instituto Milenio en Socio Ecología Costera, SECOS





ÍNDICE

1. PRESENTACIÓN

Presentación	9
--------------	---

2. INTRODUCCIÓN GENERAL

Introducción general	13
----------------------	----

3. REPOBLAMIENTO DE ALGAS: SUS OBJETIVOS, VENTAJAS Y DIFICULTADES

Definición de repoblamiento	17
Objetivos	18
Ventajas	19
Dificultades	19

4. CARACTERIZACIÓN DE ZONAS ADECUADAS PARA EL REPOBLAMIENTO DE ALGAS PARDAS

Información biótica y abiótica de la zona prevista	23
Consideraciones del marco normativo	24

5. CONSIDERACIONES DE TRABAJO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE CULTIVO

Colecta de material reproductivo	31
Inicio de cultivo	32
Seguimiento de cultivo	35

6. CÓMO TRASLADAR LAS ALGAS A REPOBLAR DESDE EL LABORATORIO AL MAR

Consideraciones previas a la instalación en el mar	41
Consideraciones del trabajo en el mar	42
Caracterización ecológica de los sitios de trabajo	43
Metodología para realizar censos visuales en ecosistemas submareales	44
Metodología para realizar censos visuales en ecosistemas intermareales	50
Caracterización física de los sitios de trabajo	51
Condiciones climáticas y oceanográficas para el trabajo en el mar	53
Instalación en áreas seleccionadas	54
Notas a considerar para el trabajo de campo	58

7. REFERENCIAS

63

8. ANEXOS

Planilla registro de especies sésiles	69
Planilla registro de especies móviles	70
Planilla registro de peces	71

The background of the slide is a solid teal color. Overlaid on this is a detailed, light-colored line drawing of a ship's mast and rigging. The drawing shows a complex network of ropes, pulleys, and structural elements, typical of a sailing vessel's interior. The lines are fine and detailed, giving it the appearance of a technical or historical illustration.

1. PRESENTACIÓN

PRESENTACIÓN

Chile se posiciona como uno de los principales exportadores de huiro del mundo proveniente de poblaciones naturales, sustentando directa e indirectamente a miles de personas y generando ingresos superiores a los US\$ 100 millones anuales (Vásquez et al., 2024). En los últimos 10 años (2013–2023), se extrajeron un promedio 471.989 toneladas anuales de algas pardas. De estas, aproximadamente el 60% provienen de los reportes de desembarques portuarios (283.075 tons/año), el 4,9% de las Áreas de Manejo (AMERBs) (23.146 tons/año), y el 35,1% de zonas libres mediante recolección directa (165.768 tons/año) (Figura 1). Es por tanto, que el manejo apropiado de bosques de grandes algas pardas, como *Lessonia* (huiro negro y huiro palo) y *Macrocystis pyrifera* (huiro canutillo), puede tener importantes impactos, tanto económicos como ecológicos.

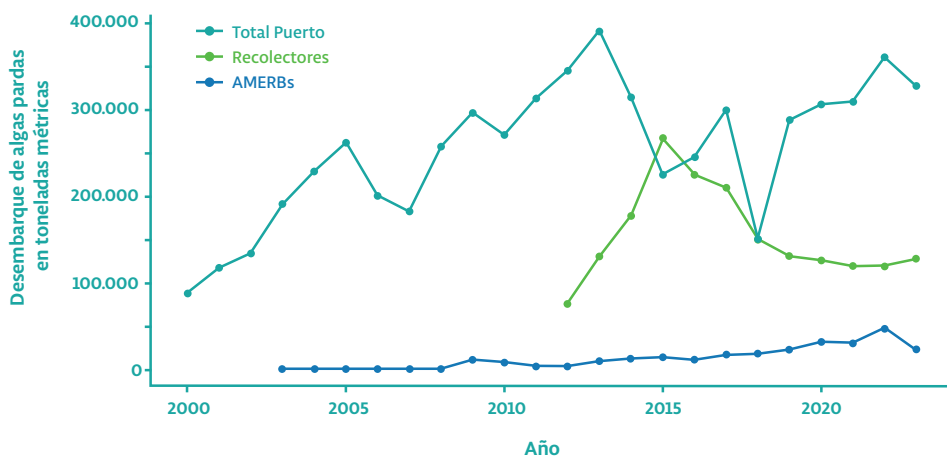


Figura 1. Desembarque de macroalgas pardas en el periodo 2000 a 2023. Fuente SERNAPESCA 2023, Elaboración Nicolás Segovia, DataCenter SECOS.

Actualmente hay aproximadamente más de 100.000 pescadores activos en el Registro Pesquero Artesanal (RPA) en Chile. De ellos, 67.145 tienen autorización para la extracción de algas pardas (huiros y cochayuyo), lo que representa el 66,6% del total. De los pescadores que se dedican a algas, aproximadamente el 69,1% son hombres y el 30,9% son mujeres (SERNAPESCA 2023, DataCenter SECOS).

Los bosques de grandes algas pardas pueden ser cosechados y comercializados para alimento humano directo o para alimento de invertebrados en cultivo, como materia prima para la extracción de ficocoloides y fuentes de biomoléculas para diversos productos, así como para aplicaciones en la agricultura, entre otros. Más aún, su presencia también tiene diversos efectos positivos para el ser humano y los ambientes marinos: absorben CO_2 , liberan O_2 y pueden ser usados como biorremediadores (Bellorín et al., 2022). Además, su presencia puede tener un rol fundamental en favorecer la diversidad de organismos, incluyendo numerosos recursos pesqueros, e incluso puede proteger la línea de costa de la energía del oleaje.

Por esto, mantener, proteger y restaurar los bosques de grandes algas pardas tiene efectos positivos no solo para el sector pesquero artesanal sino también para la sociedad en general.

La abundancia de estos bosques puede disminuir a causa de diferentes factores, tanto naturales como acciones humanas, llegando incluso a desaparecer localmente. Sin embargo, se han propuesto diferentes mecanismos para lograr la mantención y recuperación de estos bosques. Entre estos, están las técnicas activas de **repoblamiento**. Es en este contexto, que el presente manual tiene como objetivo informar sobre la normativa en Chile de repoblamiento de algas, ventajas y desventajas como las consideraciones previas y durante el proceso de repoblamiento para que este sea exitoso.

El grupo de investigadores de este trabajo ha desarrollado investigación en el repoblamiento de algas pardas y hoy en día llevamos a cabo la misión de restaurar zonas de alto impacto antropogénico en nuestro país; como lo es la zona de Quintero-Puchuncaví en la Región de Valparaíso, Chile; Caleta Horcón (RES EXT. N° 1094; SUBPESCA) (Oyarzo-Miranda et al., 2020; Contreras-Porcía et al., 2023). Esta experiencia interdisciplinar, que involucra activamente a la comunidad costera, ha sido vital para el desarrollo efectivo de la actividad, ya que integra el conocimiento tradicional y científico. Además, un mayor número de disciplinas que sean integradas durante el proceso permiten el éxito del repoblamiento.



Investigador del proyecto de repoblamiento de algas pardas monitoreando un bosque de *Macrocystis pyrifera*. Fotografía: Víctor Molina-Valdivia.



2. INTRODUCCIÓN GENERAL

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los bosques de macroalgas, también conocidos como bosques de huiro, se distribuyen a lo largo de toda la costa de Chile, siendo el huiro negro (*Lessonia berteroana/spicata*) y el huiro flotador (*Macrocystis pyrifera*) las especies más representativas (Aguilera et al., 2019). Estos bosques submarinos forman ecosistemas esenciales que albergan una amplia biodiversidad de especies y proporcionan servicios ecosistémicos claves, como el secuestro de carbono y la atenuación del oleaje (Wernberg et al., 2019; Eger et al., 2023). En el norte y centro de Chile, la intensa extracción de estas macroalgas está alterando significativamente la estructura de los ecosistemas costeros intermareales y submareales (Vásquez, 2016). En contraste, las poblaciones más remotas de la región magallánica presentan un impacto antropogénico mucho menor, lo que ha permitido que estos bosques persistan durante siglos sin mayores perturbaciones (Friedlander et al., 2020; Mora-Soto et al., 2021).

La creciente presión por la intensa extracción en Chile no solo genera impactos negativos en todo el ecosistema, sino también a nivel socioecológico, ya que los bosques de algas pardas representan una de las principales fuentes de ingresos para diversas comunidades costeras (Vásquez, 2016). Igualmente, Chile ha promovido y desarrollado la acuicultura de macroalgas, ya que, frente a este escenario de sobreexplotación y los riesgos asociados a la desaparición de estos bosques, la acuicultura podría convertirse en una estrategia clave para reducir la presión sobre las poblaciones naturales y mitigar los impactos negativos tanto ecológicos como socioeconómicos (Oyarzo-Miranda et al., 2023).

La explotación y gestión sostenible de los bosques de huiros requiere comprender las dinámicas espaciales y temporales de su biomasa (Betancourt et al., 2018). Sin embargo, el monitoreo de las poblaciones de bosques de macroalgas a lo largo de las costas chilenas enfrenta importantes desafíos debido a la extensa longitud del litoral y la pronunciada topografía costera en las principales zonas de extracción (Frangoudes, 2011; Vásquez, 2016). Los estudios sobre la distribución y abundancia de las especies de bosques de huiro son escasos, y en su mayoría se centran en poblaciones locales con metodologías diversas, lo que dificulta la realización de análisis comparativos a grandes escalas espaciales y temporales. Recientemente, modelos de distribución proyectados bajo escenarios de cambio climático pronostican una disminución en la idoneidad del hábitat para el huiro flotador a lo largo de la costa del norte de Chile (Assis et al., 2023; Gonzalez-Aragon et al., 2024).

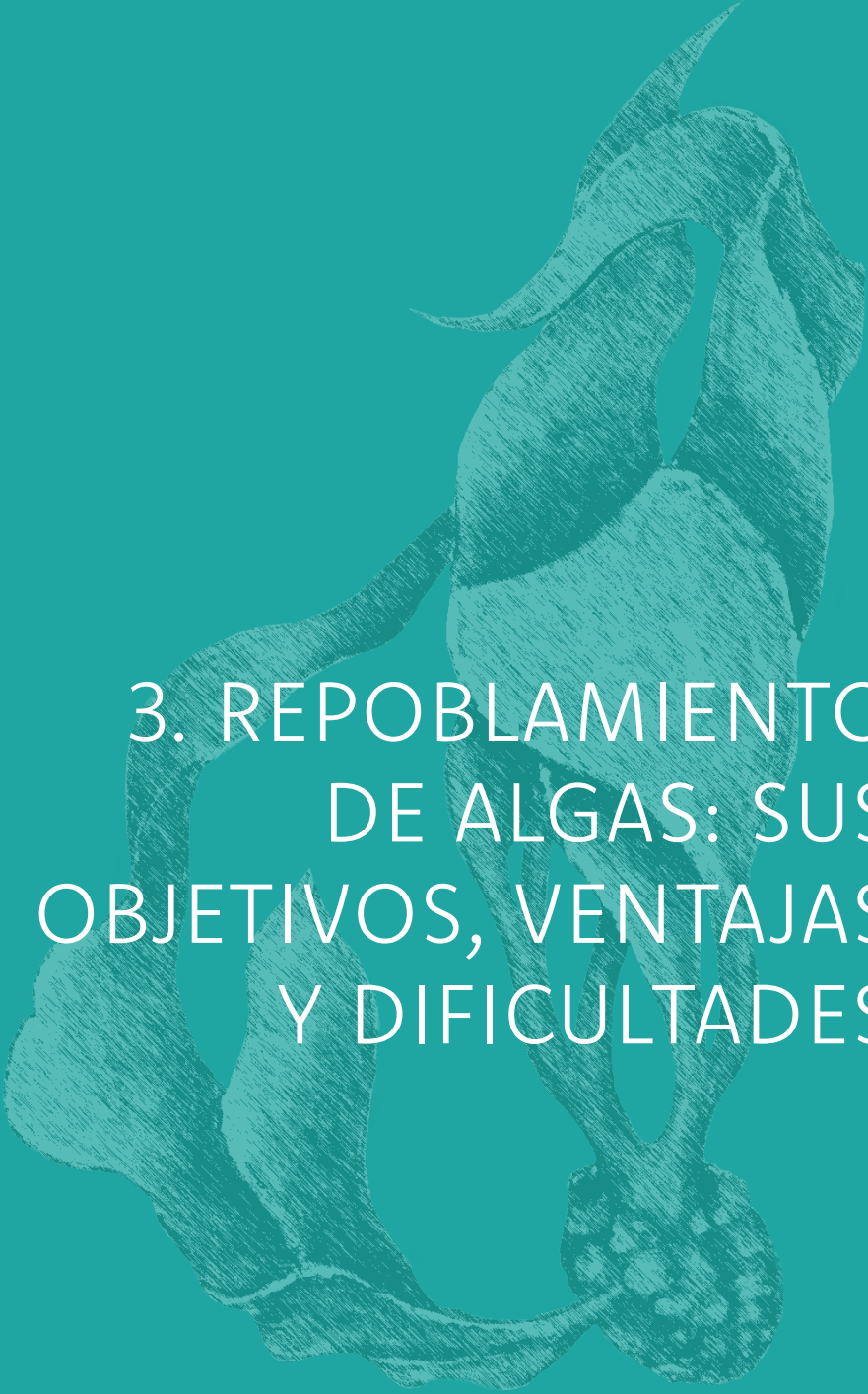
Frente a los desafíos impuestos por la sobreexplotación, el cambio climático y la pérdida de hábitats, el repoblamiento de bosques de macroalgas surge como una estrategia clave para garantizar la sostenibilidad de estos ecosistemas y los beneficios socioeconómicos que proporcionan. Experiencias exitosas en el repoblamiento han demostrado que la restauración de huero flotador puede contribuir no solo a la recuperación de las funciones ecológicas, como la provisión de refugio y alimento para diversas especies marinas, sino también a la mejora de la productividad pesquera en comunidades costeras (Eger et al., 2023). Sin embargo, para maximizar su efectividad, las iniciativas de repoblamiento deben estar respaldadas por investigaciones científicas que consideren factores como la idoneidad del hábitat, la conectividad entre poblaciones y la selección de zonas prioritarias para su implementación. Además, es crucial incorporar la participación activa de las comunidades locales, promoviendo prácticas de manejo sostenible que integren el conocimiento tradicional y científico. En esta línea, el repoblamiento que nuestro equipo ha realizado en Caleta Horcón se está desarrollando conjuntamente con la comunidad costera que posee el conocimiento sobre dónde se encontraba antiguamente el bosque de macroalgas. Esto ha sido constatado con fotografías antiguas de la Caleta Horcón e igualmente mediante herramientas de percepción remota con imágenes satelitales se puede averiguar el lugar exacto de este antiguo bosque (Figura 2). Esta información es clave de cara a un repoblamiento para tener una idea de donde estaba el bosque que se pretende recuperar.



Figura 2. A la izquierda, una fotografía antigua de Caleta Horcón muestra una mancha oscura en el agua al fondo, correspondiente a un bosque de *Macrocystis pyrifera*. A la derecha, una imagen de Landsat 5 (con una resolución de píxel de 30 m) del verano de 1986 muestra el índice de vegetación NDVI, identificando la actividad fotosintética en la misma área.



Bosque de *Macrocystis pyrifera* en la
localidad de Punta de Parra, Región del
Bio-bío. Fotografía: Prosub.



3. REPOBLAMIENTO DE ALGAS: SUS OBJETIVOS, VENTAJAS Y DIFICULTADES

DEFINICIÓN DE REPOBLAMIENTO

La Ley General de Pesca y Acuicultura (Ley 18.892) define el repoblamiento como el “conjunto de acciones que tienen por objeto incrementar o recuperar la población de una determinada especie hidrobiológica, por medios artificiales o naturales, dentro de su rango de distribución geográfica”.

El repoblamiento es una de las acciones de manejo que puede ser aplicada para restaurar bosques de grandes algas pardas donde han desaparecido, han reducido su número poblacional o ser instalados donde su presencia podría significar cambios favorables para un entorno modificado por la acción del ser humano (e.g., muelles, barreras contra oleaje).

Repoblar con algas pardas significa, en esencia, sembrar o trasplantar nuevos individuos en el sustrato marino donde habitualmente se desarrollan, o usar otros mecanismos que logren instalar y aumentar la densidad de individuos en una población.

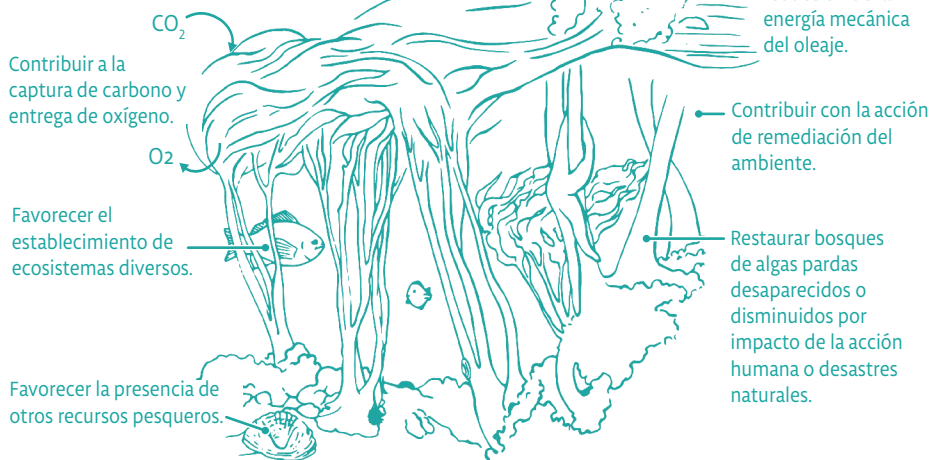
Además, se requiere de infraestructura desarrollada para ese efecto.

Si bien las actividades de cultivo podrían lograr mayor rendimiento, calidad y predictibilidad en la biomasa cosechable que praderas naturales o repobladas, sería necesario determinar si monocultivos tendrían el mismo efecto ecosistémico y ambiental que áreas repobladas.

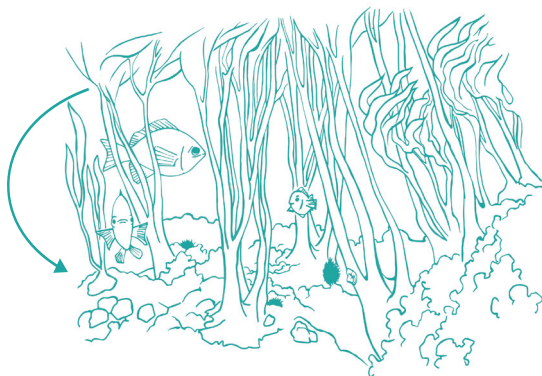


OBJETIVOS

1. **Ecológicos/ambientales:** Restablecer o recuperar los servicios ecosistémicos que proveen los bosques de grandes algas pardas en relación con:



2. **Productivos:** Aumentar el número de individuos potencialmente cosechables. Favorecer la dinámica poblacional a través del reclutamiento natural.



3. **Sociales:** Mejorar, estabilizar y recuperar zonas impactadas por la disminución de grandes algas pardas, permitiendo disminuir los efectos sociales y económicos negativos producto del deterioro de estos ambientes.



VENTAJAS

- Es posible diseñar estrategias que requieran de baja inversión para su implementación.
- Requiere de conocimiento de un número reducido de procesos biológicos para instalar los nuevos individuos, ya que el crecimiento ocurre en ambientes y condiciones naturales.
- Podría requerir baja inversión durante la etapa de crecimiento, ya que se realiza en condiciones naturales.
- Al realizarse en los fondos rocosos naturales, genera externalidades positivas hacia el entorno.
- Acciones de repoblamiento fomentan el trabajo colaborativo y llevan a una valoración positiva de los usuarios por el cuidado de los ecosistemas.

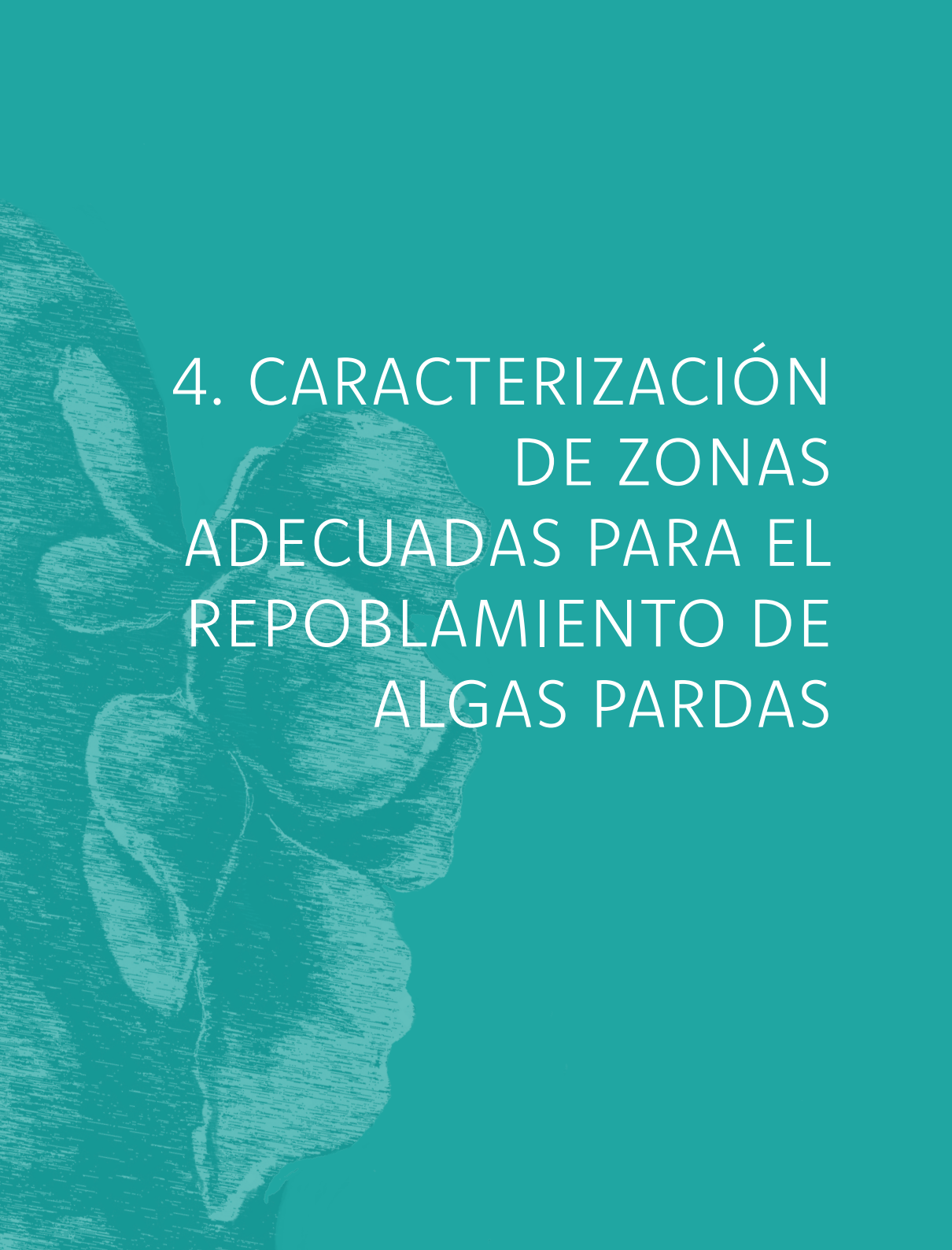
DIFICULTADES

- Requiere de semilleros o producción de plántulas para las actividades de repoblamiento.
- Escasas evaluaciones económicas de acciones de repoblamiento de algas pardas.
- Baja disponibilidad de técnicas, probadas en su efectividad y costo para las especies objetivo (*Lessonia* spp., *Macrocystis pyrifera*).
- Vulnerabilidad de las nuevas poblaciones repobladas a remoción humana.
- Alta mortalidad por factores como herbivoría, incrementos de temperatura y otros asociados al área costera a repoblar.
- Bajo conocimiento y desarrollo de técnicas de selección de cepas o plántulas con mejores potencialidades para responder al repoblamiento y cambios del ambiente.
- Dificultad en escalar y transferir las tecnologías a usuarios.
- Acceso a financiamiento para actividades de repoblamiento.





Molusco *Scurria scurra* en *Lessonia spicata* en el intermareal de la desembocadura del río Bío-bío.
Fotografía: Fernanda Oyarzún



4. CARACTERIZACIÓN DE ZONAS ADECUADAS PARA EL REPOBLAMIENTO DE ALGAS PARDAS

INFORMACIÓN BIÓTICA Y ABIÓTICA DE LA ZONA PREVISTA

El primer paso en cualquier proyecto de repoblamiento de especies bentónicas del borde costero es determinar el mejor lugar donde desarrollar la siembra de los nuevos ejemplares. Para ello, es necesario contar con la mayor cantidad de información biótica y abiótica de la zona prevista para su desarrollo, enfocada a la especie a repoblar.

Dentro de la información biótica necesaria, está la densidad, estado poblacional y geolocalización de los bancos de la especie a repoblar dentro del área de repoblamiento. De igual manera, se requiere contar con los datos de densidad y geolocalización de las principales especies depredadoras de la especie a repoblar dentro del sector.

Los principales datos abióticos del sector a repoblar y así determinar el sitio a utilizar son: la batimetría (profundidades) y la litología (tipos de fondo). Sin embargo, se pueden agregar otros datos importantes a los antecedentes, como corrientes, oleaje, vientos, clima, hidrografía, poblacionales y otros.

En el caso específico de *Lessonia spicata*, esta necesita de fondo rocoso intermareal y submareal somero expuesto al oleaje, mientras que *Macrocystis pyrifera* requiere de fondo submareal mixto, entre roca y arena, en sitios de baja energía de oleaje. Ambas especies cuentan con una diversa gama de depredadores herbívoros: erizos, gastrópodos y peces (Figura 3). Esto, sin contar las especies con las cuales compiten por el espacio.

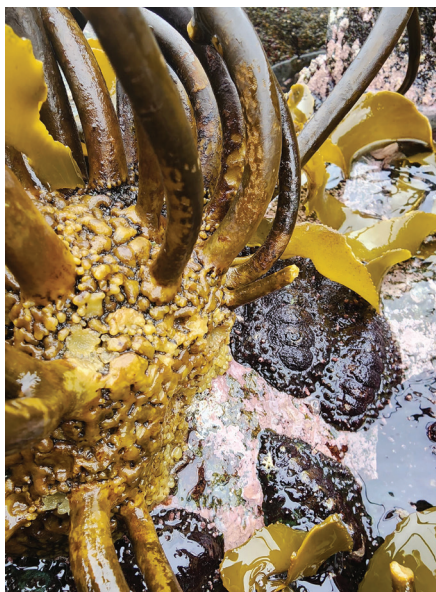


Figura 3. Invertebrados bajo el dosel de ejemplar de *Lessonia spicata* repoblada en Caleta Horcón. Fotografía: LEBMA - UNAB.

CONSIDERACIONES DEL MARCO NORMATIVO

Existe otro aspecto a considerar que tiene relación con el marco normativo del repoblamiento, puesto que este está claramente normado para los repoblamientos en área de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERBs), no así para sectores de libre acceso. Dado lo anterior, las presentes indicaciones se remitirán a lo normado para áreas de manejo.

El reglamento de área de manejo (Decreto Supremo MINECON N°355 de 1995) indica que se debe informar la ubicación geográfica y superficie del o los polígonos a repoblar, identificados con coordenadas geográficas en datum WGS-84. Para la determinación de esta superficie, se debería contar con las características de los hábitats de la especie a repoblar, como describimos en un principio, a condición de que el sector determinado sea el más adecuado. Para lo anterior, es necesario contar con la carta batilitológica del sector o área de manejo. Esta carta indica las profundidades (batimetría) y los fondos (litología) del sector.

Se debe tener en consideración la antigüedad de las cartas batilitológicas ya existentes, puesto que estas son elaboradas en los estudios base de las AMERB y pueden tener más de 20 años. De no contar con una carta reciente, lo recomendable es la realización de una nueva carta batilitológica del área de manejo o del sector de interés a repoblar.

Al respecto, es importante reconocer el aporte del conocimiento empírico de los pescadores, los cuales pueden tener información histórica no registrada sobre donde existieron praderas de las macroalgas objetivo del repoblamiento, o cuales son los fondos coincidentes con los hábitats de dichas macroalgas. Sin embargo, es el levantamiento de datos de fondo y sus profundidades lo ideal para una buena determinación.

La elaboración de una carta batilitológica conlleva dos tomas de datos, una relacionada con las profundidades o batimetría y otra relacionada con la tipificación de fondos o sustratos. Para la obtención de datos de profundidad se requiere hacer un barrido con un ecosonda del sector de interés o del área de manejo. Técnica subacuática mediante el uso de un sonar monohaz o multihaz, ecosonda, o ecosonda de barrido lateral, que permitan penetrar en el fondo, para la obtención del perfil vertical de la interfaz sedimento y columna de agua, el cual debe estar unido a un posicionador satelital o GPS, para la ubicación de cada dato tomado



Figura 4. Ejemplo de una grilla previa de muestreo de profundidades y tipos de fondo de un sector del área de manejo de Caleta Horcón, Región de Valparaíso, Chile. Imagen gentileza de Bitecma Ltda.

y posterior proyección. El barrido debe hacerse lo más rigurosamente posible, es decir las líneas de recorrido lo más apegado posible. Generalmente, y dependiendo de la zona a cubrir, estas líneas de barrido pueden ser con una separación mínima de unos 30 metros a unos 100 metros. Los datos capturados por el ecosonda debieran ser almacenados para su posterior proceso de elaboración de carta batimétrica. Paralelo al barrido de ecosonda, se debiera hacer el levantamiento de datos para describir la litología (tipos de fondo) del sitio de interés a repoblar o del área de manejo en su totalidad. Para ambos objetivos se requiere la elaboración de una grilla previa de muestreo o puntos donde hacer la prospección de fondo, como se puede observar en la Figura 4.

Esta grilla debe contar con puntos georreferenciados, en donde pueda ser prospectado el tipo de fondo marino a través de cámara remota (Drop Cam), buceo o por cualquier otro método. Los datos de profundidad y de litología o tipos de fondo son procesados para la elaboración de las respectivas cartas.

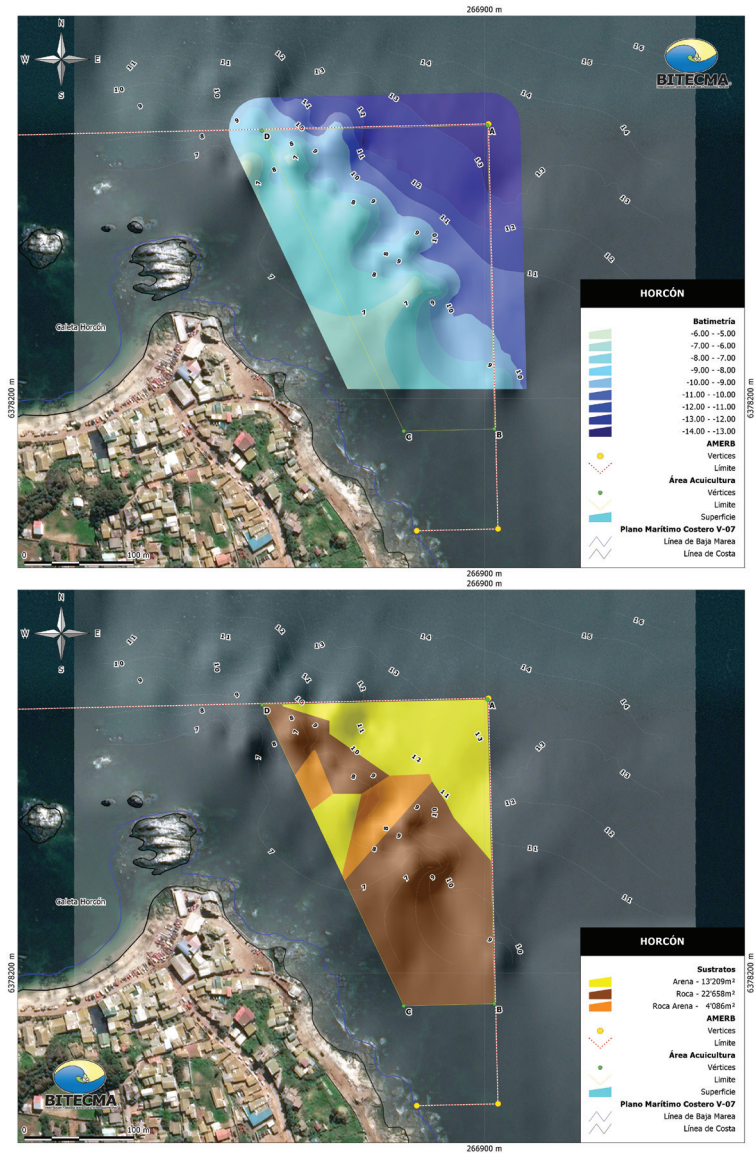


Figura 5. Carta Batimétrica (arriba) y Carta Litológica (abajo) de un sector del área de manejo de Caleta Horcón, Región de Valparaíso, Chile. Imagen gentileza de Bitecma Ltda.

En la Figura 5 se puede observar un ejemplo de este tipo de cartas, realizada sobre un pequeño sector del área de manejo de Caleta Horcón.

La información recopilada de las profundidades, tipos de fondos además de las mencionadas anteriormente, son herramientas para una determinación adecuada del sitio a repoblar, el cual de acuerdo a lo reglamentando, debe ser identificado a través de sus coordenadas geográficas y UTM, para la autorización respectiva (Figura 6).

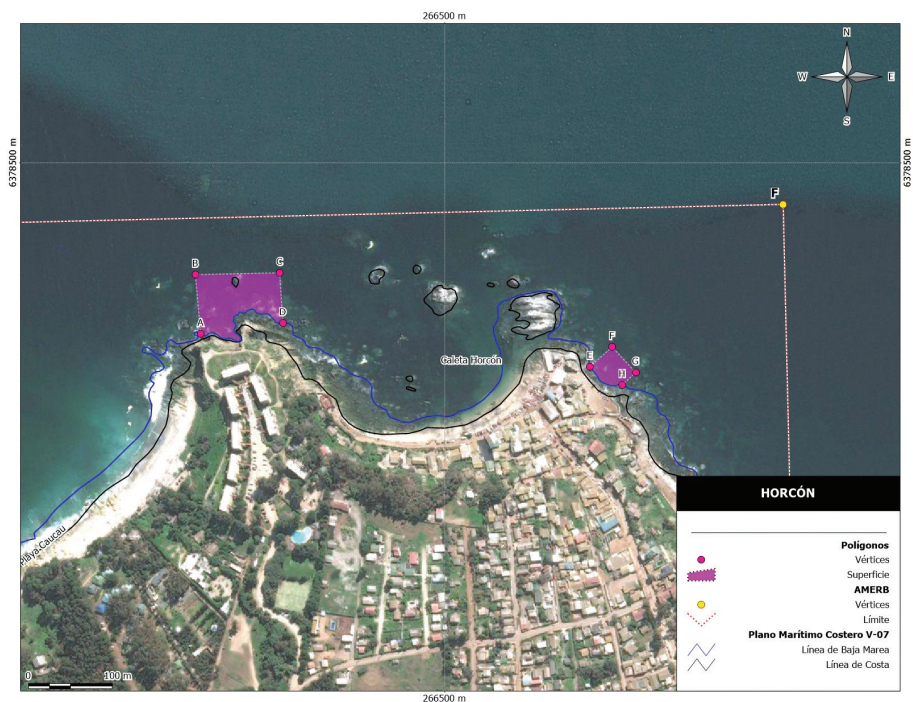


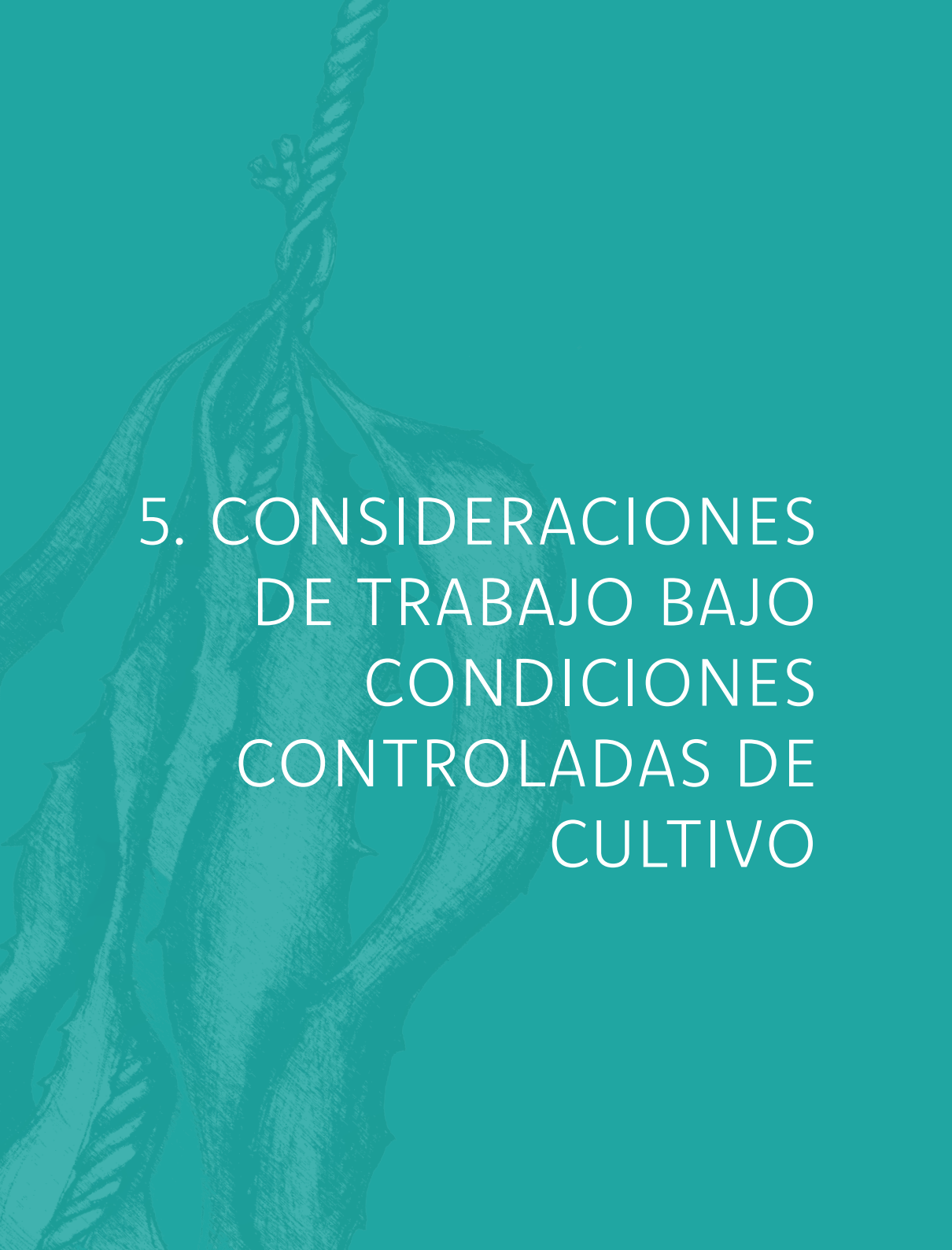
Figura 6. Polígono para reemplazamiento de macroalgas en Caleta Horcón, Región de Valparaíso, Chile. Imagen gentileza de Bitecma Ltda.

De esta manera, es de alta importancia el conocimiento previo de la zona a repoblar para la mayor certeza de éxito en la experiencia de repoblamiento. Sin lugar a duda, estas actividades deben hacerse por expertos en el área con el fin de evitar errores iniciales en el trabajo de repoblamiento.





Lessonia spicata en el
intermareal de Quintay.
Fotografía: Cristian Bulboa.



5. CONSIDERACIONES DE TRABAJO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE CULTIVO

COLECTA DE MATERIAL REPRODUCTIVO

CONSIDERACIONES GENERALES: El lugar de procedencia del material reproductivo, para la producción de algas, debe considerarse como primera opción recolectar talos o material reproductivo desde la misma localidad o zona a realizar la actividad de repoblamiento. En caso de no ser posible, debido a la inexistencia de talos reproductivos, inviabilidad biológica de esporas o gametos, o ausencia por agotamiento de la especie, se debe considerar obtener material reproductivo desde localidades cercanas. Esta recomendación busca conservar el patrimonio genético de la población que será intervenida, ya que se pueden ingresar individuos (genes) que pueden alterar irreversiblemente a la población receptora. Recuerde que la introducción de individuos desde otra población (especialmente si es lejana), es un **traslado** y no una acción de **repoblamiento** con fines de **recuperación** o **restauración** de una determinada población. Además, en un traslado pueden ser introducidos otros organismos, **macro o microscópicos como patógenos** que pueden afectar negativamente no solo la población objetivo, sino que todo el ecosistema. Por ello la opción más recomendable es utilizar individuos generados desde la misma población, usando técnicas de propagación sexuales, asexuadas, o una combinación de ambas, utilizando métodos de cultivo que aseguren la inocuidad del proceso, como los que se señalan a continuación.

Los procedimientos para el cultivo de especies de huiros tipo *Lessonia* o *Macrocystis* son bien conocidos y más bien siguen un patrón estándar, pero tienen elementos diferenciadores asociados a cada especie. Para la recolección y traslado de material reproductivo se debe considerar lo siguiente:

Definir el lugar y momento para una recolección segura y efectiva: Monitorear las condiciones climáticas y oceanográficas como mareas o eventos de marejadas. El muestreo debe ser seguro para quienes lo realizan, y este puede ser intermareal o submareal. Se debe considerar la época del año como elemento clave. Si bien algunas especies se reproducen todo el año, otras lo hacen solo estacionalmente. Por ello se debe definir cuando se hará la recolección, en vista de asegurar la calidad del material.

Conocer las estructuras que serán recolectadas: Para el caso de *Lessonia* spp. las estructuras reproductivas se concentran agrupadas en **soros**, los que se observan como manchas oscuras por sobre las frondas (Figura 7). Mientras más gruesas, oscuras y nítidas, es probable que el material sea de mejor calidad. Para el caso de *Macrocystis pyrifera*, los soros se agrupan en ramas especializadas en la parte basal de los individuos llamadas esporófilas cercanas al disco de fijación. Es recomen-

dable obtener material reproductivo desde varios ejemplares. No obstante, no es necesario recolectar grandes cantidades. En estos casos calidad es más importante que cantidad, ya que, desde solo unos pocos soros en buen estado, maduros y bien tratados, se pueden obtener millones de esporas.

Traslado y limpieza: Es clave que una vez que se obtenga el material reproductivo este sea llevado rápidamente a un laboratorio. En este procedimiento se debe cuidar que el material reproductivo se conserve en humedad pero que **no sean trasladados en agua**, ya que liberarán las esporas antes de que podamos prepararlas adecuadamente. Por ello se deben trasladar en condiciones de: humedad (con esponjas o papeles humedecidos con agua de mar), a una baja temperatura ($\pm 10^{\circ}\text{C}$), en oscuridad, usando una caja térmica o similar. Una vez en el laboratorio, se debe limpiar y seleccionar el material a utilizar. Seleccione segmentos sin presencia de otras especies como epífitas, y que no presenten manchas o cambios de coloración, que podría ser signo de mala calidad o degradación. Para la limpieza se recomienda usar agua de mar filtrada y lavarlas con ayuda de un cepillo o brocha que ayude a eliminar impurezas desde la superficie. Pasar un algodón embebido en una solución de alcohol al 2-5% o solución de Lugol al 0,5% también puede ser eficiente. Este debe ser un procedimiento rápido que concluye con el lavado del material nuevamente con agua de mar filtrada. Una vez seleccionados y limpios los segmentos se procede a la liberación de las esporas e iniciar el cultivo. Es preferible que la esporulación sea realizada inmediatamente, evitando guardar las secciones. Esto es vital para lograr obtener una solución de esporas de alta calidad sin restos de materia orgánica u otros contaminantes no deseados.



Soros de *Lissonia spicata* en el intermareal de Caleta Horcón. Fotografía: LEBMA-UNAB.

INICIO DE CULTIVO

Consideraciones generales: Se debe contar con un laboratorio o área de trabajo preparado para asegurar el éxito del cultivo. Es indispensable trabajar en un ambiente limpio: (i) mesones de trabajo esterilizados con alcohol 70%; (ii) material de vidrio y metal esterilizado (autoclavado o UV), en caso de no contar con este equipamiento usar mechero y esterilizar con alcohol, además el material de vidrio

puede ser hervido. El agua de mar que será utilizada también debe ser estéril, para asegurar un cultivo unialgal. Por ser especies de agua fría, como condición mínima, es indispensable mantener en todo momento una temperatura <15°C.

Obtención de las esporas: Existen varios métodos para obtener las esporas desde el material reproductivo, sin dañarlas y asegurando su viabilidad. El más usado y seguro es la deshidratación parcial del tejido reproductivo seleccionado. Para ello se dejan los soros en un lugar fresco (que no supere la temperatura máxima sugerida), envueltos en papel metálico, o simplemente cubiertos con papel absorbente, por un periodo que puede variar desde 1 a 6 h o más, dependiendo de la especie, época del año y madurez de los soros. En caso de *Lessonia* spp. y *Macrocystis pyrifera* se utilizan entre 1 a 2 h. Es indispensable que en este periodo los soros no estén hidratados y no queden restos de agua en su superficie, ya que esto provocaría la liberación de las esporas antes de que podamos recogerlas. También es recomendable evitar el estrés por cambios en la luz, usando para ello solo una luz tenue o mantenidos en oscuridad.

Liberación de esporas: Posterior al periodo de deshidratación, los soros se deben hidratar nuevamente ubicándolos en un recipiente limpio, de vidrio o plástico, con un volumen conocido de agua de mar filtrada (recomendable usar filtro de 1 µm o menos), lo suficiente para que el tejido quede totalmente cubierto. Si los soros están maduros, y el procedimiento ha sido efectivo, luego de algunos minutos las esporas deberían ser liberadas. Se recomienda tomar una alícuota cada 20 min y observar al microscopio la presencia de esporas. Un procedimiento eficiente, como primera medida de calidad, debería permitir observar abundantes esporas móviles dentro de la primera hora de realizada la rehidratación. No obstante, esto puede tardar e inclusive no observar movimiento, sin que se pierda la calidad de las esporas para generar las siguientes fases.

Previo a la siembra de las esporas: Se recomienda filtrar el caldo de esporas antes de la siembra para controlar contaminantes que puedan afectar el desarrollo del cultivo. Para esto el caldo se puede dejar en un embudo de decantación en oscuridad por 30 min y eliminar el tercio inferior. Posteriormente, el caldo de espóra se filtra por capas de gasa que retienen restos de material orgánico. Una vez obtenido el caldo con esporas para siembra se debe determinar la concentración de esporas por volumen, en una cámara Neubauer o similar y ajustar la concentración para la siembra. Se recomienda usar soluciones no densas que bordeen las 10.000 a 5.000 esporas mL⁻¹, ya que cultivos muy poblados retrasan todos los procesos posteriores, que incluyen desde el asentamiento y germinación hasta la fecundación y formación de esporofitos.

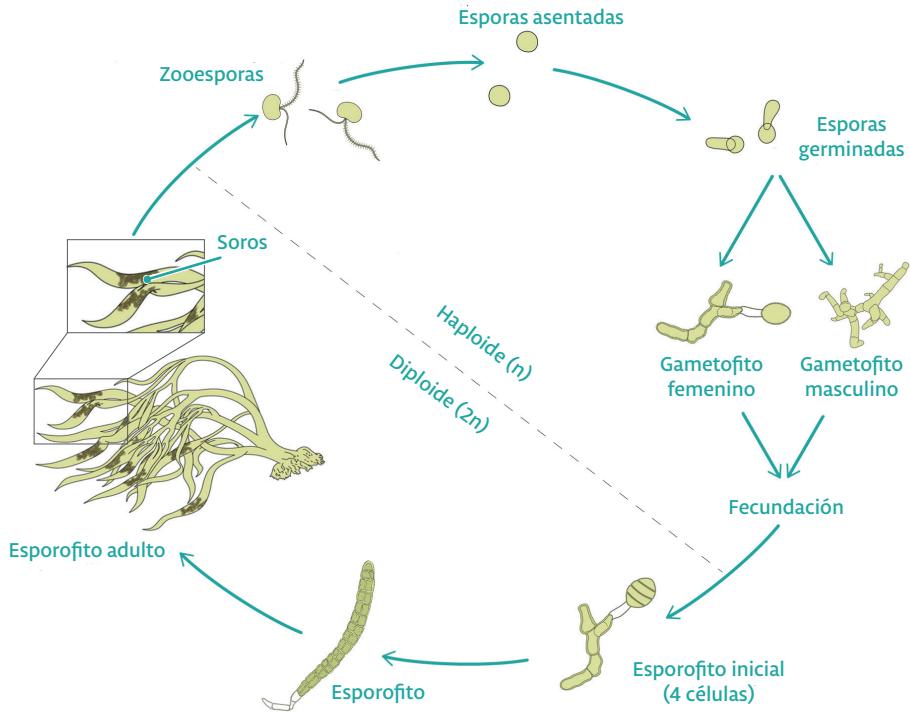


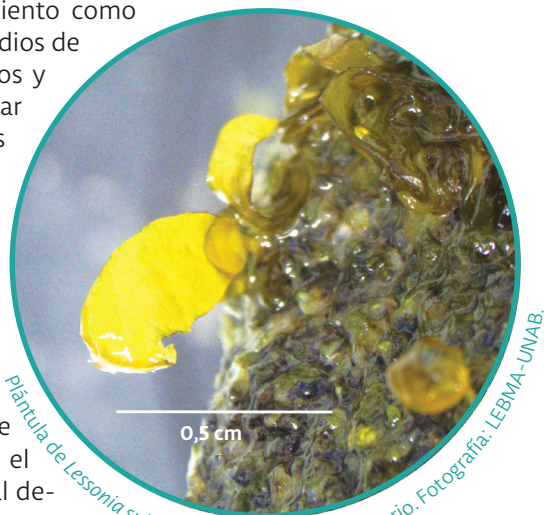
Figura 7. Ciclo de vida de macroalgas grandes o gigantes. Las Laminariales, tienen un ciclo de vida haplodiploide, ya que presentan una fase de vida diploide macroscópica ($2n$, esporofito) y una fase haploide microscópica (n , gametofitos) que presenta dimorfismo sexual con presencia de oogonio en los gametofitos femeninos y anteridios en los gametofitos masculinos. Ilustración por Geraldine Véliz.

Siembra de las esporas: Una vez ajustada la densidad de la solución de esporas, esta es adicionada a acuarios en cuyo interior se encuentran distribuidos los sustratos que serán utilizados en las actividades de repoblamiento (eg. piedras, bolones, cerámicos, PVC). Adicionalmente, se introducen portaobjetos como testigos para observar continuamente el desarrollo de las fases microscópicas.

SEGUIMIENTO DE CULTIVO

Consideraciones generales: Se requiere condiciones similares a las descritas en el inicio del cultivo para el éxito de este. Los cultivos deben mantenerse en un ambiente que permita definir y controlar la temperatura, la cantidad y calidad de luz (intensidad y fotoperiodo, así como tipo de luces). La temperatura recomendada es entre 10-13°C e intensidad de luz inferior a 80 $\mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Además, se requiere de equipamiento como autoclave para esterilizar agua de mar, medios de cultivos y material de vidrio; microscopios y lupas estereoscópicas que permitan realizar una observación del desarrollo de las fases microscópicas del ciclo de vida y la presencia de contaminantes.

Mantención del cultivo: Posterior a la siembra de esporas sobre sustratos se recomienda dejar los sistemas reposar por una semana antes de realizar el primer cambio de agua de mar enriquecida con nutrientes y la incorporación de aireación. Con esto se busca estimular el asentamiento de las esporas y dar inicio al desarrollo de estas. Posteriormente, se realizan cambios de agua de mar y de recipientes de cultivo cada una semana para controlar la contaminación que pueda aparecer. Diferentes soluciones nutritivas (medios de cultivo) conteniendo nitrógeno, fósforo, oligoelementos y vitaminas, pueden ser utilizadas para evitar la deficiencia de nutrientes esenciales para el desarrollo de las fases microscópicas, las más comunes para cultivo de algas tipo huero o similares los medios Provasoli y F/2.



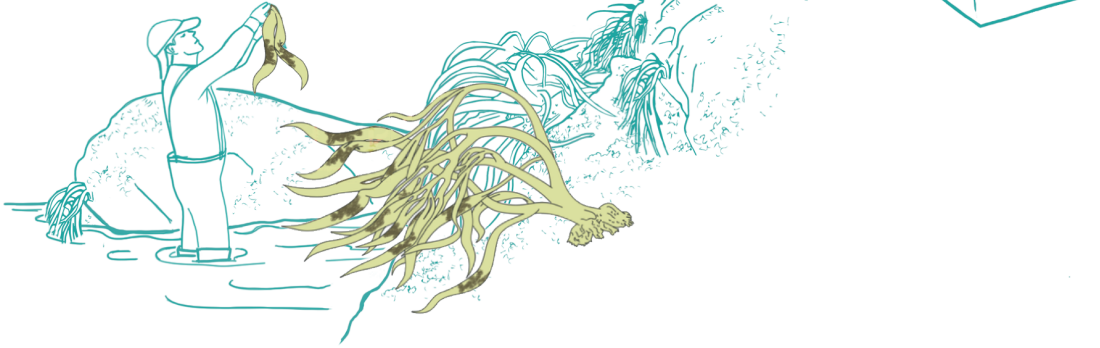
Plántula de *Lessonia spicata* obtenida en el laboratorio. Fotografía: LEBMA-UNAB.

Observación del cultivo: Se recomienda durante los cambios de agua y limpieza de los cultivos observar en un microscopio el desarrollo de las fases microscópicas en los testigos (porta objetos). Los indicadores claves a observar son la germinación de las esporas durante la primera semana, posteriormente la diferenciación en gametofitos femeninos y masculinos, y formación de primeras plántulas microscópicas (Figura 7). Dependiendo de la especie y la madurez del tejido reproductivo utilizado para iniciar el cultivo, la diferenciación de las etapas puede ocurrir rápidamente, detectando las primeras plántulas a los 15 días o en caso de cultivos lentos posterior a los 30 días. La primera señal de que el cultivo del

Traslado a laboratorio y limpieza

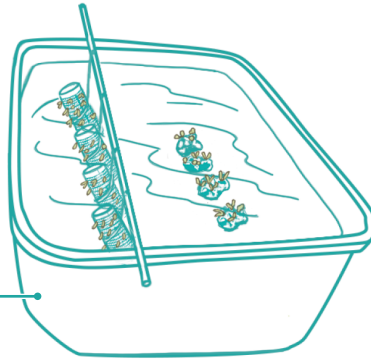
- Temperatura baja ($\pm 10^{\circ}\text{C}$).
- Oscuridad.
- Humedad, pero no con agua.

Recolección de estructuras reproductivas de algas en terreno



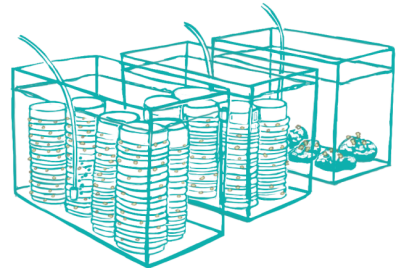
Aclimatación antes de trasladar al mar

tanque exterior



Mantención del cultivo

- Uso de medios de cultivo Provasoli y F/2.
- Primeras plántulas entre 15-30 días.
- Cambios de agua cada 7 días.



CULTIVO DE PLÁNTULAS EN EL LABORATORIO

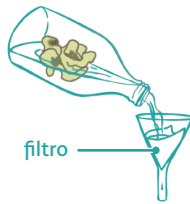
Obtención de las esporas

- Deshidratación parcial del tejido reproductivo seleccionado de 1 a 6 h.



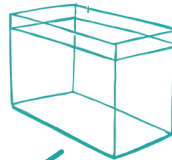
Liberación de esporas

- Hidratar nuevamente los soros con un volumen conocido de agua de mar filtrada.
- Tomar una alícuota cada 20 min y observar al microscopio la presencia de esporas.



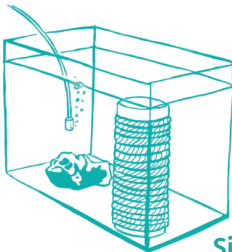
Filtración

- Filtración de caldo de esporas para evitar contaminantes.
- Usar solución en concentraciones de 10.000 a 5.000 esporas mL^{-1}



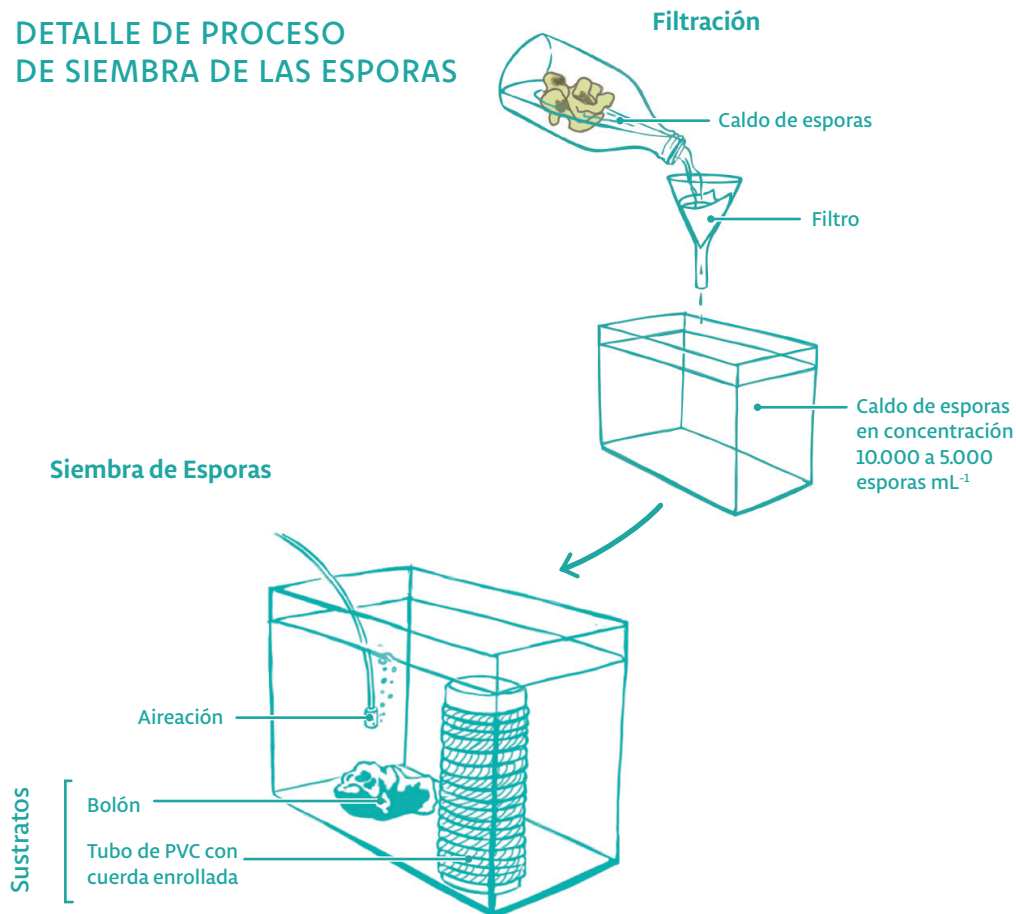
Siembra de las esporas:

- En cordel que rodea tubo de PVC, bolón u otro tipo de sustrato.



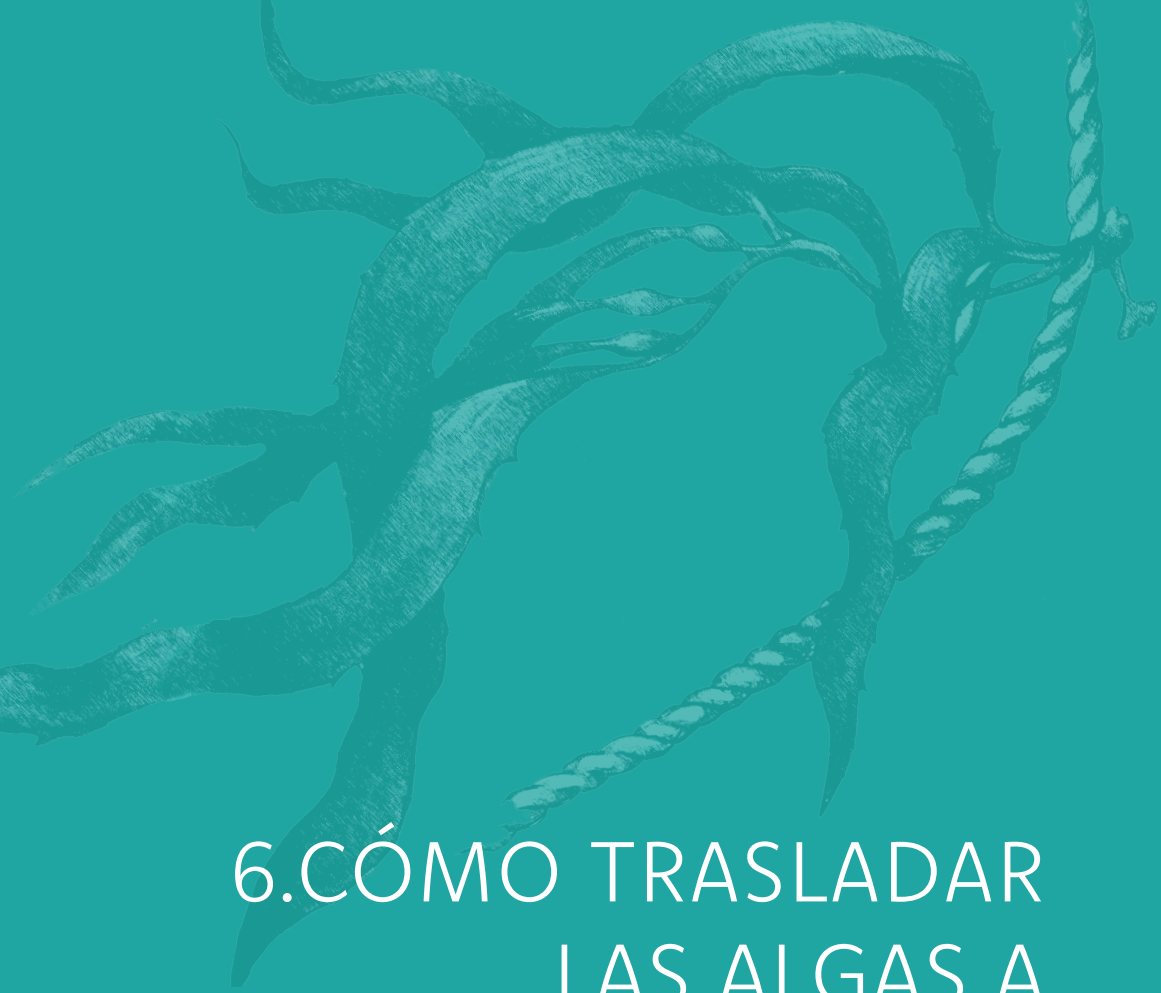
desarrollo de las fases está avanzando en los sustratos que serán utilizados en el repoblamiento es su cambio de tonalidad a marrón. Se recomienda eliminar sustratos que muestren señales de contaminación para evitar que esta se propague a otros sustratos. Estos pueden ser observados en una lupa estereoscópica. Dependiendo del tamaño de las plántulas se definirá el inicio de las actividades de repoblamiento en el ambiente natural.

DETALLE DE PROCESO DE SIEMBRA DE LAS ESPORAS





Cultivo de plántulas de *Macrocyctis pyrifera* en cuerda en el laboratorio. La cuerda se ordena alrededor de un tubo de PVC para su cultivo y manejo ordenado. Fotografía: LEBMA - UNAB.



6.CÓMO TRASLADAR LAS ALGAS A REPOBLAR DESDE EL LABORATORIO AL MAR

CONSIDERACIONES PREVIAS A LA INSTALACIÓN EN EL MAR

Una de las etapas más importantes para lograr el repoblamiento con especies de Huiros como lo son *Lessonia spicata* o *Macrocystis pyrifera* es el paso del cultivo desarrollado en el laboratorio al ambiente natural.

Para aumentar las posibilidades de éxito a la hora de repoblar una zona costera se recomienda siempre hacer una aclimatación desde el laboratorio al mar (Paredes-Mella et al., 2024), ya que el cambio de condiciones es radical en aspectos abióticos como la temperatura, intensidad lumínica, dinámica del oleaje, y dependiendo del lugar pueden darse condiciones variadas de acidificación y contaminación con metales pesados, entre otros (Vadas et al., 1992; Oyarzo-Miranda et al., 2020; Mayakun et al., 2022). También las nuevas plántulas se ven enfrentadas a factores bióticos importantes, como la presencia de otras especies de algas que podrían significar una competencia por espacios. Otras algas con crecimiento más rápido pueden sobrecrecer a las plántulas repobladas, afectando su crecimiento, así como la presión por herbivoría de invertebrados como el erizo negro (*Tetrapygus niger*) y caracoles (Camus, 1994; Veenhof et al., 2022).

Esta aclimatación debe ser una etapa intermedia entre el laboratorio y el mar en donde las plántulas puedan comenzar a adecuarse a un ambiente diferente que un laboratorio, disminuyendo el estrés.

La etapa intermedia de aclimatación debería realizarse en acuarios o estanques en un hatchery exterior, con flujo de agua y aire constante. En esta condición, las plántulas a repoblar estarían sujetas a condiciones de temperatura e intensidad de luz más cercanas a la naturaleza. Dependiendo del tamaño de las plántulas y la estación del año, esta etapa podría durar entre 10 y 15 días.



Durante el periodo de aclimatación de las algas a repoblar, se realiza un trabajo de coordinación e identificación de las características físicas del lugar dónde se repoblará, los materiales necesarios para la instalación, dinámica oceanográfica de la zona (ver secciones anteriores), y una programación de instalación de los

sustratos con plántulas (n° por m^{-2} , distancia entre sustratos, cantidad a repoblar, entre otros), procurando un trabajo eficaz en la zona costera. Esto busca optimizar el tiempo disponible de trabajo en un ambiente dinámico y asegurar la adecuada instalación.

Es importante considerar que el traslado de las algas en sustratos, independiente de la especie que se trata de repoblar, debe ser manteniendo temperaturas de 7-10°C, evitando agitación, roce y movimientos que puedan desprender las algas de los sustratos a instalar.

Así, cuando esté todo preparado y listo para ser instalado en el mar, se podrá instalar de forma eficaz y asegurando un mejor porcentaje de éxito en el repoblamiento. Es relevante recalcar que el éxito del repoblamiento de Huiros es bajo (Reed, 1990; Schiel et al., 2006), por lo que es recomendable que se prepare una gran cantidad de sustratos con plántulas de modo de buscar aumentar el éxito en el repoblamiento que se realice.

Las experiencias de laboratorio indican que plántulas de mayor tamaño entre 1-2 cm tienen mayor probabilidad de mantenerse en el ambiente marino y crecer que plántulas de menor tamaño. Además, es importante considerar la remoción de herbívoros al inicio del repoblamiento como también usar jaulas de exclusión.

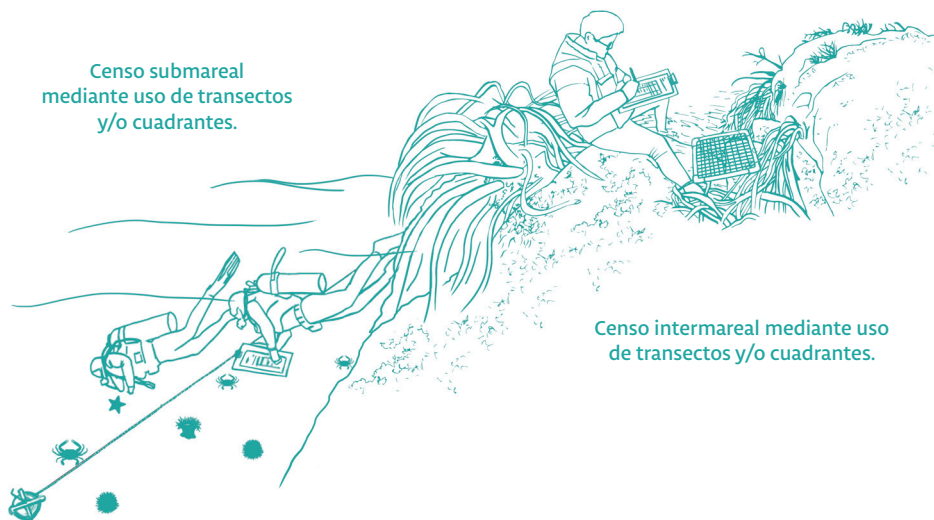
CONSIDERACIONES DEL TRABAJO EN EL MAR

Dentro de las actividades de cultivo y/o repoblamiento de una especie submareal como *M. pyrifera* o intermareal como *L. spicata*, es importante considerar dos etapas de trabajo: (1) La instalación y (2) Monitoreo del sistema. No obstante, es necesario realizar una evaluación previa del sitio de trabajo, la cual estará centrada en determinar las características ecológicas y físicas del sector, lo que reunirá características idóneas que permitirán sostener el repoblamiento a través del tiempo (ver sección Caracterización de la zona adecuadas para el repoblamiento de algas pardas).

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LOS SITIOS DE TRABAJO

Para evaluar el éxito de las actividades de repoblamiento de huiros en el tiempo, es importante realizar una caracterización ecológica de los sitios a repoblar. Para ello, es importante utilizar metodologías de trabajo que permitan obtener estimaciones que representen las comunidades marinas en cada uno de los sitios de trabajo. La caracterización de las comunidades intermareales y submareales es una actividad fundamental para evaluar el éxito del repoblamiento, ya que permite comparar potenciales cambios en las comunidades y los ecosistemas en momentos previos y posteriores a este.

Una de las metodologías más comunes para caracterizar la biodiversidad de las comunidades marinas presentes tanto en los ecosistemas intermareales y submareales es la realización de **censos visuales utilizando transectos y cuadrantes**. Durante esta actividad es posible caracterizar los sitios de trabajo, registrando la abundancia de los organismos presentes considerando algas, invertebrados y peces en un tiempo razonable (1 hora aproximadamente). Si la caracterización ecológica y posterior transplante de huiros será realizada en ecosistemas submareales, es necesario efectuar buceo de tipo autónomo o mediante hookah.



METODOLOGÍA PARA REALIZAR CENSOS VISUALES EN ECOSISTEMAS SUBMAREALES

El objetivo de los censos visuales es obtener una lista de especies que se encuentren en el sitio de trabajo; no obstante, un censo visual más representativo requiere de estimar las abundancias de los organismos presentes en la comunidad submareal. Los censos visuales submarinos están descritos acordes a la metodología estandarizada Reef Life Survey (RLS, www.reeflifesurvey.com)¹ la cual tiene como ventaja comparar las evaluaciones con sitios de otras regiones del mundo.

La unidad básica de trabajo para el monitoreo submareal consiste en utilizar una transecta de 50 metros de largo. El censo visual caracteriza las comunidades marinas a través de tres métodos de estudio. Cada uno de los métodos se enfoca en obtener registros de diferentes grupos taxonómicos conformados por las algas y los invertebrados sésiles, los invertebrados móviles y los peces. Es importante mencionar que el censo visual debe ser realizado por al menos 2 buzos certificados (Figura 8).

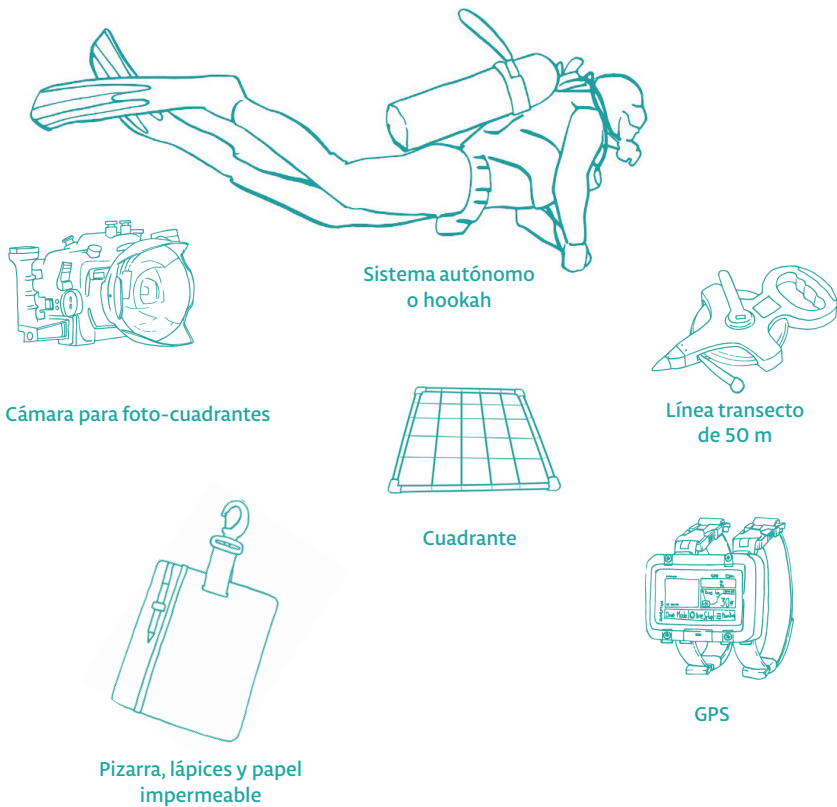
¹ Se adjuntan ejemplos de planillas para el ingreso de datos.



Figura 8. Camino a un censo submareal en Caleta Horcón, Región de Valparaíso, Chile. Buzos certificados, junto a la tripulación de la embarcación, participan en la operación. Los censos submareales suelen requerir el uso de embarcaciones para acceder a los sitios seleccionados, destacando la importancia del trabajo coordinado con las comunidades locales. Fotografía: César Pedrini.

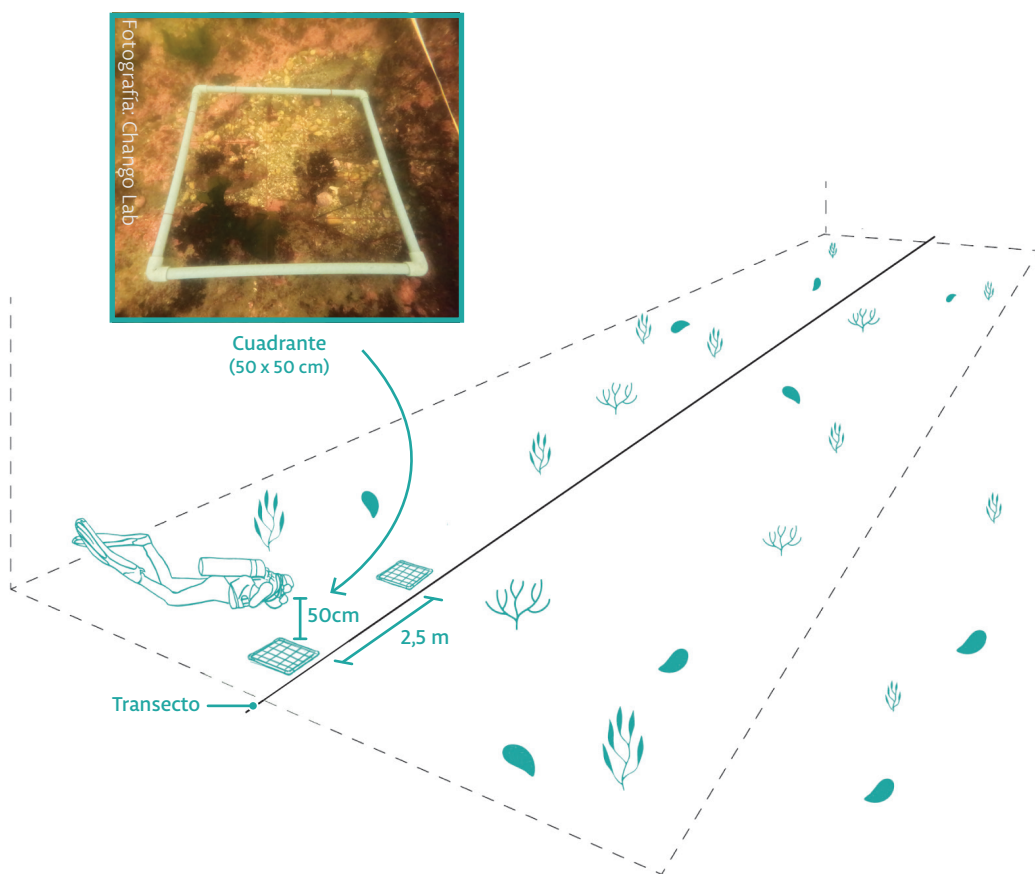
Equipamiento de trabajo:

- Sistema de buceo autónomo o hookah
- Línea transecto de 50 m
- Cuadrantes de PVC (0,30 * 0,30 m²)
- Cámara para foto-cuadrantes
- Pizarra, lápices (lápiz de repuesto) y papel impermeable
- GPS para registrar y/o monitorear el sitio de trabajo



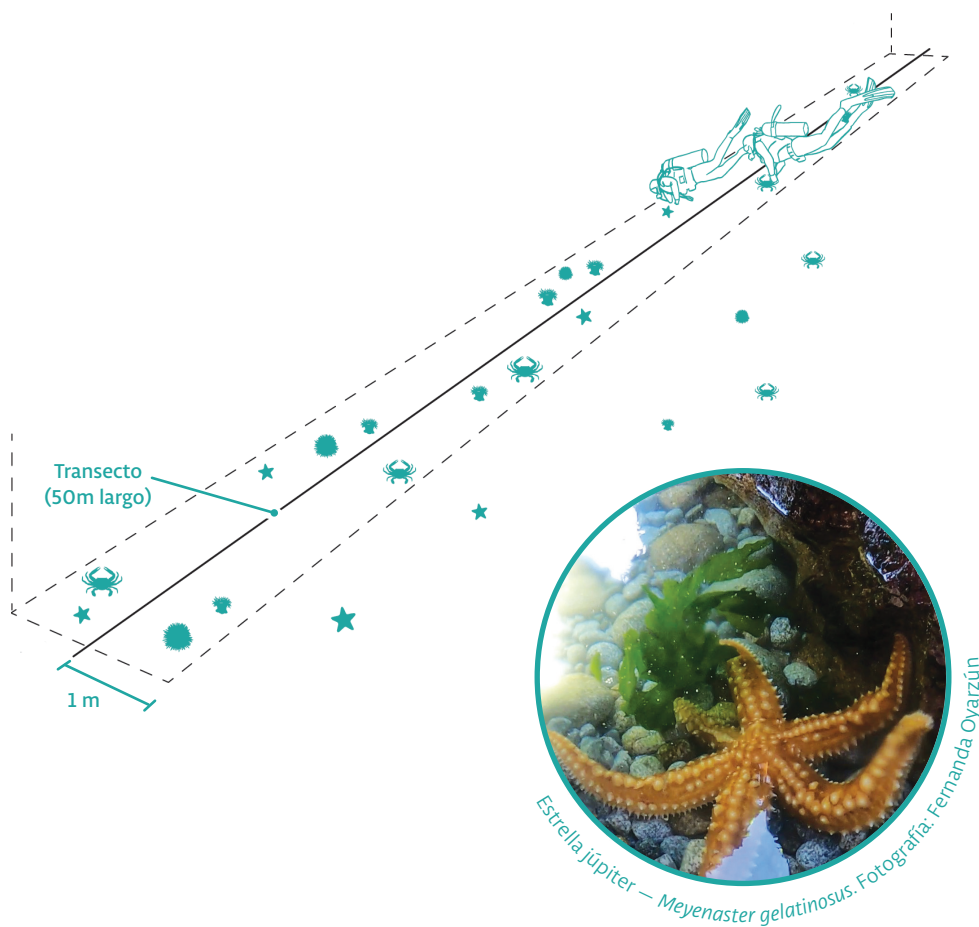
1) Evaluación de comunidad de algas e invertebrados sésiles:

Para registrar la comunidad de algas y de organismos invertebrados sésiles (esponjas, cirripedios, entre otros), se deben disponer a lo largo de la línea del transecto un total de 20 cuadrantes de 50 x 50 cm, cada uno separado por 2,5 metros los cuales deben ser fotografiados a una distancia no menor de 50 cm del fondo. El registro fotográfico es vital ya que luego podrán ser estimadas las abundancias de los organismos en términos de porcentaje de cobertura (%) por el área determinada dentro del cuadrante.



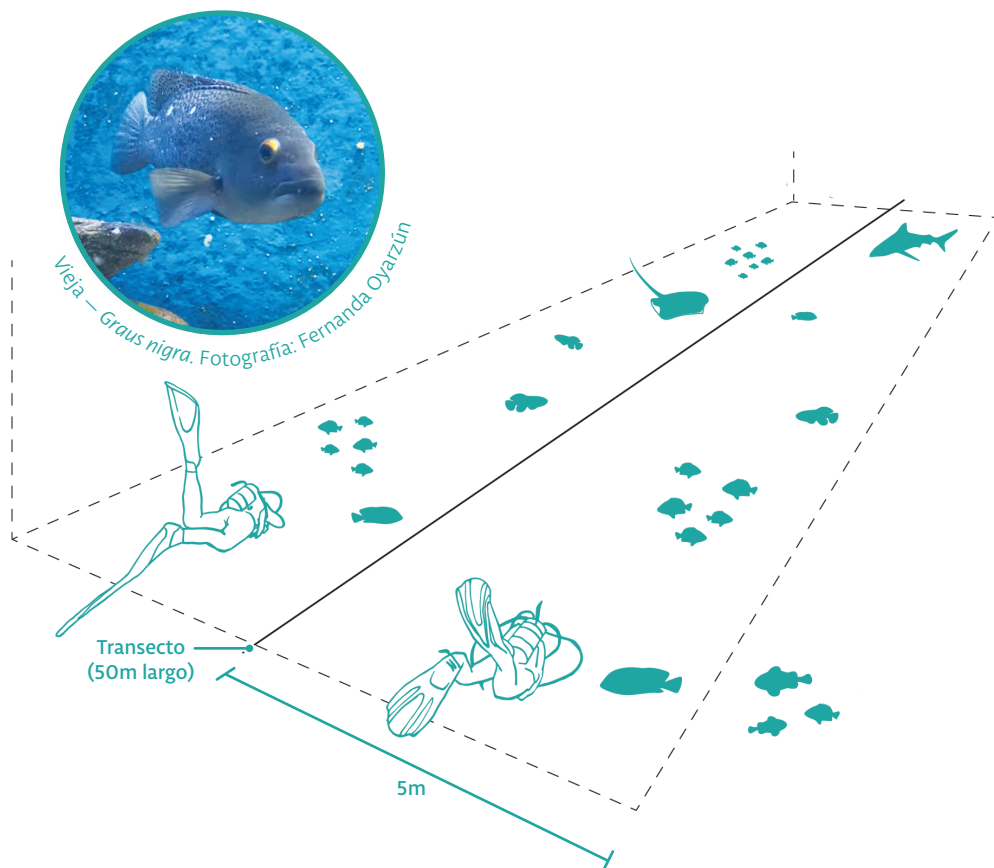
2) Evaluación de comunidad de invertebrados móviles:

El registro de la comunidad de invertebrados móviles (moluscos, equinodermos y crustáceos) se realiza contabilizando todos los organismos con un tamaño mayor a 2,5 cm que se encuentren dentro el área conformada por el ancho de un metro a cada lado del transecto de 50 m de largo, es decir 100 m². Los registros de conteos de invertebrados permitirán obtener un estimado de cuantos individuos se encuentran en un área de 100 m². En esta etapa es posible realizar una medición del tamaño de los invertebrados pero no es realmente necesario si no se encuentra como objetivo de estudio.



3) Evaluación de comunidad de peces:

El registro de la comunidad de peces de la columna de agua o altamente móviles se realiza contando y estimando el tamaño de todos los peces de un tamaño mayor a 2,5 cm los cuales se encuentren dentro del área conformada por el ancho de cinco metros a cada lado del transecto de 50 m de largo, es decir 500 m². Por otra parte, el registro de la comunidad de peces crípticos se realiza contando todos los organismos mayores a 2,5 cm que se encuentren dentro el área conformada por el ancho de un metro a cada lado del transecto (100 m²), similar al área designada para el conteo de invertebrados. Los registros de conteos de peces de la columna de agua o altamente móviles permitirán obtener un estimado de cuantos individuos se encuentran en un área de 500 m², mientras que en el caso de los peces crípticos se obtendrá un estimado del número de individuos en 100 m².



¿Cómo se estiman los tamaños de los organismos bajo el agua?

Un método fácil y útil para estimar el tamaño de los organismos, como es el caso de los invertebrados y peces, es el uso de las longitudes conocidas de los dedos y de otras partes del brazo. Para lo anterior es importante conocer las longitudes que tienen nuestros dedos o partes del brazo que nos facilitarán la tarea de medición o estimación de tamaño de los organismos en los ecosistemas submarinos (Figura 9). Esta técnica es muy práctica ya que muchas veces evita el tener que utilizar otras herramientas bajo el agua.

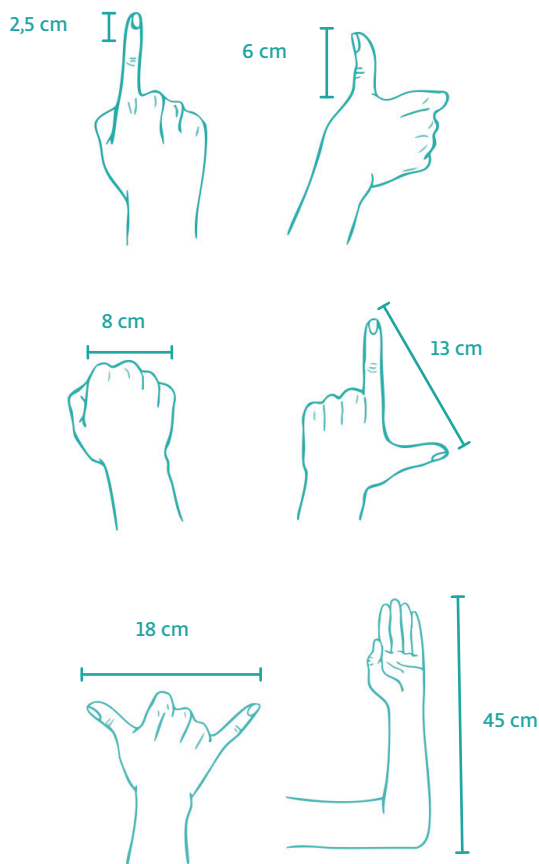


Figura 9. Representación ilustrativa, de cómo las distancias o tamaños de los organismos pueden ser medidas a través de los dedos de la mano y partes del brazo. Las medidas son específicas para cada persona.

METODOLOGÍA PARA REALIZAR CENSOS VISUALES EN ECOSISTEMAS INTERMAREALES

Uno de los objetivos de los censos visuales en los ecosistemas intermareales es obtener una lista de especies que se encuentren en el sitio de trabajo. El primer paso consiste en realizar un registro fotográfico que permita retratar las características generales del sitio que será evaluado para su potencial uso en el repoblamiento de algas. Es importante capturar una imagen nítida y con buena resolución para obtener el mayor detalle posible, a su vez es recomendable para todos los registros fotográficos el uso de flash que permita recuperar los colores de los organismos.

La unidad básica de trabajo para la caracterización de las comunidades de los ecosistemas intermareales es una transecta de 20 o 50 metros de largo dependiendo del largo de la plataforma. Dependiendo de la longitud de la transecta, se deben disponer un total de 10 o 20 cuadrantes, cada uno separado cada 2 o 2,5 metros, respectivamente. Si bien el registro fotográfico es vital ya que luego podrán ser estimadas las abundancias de los organismos, el monitoreo intermareal permite con el tiempo suficiente identificar y registrar los organismos in situ en una libreta de terreno. En el caso de las comunidades intermareales el registro se realiza considerando el porcentaje de cobertura de los organismos (%) por el área determinada dentro del cuadrante (Pech et al., 2004; Drummond y Connell 2005; Betancourt et al., 2018).

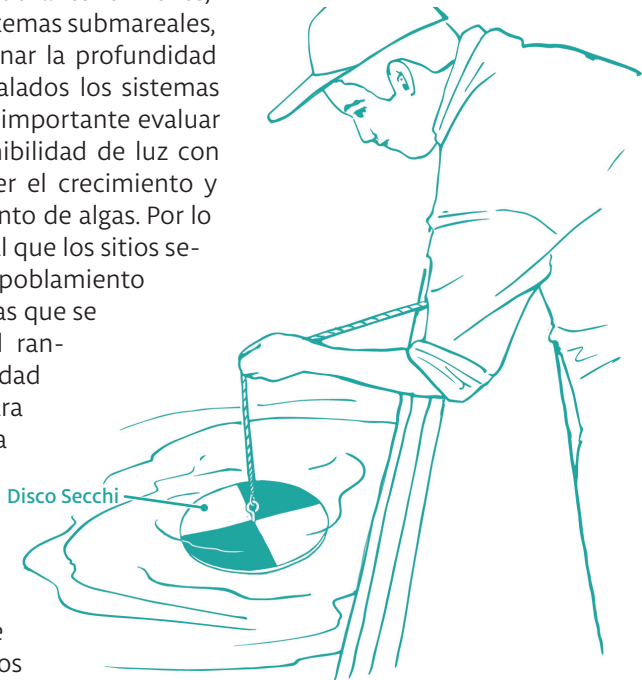


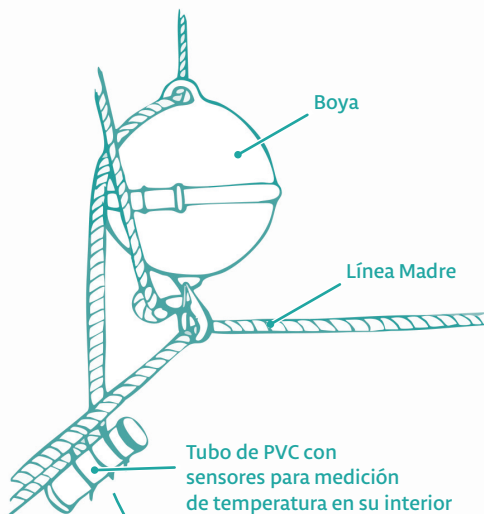
CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS SITIOS DE TRABAJO

Durante esta actividad serán determinadas las condiciones físicas del sitio a utilizar, lo cual permite planificar las estrategias del repoblamiento a implementar. Esta caracterización, abarca diferentes factores físicos que definirán y permitirán aumentar las tasas y el porcentaje de supervivencia y crecimiento de las plántulas, además de minimizar los impactos negativos en el ecosistema marino. A continuación, se mencionan los factores más importantes a determinar y registrar.

Batimetría y penetración lumínica

Como se ha mencionado anteriormente, en el caso de los ecosistemas submareales, es importante determinar la profundidad ideal donde serán instalados los sistemas de cultivo. Para esto es importante evaluar directamente la disponibilidad de luz con el objetivo de favorecer el crecimiento y el éxito del repoblamiento de algas. Por lo anterior es fundamental que los sitios seleccionados para el repoblamiento presenten características que se encuentren dentro del rango óptimo de profundidad y/o presencia de luz para la supervivencia de la especie. Se recomienda realizar mensualmente o estacionalmente mediciones de transparencia o visibilidad de la columna de agua utilizando discos Secchi y lances de CTD.



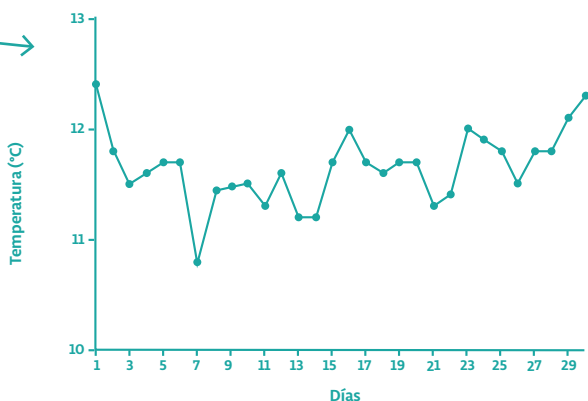


Temperatura del mar

Un factor crítico que debe ser considerado para incrementar el porcentaje de éxito del repoblamiento, traducido en el crecimiento y la reproducción de las algas, es el rango de temperatura del sitio de trabajo. Los rangos ideales de temperatura varían según los requerimientos de cada especie. Por lo anterior es importante monitorear las condiciones de temperatura de manera mensual o estacional, mediante la **instalación y configuración de sensores** dentro del sistema de cultivo o repoblamiento. Es, por tanto, indispensable contar con la mayor información fenológica de la especie a repoblar.

Tipo de sustrato

Las algas pardas requieren sustratos duros, como rocas o grava consolidada, para una fijación y crecimiento adecuado. En términos generales, los sustratos arenosos como fangosos no son ideales, ya que dificultan el anclaje y el sostenimiento de las estructuras de fijación. El tipo de sustrato submareal de un sitio puede ser evaluado a través de inspecciones visuales mediante buceo autónomo el cual debe ser respaldado con fotografías utilizando cámaras submarinas. Esta actividad es fundamental para evaluar el tipo y disponibilidad del sustrato en cada sitio de trabajo.



CONDICIONES CLIMÁTICAS Y OCEANOGRÁFICAS PARA EL TRABAJO EN EL MAR

Las actividades que consideren el trasplante de huiros o monitoreos de los transplantes requieren ser realizados en períodos de tiempo que presenten buenas condiciones de mar. En términos generales, los períodos de tiempo óptimo están determinados por diferentes variables ambientales como la dirección y velocidad del viento, altura de ola, el ciclo de las mareas, además de presentar adecuadas condiciones de visibilidad y mar de fondo cuando los trabajos de repoblamiento y/o monitoreo se realizan en ambientes submareales (Figura 10).

Si las actividades de repoblamiento son realizadas en sitios con ecosistemas intermareales, es recomendable trabajar durante ventanas de tiempo óptimas las cuales se caracterizan por presentar condiciones de marea baja ($< 0,3$ m), principalmente en los períodos del mes representados por las fases de luna llena y luna nueva, además de baja velocidad de viento (< 10 m/s) y también una altura de ola baja (< 2 m).

Además, se sugiere evitar el trabajo bajo condiciones de fuertes lluvias y poca visibilidad por la peligrosidad de trabajar en zonas rocosas.

Por otra parte, si las actividades son realizadas en ecosistemas submareales es importante considerar en lo posible una profundidad de trabajo adecuada según la biología del huiro, buenas condiciones de visibilidad (> 5 m) como también contar con la menor corriente de fondo.

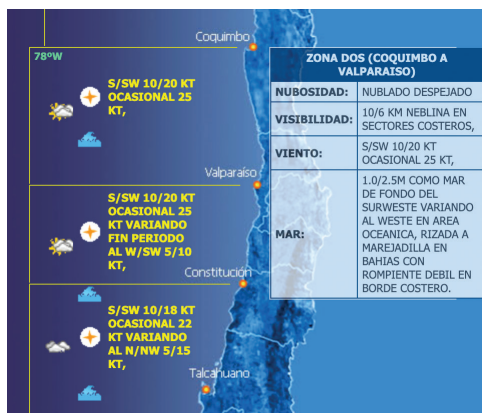


Figura 10. Ejemplo de pronóstico general marítimo del Servicio Meteorológico de la Armada de Chile para la zona comprendida entre Coquimbo y Valparaíso. Este pronóstico específico es válido desde las 08:00 horas del 13 de abril de 2025 hasta las 08:00 horas del 14 de abril de 2025 (hora local). Información actualizada para esta y otras áreas está disponible en el sitio web: https://meteoarmada.directemar.cl/site/pronosticos/pronostico_general_maritimo.html. Imagen: Captura de pantalla del sitio web.

INSTALACIÓN EN ÁREAS SELECCIONADAS

En términos generales es posible fijar las plántulas mediante diferentes técnicas, las cuales son eficientes en términos de repoblamiento:

1) Siembra de plántulas sobre bolones de roca: Las algas sembradas en laboratorio utilizando bolones como sustrato, son amarradas al sustrato intermareal rocoso con elástico y/o pegamento no tóxico, cubiertas con mallas de acero inoxidable para evitar herbivoría (Figura 11).

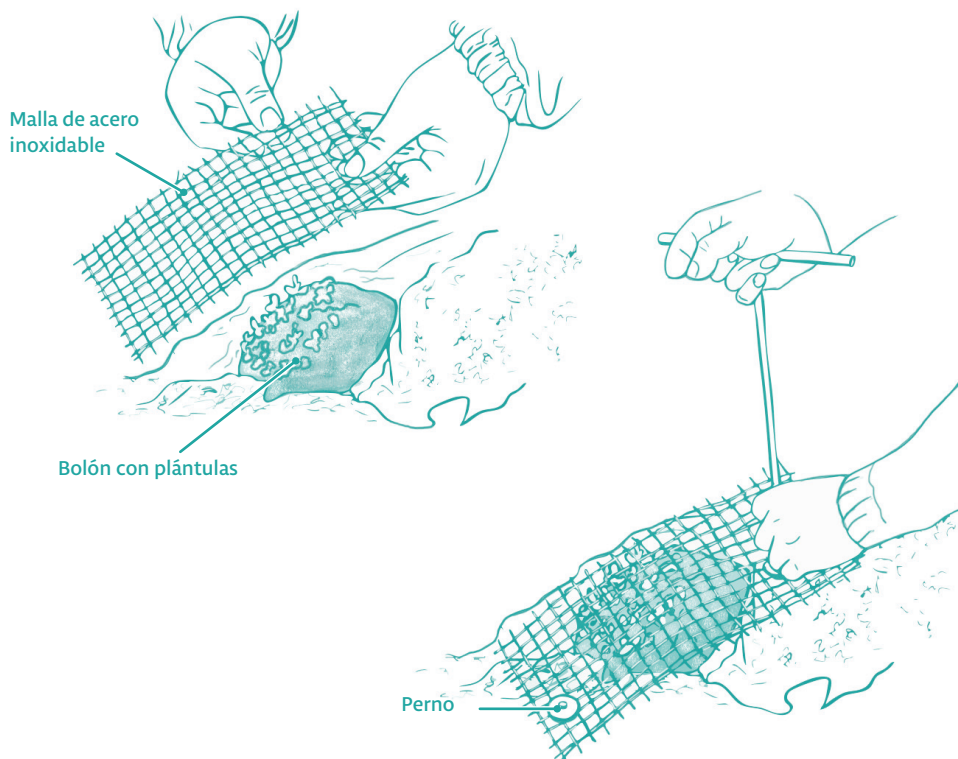




Figura 11. Crecimiento de *Lessonia spicata* en Caleta Horcón, utilizando piedras con sustratos biomejorados protegidas de la herbívora con mallas de acero inoxidable. La malla es removida posterior al crecimiento de los individuos (4 cm). Fotografías: LEBMA-UNAB.

2) Sistema de cultivo tipo Long Line para el repoblamiento de especies submareales: Esta técnica se utiliza para algas submareales como *M. pyrifera*. Las algas son instaladas sobre una línea madre suspendida mediante el empleo de sistemas de flotación, las cuales son dispuestas dependiendo de la carga productiva. La línea de siembra se sostiene a través de diferentes sistemas de fondeo en función de las condiciones oceanográficas del sitio de trabajo, con el fin de evitar que sea arrastrada por la corriente. Esta debe estar instalada a una distancia de 2 a 3 metros del fondo rocoso. Posterior a 4 meses de crecimiento las algas presentan estructuras reproductivas, las cuales liberan esporas y conformarán entonces un nuevo conjunto de individuos o parche biológico de la especie (Figura 12).

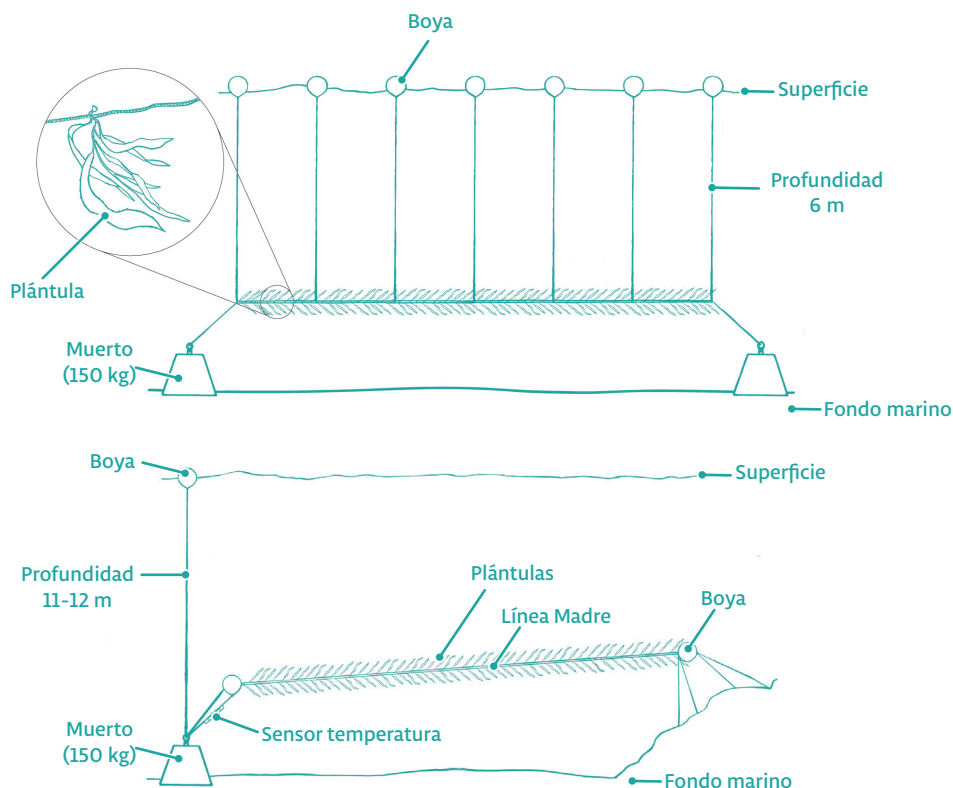


Figura 12. Sistema de cultivo donde se muestran boyas, línea madre con algas amarradas a cabos y los muertos sobre 150 kg tanto en condiciones ideales (arriba), como en la adaptación realizada en Caleta Horcón (abajo). Por seguridad durante la instalación de los muertos, es recomendable usar varios muertos de bajo peso que en su conjunto superen los 150 kg.

Medición de ejemplares de *Macrocystis pyrifera* en la línea madre previa a la instalación del sistema de long-line en Caleta Horcón. Fotografía: LEBMA-UNAB.



NOTAS A CONSIDERAR PARA EL TRABAJO DE CAMPO

1) Las mareas afectan directamente la accesibilidad al sitio y las condiciones de trabajo en el mar.

Algunos aspectos clave a considerar son:

- Las mareas bajas suelen ser ideales para realizar actividades en áreas intermareales o someras, ya que facilitan el acceso a los sustratos.
- Durante las mareas vivas (amplitudes mayores), las corrientes pueden ser fuertes y dificultar las operaciones de fijación. En contraste, las mareas muertas (amplitudes menores) suelen presentar corrientes más suaves, ideales para trabajos de precisión.
- Consultar las tablas de mareas locales permite planificar las actividades en función de las ventanas de tiempo con condiciones más seguras y estables (Figura 13).

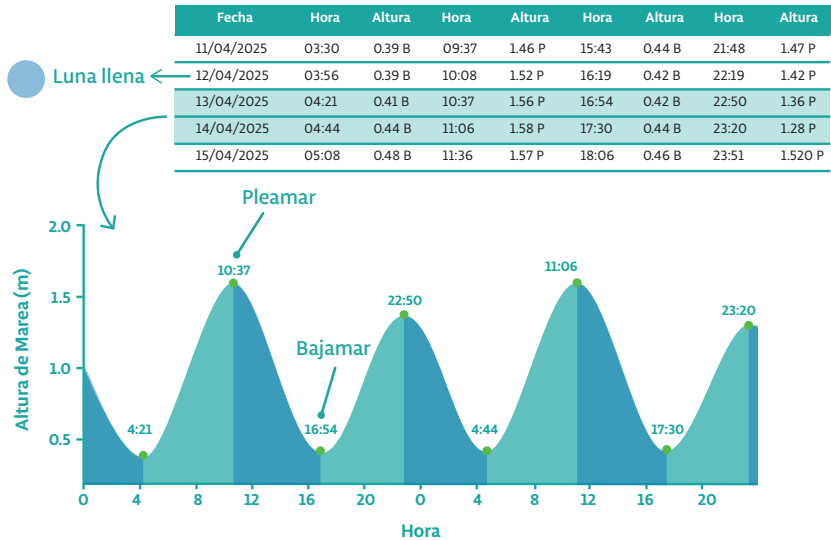


Figura 13. Ejemplo de pronóstico de mareas durante un período de mareas vivas para la localidad de Quintero, Región de Valparaíso, Chile. Abajo se muestra la representación gráfica de la altura de marea por hora para los días 13 y 14 de Abril de 2025. Datos obtenidos en el sitio web del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA): <https://www.shoa.cl/php/mareas.php>

2) Monitoreo del sistema de cultivo o repoblamiento

El monitoreo permite evaluar la efectividad del repoblamiento y garantizar su sostenibilidad a través del tiempo. A través de esta actividad es posible evaluar diferentes parámetros como el crecimiento, biomasa, tasas de mortalidad y capacidad de reproducción de las algas, además del efecto en la interacción con otras especies y su impacto en la biodiversidad de cada sitio. En términos generales, el monitoreo de los sistemas de repoblamiento permite ajustar las estrategias de manejo para optimizar la recuperación y minimizar los impactos negativos (Figura 14).

Fases del Monitoreo

1) Frecuencia de visitas: Planificar inspecciones regulares en función de los ciclos de marea, priorizando periodos de menor turbulencia para realizar mediciones o ajustes.

2) Inspección del estado de las estructuras: Durante mareas bajas, evaluar visualmente el anclaje de las plantas y posibles daños causados por las corrientes o el oleaje.

4) Recolección de datos: Usar ventanas de marea para realizar muestreos físico-químicos y evaluar el crecimiento del repoblamiento.

5) Reuniones de trabajo: Es indispensable realizar reuniones de trabajo periódicas con la información obtenida. Esto permite ajustar el trabajo a la realidad de los resultados de manera de cocrear mejoras activas durante el periodo de repoblamiento.



Figura 14. Monitoreo del crecimiento de *Lessonia spicata*, durante marea baja, en el intermareal de Horcón. Se debe remover la reja que protege contra la depredación para la correcta medición del ejemplar. Fotografía: LEBMA-UNAB.





Comunidad y científicos trabajando colaborativamente en proyecto de repoblamiento de algas en Caleta Horcón. Fotografía: Aníbal Contreras.



7. REFERENCIAS

REFERENCIAS

Aguilera, M. A., Aburto, J. A., Bravo, L., Broitman, B. R., García, R. A., Gaymer, C. F., Gelcich, S., López, B. A., Montecino, V., Pauchard, A., Ramos, M., Rutllant, J.A., Sáez, C. A., Valdivia, N., & Thiel, M. (2019). Chile: environmental status and future perspectives. *World Seas: An Environmental Evaluation*, 673–702. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00046-2>

Assis, J., Alberto, F., Macaya, E. C., Castilho Coelho, N., Faugeron, S., Pearson, G. A., Ladah, L., Reed, D. C., Raimondi, P., Mansilla, A., Brickle, P., Zuccarello, G. C., & Serrão, E. A. (2023). Past climate-driven range shifts structuring intraspecific biodiversity levels of the giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) at global scales. *Scientific Reports*, 13(1), 12046. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38944-7>

Bellorín, A., Bulboa-Contador, C., & Contreras-Porcía, L. (2022). *Algas: Una introducción a la fitología*. RIL editores. ISBN 978-956-01-0899-9

Betancourtt, C., Zapata, J., Latorre, N., Anguita, C., Castañeda, F., Meynard, A., Fierro, C., Espinoza, C., Guajardo, E., Núñez, A., Salas, N., González, C., Ramírez, M-E., Bulboa-Contador, C., & Contreras-Porcía, L. (2018). Variación espacio-temporal en la composición del ensamble de las macroalgas del intermareal rocoso de Maitencillo, Valparaíso, costa central de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 53(1), 105–117. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572018000100105>

Camus, P. A. (1994). Recruitment of the intertidal kelp *Lessonia nigrescens* Bory in northern Chile: successional constraints and opportunities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 184(2), 171–181. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0022-0981(94)90003-5)

Contreras-Porcía, L., Meynard, A., Bulboa, C., Vargas, P., Rivas, J., Latorre-Padilla, N., Navarrete, S., Search, F. V., Oyarzo-Miranda, C., & Toro-Mellado, F. (2023). Expansion of marine pollution along the coast: Negative effects on kelps and contamination transference to benthic herbivores?. *Marine Environmental Research*, 192, 106229. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.106229>

Drummond S. P. & Connell S. D. (2005). Quantifying percentage cover of subtidal organisms on rocky coasts: a comparison of the costs and benefits of standard methods. *Marine and Freshwater Research*, 56, 865-876. <https://doi.org/10.1071/MFO4270>

Eger, A. M., Marzinelli, E. M., Beas-Luna, R., Blain, C. O., Blamey, L. K., Byrnes, J. E., Carnell, P. E., Choi, C., G., Hessing-Lewis, M., Kim, K. Y., Kumagai, N. H., Lorda, J., Moore, P., Nakamura, Y., Pérez-Matus, A., Pontier, O., Smale, D., Steinberg, P. D., & Vergés, A. (2023). The value of ecosystem services in global marine kelp forests. *Nature Communications*, 14(1), 1894. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37385-0>

Frangoudes, K. (2011). Seaweeds fisheries management in France, Japan, Chile and Norway. *CBM Cahiers de Biologie Marine*, 52(4), 517.

Friedlander, A. M., Ballesteros, E., Bell, T. W., Caselle, J. E., Campagna, C., Goodell, W., Hüne, M., Muñoz, A., Salinas-de León, P., Sala, E., & Dayton, P. K. (2020). Kelp forests at the end of the earth: 45 years later. *PLoS One*, 15(3), e0229259. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229259>

Gonzalez-Aragon, D., Rivadeneira, M. M., Lara, C., Torres, F. I., Vásquez, J. A., & Broitman, B. R. (2024). A species distribution model of the giant kelp *Macrocystis pyrifera*: Worldwide changes and a focus on the Southeast Pacific. *Ecology and Evolution*, 14(3), e10901. <https://doi.org/10.1002/ece3.10901>

Oyarzo-Miranda, C., Latorre, N., Meynard, A., Rivas, J., Bulboa, C., Contreras-Porcia, L. (2020). Coastal pollution from the industrial park Quintero bay of central Chile: Effects on abundance, morphology, and development of the kelp *Lessonia spicata* (Phaeophyceae). *PLoS ONE*, 15(10), e0240581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240581>

Oyarzo-Miranda, C., Otaíza, R., Bellorín, A., Vega, J. M. A., Tala, F., Lagos, N. A., Oyarzún, F. X., Estévez, R. A., Latorre-Padilla, N., Mora Tapia, A. M., Figueroa-Fábregea, L., Jara-Yáñez, R., Bulboa, C., & Contreras-Porcia, L. (2023). Seaweed restocking along the Chilean coast: History, present, and inspiring recommendations for sustainability. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1062481. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1062481>

Paredes-Mella, J., Oroz, L., Gutiérrez, A., Zúñiga, A., Martínez, C., Villarroel, A., Varela, D., & Henríquez-Antipa, L. (2024). Experimental transplantation of *Durvillaea in-*

curvata in southern Chile: implication for its restocking. Latin American Journal of Aquatic Research, 52(1), 174-180. <http://dx.doi.org/10.3856/vol52-issue1-full-text-3097>

Pech, D., Condal, A. R., Bourget, E., & Ardisson, P. (2003). Abundance estimation of rocky shore invertebrates at small spatial scale by high-resolution digital photography and digital image analysis. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 299(2), 185-199. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2003.08.017>

Mayakun, J., Prathep, A., & Kim, J. H. (2022). Wave exposure, shore level, and season of clearing modulate early algal abundance and succession in an intertidal zone. Phycological Research, 70(2), 97-107. <https://doi.org/10.1111/pre.12480>
MINECON, 1997. Decreto Exento MINECON N° 509 Establece Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos para la IV Región. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Chile.

Mora-Soto, A., Capsey, A., Friedlander, A. M., Palacios, M., Brewin, P. E., Golding, N., Dayton, P., Van Tussenbroek, B., Montiel, A., Goodell, W., Velasco-Charpentier, C., Hart, T., Macaya, E. C., Pérez-Matus, A., & Marcias-Fauria, M. (2021). One of the least disturbed marine coastal ecosystems on earth: Spatial and temporal persistence of Darwin's sub-Antarctic giant kelp forests. Journal of Biogeography, 48(10), 2562-2577. <https://doi.org/10.1111/jbi.14221>

Reed, D. C. (1990). The effects of variable settlement and early competition on patterns of kelp recruitment. Ecology, 71(2), 776-787. <https://doi.org/10.2307/1940329>

Schiel, D. R., & Foster, M. S. (2006). The population biology of large brown seaweeds: ecological consequences of multiphase life histories in dynamic coastal environments. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 37(1), 343-372. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110251>

SERNAPESCA. (2023). Anuarios estadísticos de pesca y acuicultura. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción, Gobierno de Chile. <https://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/anuarios-estadisticos-de-pesca-y-acuicultura/>

Vadas Sr, R. L., Johnson, S., & Norton, T. A. (1992). Recruitment and mortality of early post-settlement stages of benthic algae. British Phycological Journal, 27(3), 331-351. <https://doi.org/10.1080/00071619200650291>

Vásquez, J. A. (2016). The brown seaweeds fishery in Chile. *Fisheries and Aquaculture in the Modern World*, 123–141. <http://dx.doi.org/10.5772/62876>

Vásquez, J. A., Morales, C., & Vallone, A. (2024). Brown seaweeds fishery and copper mining production: Two distant economic industries connected by socioecological impacts in northern Chile. *Marine Policy*, 165, 106191. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106191>

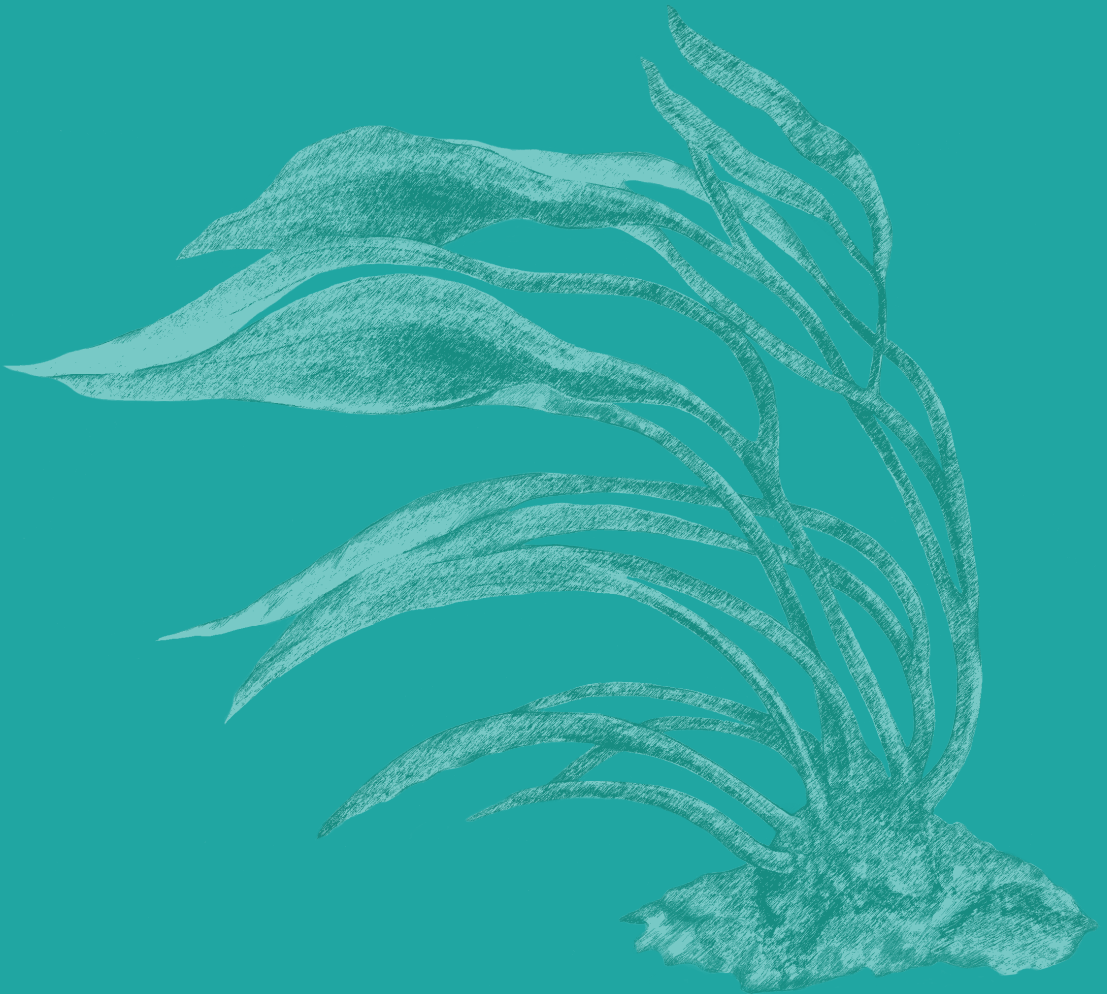
Veenhof, R. J., Dworjanyn, S. A., Champion, C., & Coleman, M. A. (2022). Grazing and recovery of kelp gametophytes under ocean warming. *Frontiers in Marine Science*, 9, 866136. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.866136>

Wernberg, T., Krumhansl, K., Filbee-Dexter, K., & Pedersen, M. F. (2019). Status and trends for the world's kelp forests. *World seas: An environmental evaluation*, 57–78. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00003-6>



Plántula de *Lessonia spicata*
trasplantada al intermareal de
Caleta Horcón.
Fotografía: LEBMA-UNAB

8. ANEXOS



Planilla para Registro de Datos de la Comunidad de Algas e Invertebrados Sésiles (Submareal e Intermareal)

Nombre Sitio: _____ Temperatura (°C): _____
 Latitud: _____ Profundidad ini. (m): _____
 Longitud: _____ Profundidad fin. (m): _____
 Fecha: _____ Buzos a cargo: _____
 Tiempo de monitoreo (min): _____ Visibilidad: _____

Especies/superficie	Porcentaje de cobertura de organismos (%) en cuadrantes (0.3 * 0.3 m²)									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
<u>Lessonia trabeculata</u>				80			20			
<u>A. psittacus</u>				5			5			
<u>Corallina officinalis</u>				5			65			
<u>Roca</u>				10			10			
Total cobertura %				100			100			

Comentarios:

Planilla para Registro de Datos de la Comunidad de Invertebrados Móviles (Submareal e Intermareal)

Nombre Sitio: _____ Temperatura (°C): _____
 Latitud: _____ Profundidad ini. (m): _____
 Longitud: _____ Profundidad fin. (m): _____
 Fecha: _____ Buzos a cargo: _____
 Tiempo de monitoreo (min): _____ Visibilidad: _____

Especies	Número de individuos según su tamaño (longitud o diámetro total del cuerpo, cm) en 100m ²									
	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25	30	>30cm
<u>Taliepus dentatus</u>			2	15	22	2	1	8		
<u>Fissurella latimarginata</u>		1		1						
<u>Meyenaster gelatinosus</u>			1		2		1			

Comentarios:

Planilla para Registro de Datos de la Comunidad de Peces (Submareal)

Nombre Sitio: _____ Temperatura (°C): _____
 Latitud: _____ Profundidad ini. (m): _____
 Longitud: _____ Profundidad fin. (m): _____
 Fecha: _____ Buzos a cargo: _____
 Tiempo de monitoreo (min): _____ Visibilidad: _____

Especies (columna de agua)	Número de individuos según su tamaño (longitud total del cuerpo, cm) en 500 m ²									
	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25	30	>30cm
<u>Trachurus murphyi</u>			2		20	2	1			
<u>Pseudocaranx chilensis</u>						1				


Especies (columna de agua)	Número de individuos según su tamaño (longitud total del cuerpo, cm) en 100 m ²									
	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25	30	>30cm
<u>Pinguipes chilensis</u>		1		3		2		1		
<u>Auchenionchus variolosus</u>					2		1			

Comentarios:

Agradecimientos

Los autores agradecen a los pescadores y pescadoras del sindicato Caleta Horcón, Región de Valparaíso, Chile, por todo el apoyo realizado en esta iniciativa. También los autores agradecen al personal de apoyo de Bitecma Ltda (Lorena Olmos y Lorena Céspedes) y del sindicato de Caleta Horcón (Elizabeth Latoja).

Este manual fue financiado en su totalidad por el Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera (SECOS), ICN2019_015 ICM-ANID y proyectos FONDECYT 1221699, ANID ANILLOS ACT240004 y ANID Fondecyt 1221322.

The background of the page is a photograph of a rocky coastline. In the foreground, there is a large, textured rock covered in various types of seaweed and small marine organisms. Some seaweed is bright orange, while others are dark brown or black. In the upper right corner, a portion of a bird, possibly a booby, is visible, showing its yellowish-orange plumage. The background is a soft-focus view of the ocean and sky, with blue and white tones.

El Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera SECOS, creado en diciembre de 2020, es un centro de excelencia del programa Milenio de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), perteneciente al Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de Chile.

Mediante el trabajo colaborativo interdisciplinario con múltiples actores sociales, el fortalecimiento de los recursos humanos en ciencias, la comunicación de la ciencia y procesos novedosos de participación pública, SECOS aborda preguntas urgentes sobre sostenibilidad en 3 sistemas socio-ecológicos de nuestra costa: Pesca Artesanal, Acuicultura de Moluscos y Desarrollo Costero.



SECOS

INSTITUTO MILENIO EN
SOCIO-ECOLOGÍA COSTERA