

# *“Repoblamiento de Macrocystis integrifolia en la región de Atacama”*

Informe final

Proyecto financiado por el Gobierno Regional de Atacama, Convocatoria FIC 2010



Dr. Renato Westermeier H.  
Universidad Austral de Chile – Sede Puerto Montt



Universidad Austral de Chile  
*Conocimiento y naturaleza*



Gobierno  
de Chile





Universidad Austral de Chile  
*Conocimiento y naturaleza*



# **“Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la región de Atacama”**

*Director de proyecto*

*Dr. Renato Westermeier H.*

*Equipo científico y técnico*

*Dr. Renato Westermeier H.*

*Tec. David Patiño A.*

*Ing. Pedro Murúa A.*

*Ing. Liliana Muñoz M.*

*Ing. (c) Ailin Ruiz G.*

*Tec. Carlos Atero G.*

*Adm. Lucia Barros*

Copiapó, Abril 2012

# Índice

---

1. Introducción	3
1.1. Descripción de la especie y distribución geográfica.	4
1.2. Taxonomía	4
1.3. Ciclo de vida	5
1.4. Experiencia en repoblamiento de algas pardas en Chile	6
2. Materiales y Métodos	7
2.1. Área de estudio	7
2.2. Estudio de la dinámica poblacional de <i>M. integrifolia</i> en Bahía Chasco: área sin intervención antrópica	8
2.3. Estudio de la dinámica poblacional de <i>Macrocystis</i> en un área intervenida (Cosechada) completamente.	9
2.4. Evaluación de sistemas de repoblamiento de <i>M. integrifolia</i> en Bahía Chasco	9
2.4.1. Cultivo de esporofitos de <i>M. integrifolia</i> en laboratorio	9
2.4.2. Crecimiento de esporofitos: fijación en sustratos	10
2.5. Crecimiento de esporofitos: Cultivo de plantas flotantes	12
2.6. Evaluación de sistemas de repoblamiento en Bahía Chasco	13
2.6.1. Siembra de plántulas sobre paneles de cultivo	13
2.6.2. Siembra de plántulas sobre diferentes sustratos	15
2.6.3. Siembra de frondas reproductivas sobre bolones	17
2.7. Pruebas de Manejo	18
2.7.1 Frecuencia de cosechas	18
3. Resultados	19
3.1. Dinámica poblacional	19
3.1.1. Área sin intervención antrópica	19
3.1.2. Área intervenida	25
3.2. Sistemas de repoblamiento	34
3.2.1. Sistema de repoblamiento utilizando esporas	34
3.2.2. Sistema de repoblamiento utilizando esporofitos	37
3.2.3. Plántulas sembradas sobre sustratos	43
3.3. Pruebas de manejo	53
3.3.1. Frecuencia de cosechas	53
4. Actividades de difusión Proyecto	55
5. Conclusiones	58
6. Referencias	62

# 1. Introducción

---

La extracción de algas pardas es una actividad frecuente en la región de Atacama y en la zona norte del país, dando trabajo a más de 1000 pescadores y recolectores de orilla (Vásquez et al. 2008). *Macrocystis integrifolia*, comúnmente conocido como “huirto pato” o “huirto canutillo”, corresponde a una de estas especies explotadas, siendo una de las macroalgas pardas más importantes desde el punto de vista ecológico y económico en las costas de la región. Por un lado ofrece albergue, alimento y sustrato a varias especies de peces e invertebrados litorales, muchas con importancia comercial para la pesca artesanal (Villegas et al. 2008; Westermeier et al. 2011). Por otro, es un recurso extraído y comercializado en cantidades mayores por muchos alqueros de la región de Atacama, siendo destinado básicamente para alimentación del abalones (Flores-Aguilar et al. 2007). Se necesitan mínimo entre 90 – 100 ton mensual de *Macrocystis* para abastecer a un centro de cultivo pequeño de este molusco (Westermeier et al. 2011), en una industria que produce anualmente cerca de las 800 ton (Sernapesca 2011).

En Bahía Chasco, una localidad de la III región destinada para la extracción de estas algas, se encuentra una de las poblaciones más grandes de *M. integrifolia* en el norte de Chile. Esta pradera da trabajo diariamente a más de 20 pescadores artesanales, quienes extraen 40 ton día<sup>-1</sup> para su distribución en diversas empresas abalonerías de la III y IV región. La presión extractiva sobre esta y otras poblaciones, así como alternativas de manejo de estas praderas para estas localidades no han sido estudiadas en profundidad, lo cual podría ser en un futuro una amenaza para la sustentabilidad de la actividad.

Por estas mismas razones se ha generado interés en la región en desarrollar técnicas para su desarrollo sostenible, a través del manejo y del repoblamiento, dos tópicos pobremente investigados en el norte de Chile para *M. integrifolia*. El presente estudio pretendió en consecuencia probar técnicas de repoblamiento y manejo de *M. integrifolia* a través de pruebas in Situ, en la localidad de Bahía Chasco, evaluándose adicionalmente la dinámica poblacional de este recurso.

## 1.1 Descripción de la especie y distribución geográfica.

Las poblaciones del género *Macrocystis* se distribuyen en ambos hemisferios, predominantemente en el hemisferio sur y costas americanas (North, 1971; Coyer et al. 2001), localizándose a lo largo de las costas del Pacífico de México, norte de Baja California y Alaska y del Sur en Perú hasta Cabo de Hornos (Alveal, 1995). También es posible encontrarla en Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda (Druehl, 2000; Graham et al. 2007), y en China tras una introducción en 1978 (Tianjing et al, 1984). En Chile, se distribuye en toda su costa, desde Arica hasta el Cabo de Hornos (Levring, 1960; Westermeier & Ramírez 1979; Westermeier 1981; Santelices & Ojeda 1984; Ramírez & Santelices 1991; Buschmann et al. 2004), distinguiéndose dos especies: *Macrocystis integrifolia* y *M. pyrifera*.

Recientemente, se ha demostrado que 1) las especies de *Macrocystis* son inter-fértiles, 2) que hay formas con morfologías intermedias en el ambiente natural y 3) que el género exhibe una gran plasticidad fenotípica, lo cual ha sugerido reclasificarla como una sola especie: *M. pyrifera* (Graham et al 2007; Westermeier et al. 2007; Demes et al. 2009; Macaya & Zucarello 2010). Sin embargo, para mantener la homogeneidad con estudios anteriores llamaremos a ambas especies con su nomenclatura previa.

*Macrocystis integrifolia*, conocida como "giant kelp", "huiró pato" o "huiró canutillo", es un alga parda de gran tamaño que puede alcanzar sobre los 5m de longitud. Se adhiere al sustrato mediante un disco de fijación rastrero alargado, el cual está formado por hapterios ramificados no fusionados de hasta 4 cm de longitud en talos adultos. De este disco surgen numerosos cauloides, los cuales terminan en numerosas frondas laterales de hasta 40 cm de largo, provistas de un aerocisto piriforme basal, para la flotabilidad (Hoffmann & Santelices, 1997).

*M. integrifolia* ha sido identificada desde Arica hasta Concepción, en Perú y en Norteamérica, desde la Columbia Británica hasta Baja California. Crece en el intermareal y en el submareal hasta 10m de profundidad, siendo una de las especies dominante en cobertura y biomasa.

## 1.2 Taxonomía

División: Ochrophyta

Clase: Phaeophyceae

Orden: Laminariales

Familia: Lessoniaceae

Género: *Macrocystis*

Especie: *Macrocystis integrifolia* Bory 1826

Nombre común: Huiró, huiró pato, huiró canutillo

### 1.3 Ciclo de vida

El género *Macrocystis* posee un ciclo de vida bifásico y heteromórfico. El talo macroscópico corresponde al esporofito ( $2n$ ). Éste lleva consigo las esporofilas, hojas o láminas que contienen los esporangios que contienen el soro esporangial (meiosporas), donde se realiza la meiosis (R!) y con ello libera las esporas. Estas germinan y en 50% forman gametofitos femeninos y en el 50% restante forman gametofitos masculinos. Estos gametofitos son microscópicos y haploides ( $n$ ); y formarán oogonios (femeninos) y anteridios (masculinos). Los oogonios formarán huevos que serán fecundados (F!) por los espermatozoides que se producirán en los anteridios. Esta fecundación formará un cigoto que será diploide ( $2n$ ), el que por mitosis crecerá y formará un individuo adulto: el esporofito.

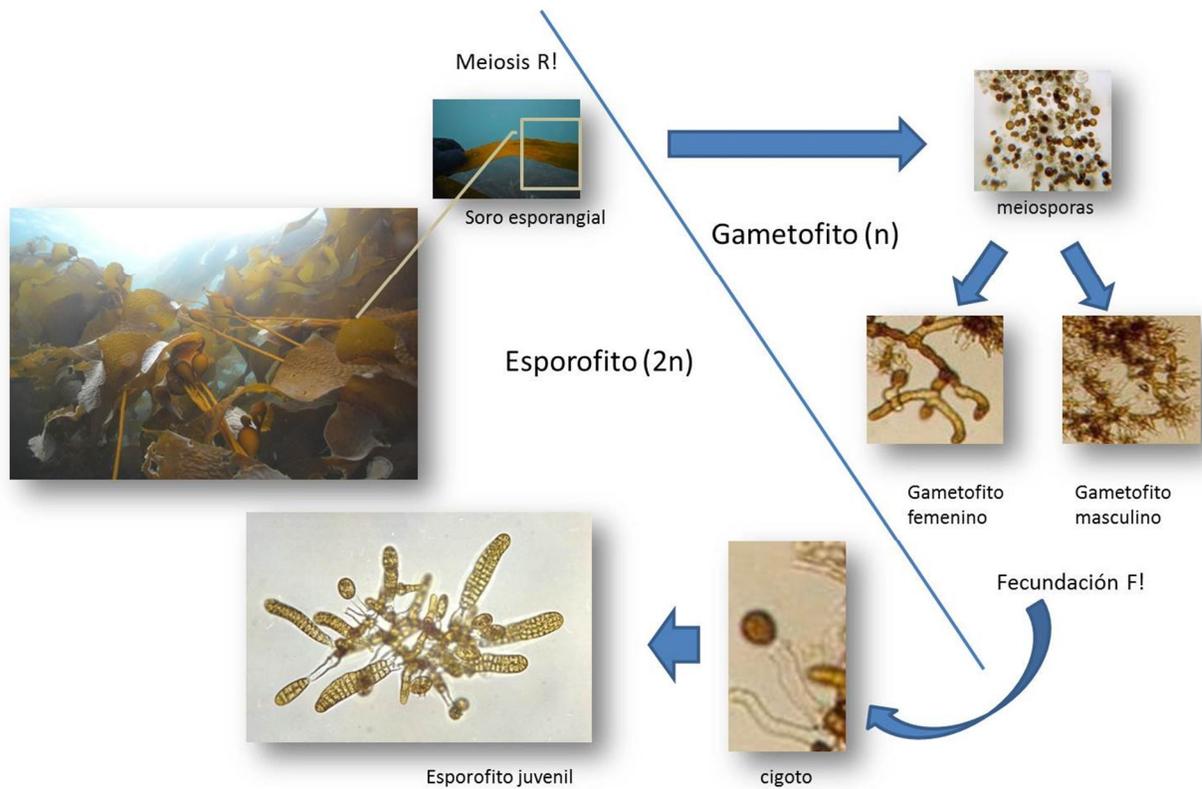


Fig. 1. Ciclo de vida de *Macrocystis integrifolia*

## 1.4 Experiencia en repoblamiento de algas pardas en Chile.

Son pocas las actividades de repoblamiento reportadas para algas pardas en Chile, todas a un nivel experimental y con especies intermareales. Vásquez & Tala (1995) reportan éxito en el repoblamiento de *Lessonia nigrescens*

- (1) adicionando una concentración conocida de esporas directamente en la zona intermareal,
- (2) implantando frondas reproductivas en la zona intermareal y
- (3) liberando esporas sobre diferentes sustratos (velcro, nylon, piedra) y llevados posteriormente como esporofitos a la zona intermareal

donde los mejores resultados se obtuvieron en los dos primeros casos y en densidades finales bajas de 3 - 4 plántulas menores a 10 cm de longitud en un área de 10 m<sup>2</sup>. Estos mismos autores argumentan en otros reportes que los trasplantes de juveniles y adultos de *L. nigrescens* han sido ineficaces en el norte de Chile debido a la constitución granítica del sustrato y el grado de exposición de las costas del pacifico sur, impidiendo la permanencia de elementos de sujeción (Vásquez & Tala, 1995).

En el 2003 el grupo de investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile usó a *L. nigrescens* en un sistema para replantar macroalgas en el intermareal bajo, en una localidad semiexpuesta y sobre un sustrato rocoso (Correa et al, 2006). El sistema, que consiste en unir planta por planta utilizando mallas apernadas al sustrato fue factible, re-adhiriéndose el alga en los roqueríos, aunque una tendencia muestra que el crecimiento del alga parece ser más rápido en el ambiente natural que en el alga trasplantada, posiblemente por el gran costo energético que conlleva re-adherirse al sustrato.

En el año 2010, Vásquez et al (2012) probó sistemas de repoblamiento para *M. pyrifera* en el sur de Chile, basado en la siembra de esporas sobre diferentes sustratos. Los resultados de estas experiencias fueron exitosos, logrando buena fijación de esporas, buen reclutamiento de esporofitos sobre los sustratos e individuos cercanos a 1m de longitud cuando son cultivados en el mar.

## 2. Materiales y Métodos

---

### 2.1 Área de estudio

El área donde se realizó este estudio corresponde a la localidad costera de Bahía Chasco (27° 39' S; 70° 59' O), aproximadamente 60 km hacia el sur de Caldera (Fig.2). Esta localidad es un área de alrededor de 14 Km<sup>2</sup>, las cuales están cubiertas casi en su totalidad por algas pardas de *M. integrifolia* y en menor grado de *Lessonia trabeculata*. El sustrato corresponde principalmente a roca metamórfica, aunque es frecuente encontrar parches con arena blanca.



Fig. 2. Área de estudio para pruebas de dinámica poblacional, manejo y repoblamiento de *M. integrifolia* en la localidad de Bahía Chasco

## 2.2 Estudio de la dinámica poblacional de *M. integrifolia* en Bahía Chasco: área sin intervención antrópica

Para evaluar la dinámica poblacional en áreas sin intervención antrópica se delimitaron 12 m<sup>2</sup> dentro la pradera natural (12 réplicas de 1 m<sup>2</sup>), en los cuales se determinó mensualmente:

**Tamaño promedio de la población (R+J+A):** se estimó midiendo la longitud de todas las plantas presentes en el área delimitada, incluyendo a los reclutas (R), juveniles (J) y adultos (A), estableciendo un promedio. Los reclutas con longitudes menores a 40 cm, los juveniles con tamaños entre 40 – 150 cm y los adultos sobre 150 cm.

**Tamaño promedio sin reclutas (J + A):** se determinó midiendo todos los individuos juveniles y adultos de la población muestral sobre los 40 cm de longitud (es decir, exceptuando los reclutas), estableciendo un promedio.

**Tamaño promedio plantas adultas (A):** se estimó midiendo exclusivamente las plantas adultas en el área delimitada, plantas sobre 1,5m de longitud, estableciéndose un promedio.

**Individuos reproductivos:** también llamado fenología reproductiva, corresponde al número total de la población (o porcentaje) muestral que se encuentran reproductivas, es decir, que presentan esporofilas (frondas especializadas para la reproducción a través de esporas). Se estimó contabilizando la cantidad de estos individuos m<sup>2</sup>, estableciendo un promedio.

**Reclutamiento (aparición de reclutas):** corresponde al número de reclutas (nuevos individuos) por metro 2 que aparecen en el área delimitada, y su variación mensual en el tiempo (reclutamiento mensual). El reclutamiento acumulado se refiere al número de individuos total (en promedio) que fueron reclutados m<sup>2</sup> hasta el respectivo muestreo. Para su cálculo, fue necesario identificar y medir todos los reclutas del área delimitada de forma mensual.

**Densidad promedio:** se contabilizaron todos los ejemplares presentes en el área delimitada (m<sup>2</sup>) y su variación mensual dentro del área delimitada.

**Mortalidad (%):** se refiere al número de individuos promedio que se desprenden o mueren de la población. Se estableció a través de la diferencia porcentual en el número de individuos entre un mes y su mes sucesivo.

**Tasa de crecimiento relativo (% día<sup>-1</sup>):** corresponde al crecimiento específico (o relativo) promedio de las plantas. Se estableció asumiendo un crecimiento sigmoideo (logarítmico) de las plantas, a través de la relación:

$$\text{Tasa de crecimiento relativo} = 100 \times [\text{Ln}(\text{Longitud final}) - \text{Ln}(\text{Longitud inicial})]/\text{tiempo}$$

## 2.3 Estudio de la dinámica poblacional de *Macrocystis* en un área intervenida (Cosechada) completamente.

Dentro de la pradera de Bahía Chasco se delimitó un área de 6 m<sup>2</sup>, área la cual fue intervenida completamente en el mes de Mayo (Otoño) y en el mes de Noviembre (Primavera), eliminando todas las algas e invertebrados sésiles presentes en ella. Mensualmente fue muestreado el nivel de reclutamiento de nuevos individuos de *Macrocystis*, así como también sus variables poblacionales. Las metodologías para muestrear estas variables fueron descritas en la sección anterior (ver: estudio de la dinámica poblacional).

## 2.4 Evaluación de sistemas de repoblamiento de *M. integrifolia* en Bahía Chasco

### 2.4.1 Cultivo de esporofitos de *M. integrifolia* en laboratorio

Material reproductivo de *M. integrifolia* (esporofilas o frondas reproductivas; Fig. 3) fueron colectados mensualmente y llevados al laboratorio de algas de la Universidad Austral de Chile en Puerto Montt, para iniciar cultivos de esporofitos a) sobre diferentes sustratos y b) flotantes (free-floating) y c) determinar su viabilidad de germinación. Estas esporofilas fueron lavadas y limpiadas de epibiontes, secadas y re inmersas en bolsas de plástico estériles con medio de cultivo Provasoli para la liberación de esporas, de acuerdo a Westermeier et al. 2006.



Fig. 3. Fronda reproductiva (esporofila) de *M. integrifolia* proveniente de Bahía Chasco, región de atacama. La zona manchada corresponde a los esporangios, donde se contienen las esporas.



Fig. 4. Bolsas plásticas en cuyo interior se realiza la liberación de esporas.

#### **2.4.2 Crecimiento de esporófitos: fijación en sustratos**

*Una vez transcurrido este proceso, las bolsas son dispuestas en incubadoras para comenzar el cultivo, bajo las condiciones de 25- 50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de luz (irradiancia), fotoperiodo de 16:8 (L:O) y 10°C de temperatura.*

*En el interior de las bolsas con medio de cultivo Provasoli se incorporaron sustratos de diferente naturaleza, para la fijación de esporas sobre ellos: cabos de polipropileno, mallas, cerámicas blancas y negras, trozos de PVC y de fibrocemento, piedras y algodón.*

*La aparición de esporofitos y su medición fue realizada de forma semanal, a través del raspado parcial de estos sustratos. Estos sustratos fueron trasladados a la región de Atacama cuando tenían 1, 2, 3 y 4 meses de cultivo, y permanecieron durante 1 año.*



Fig. 5. Sustratos para la siembra de esporas. De izquierda a derecha: Cerámicas negras, cerámicas blancas y trozos de PVC



Fig. 6. Sustratos para la siembra de esporas. De izquierda a derecha: trozos de malla, piedras y trozos de PVC

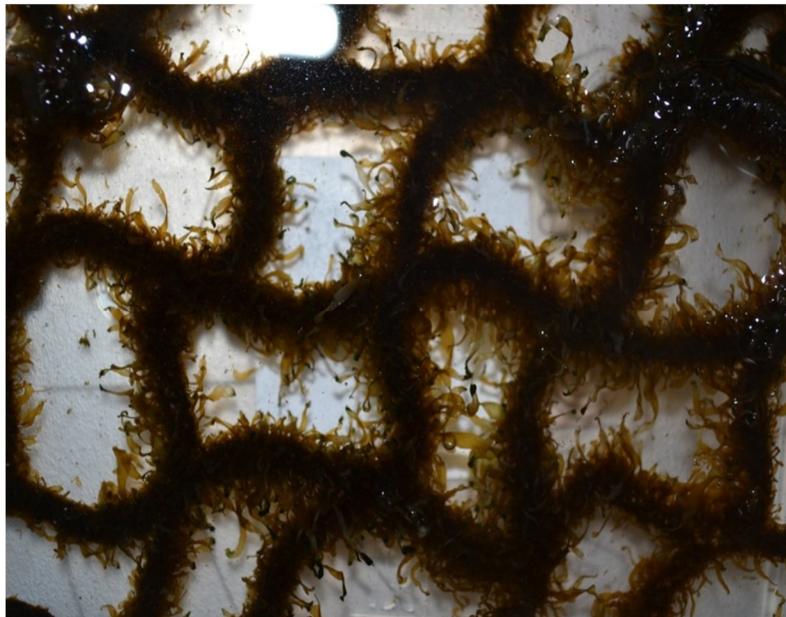


Fig. 7. Sustrato de malla sembrado con esporas de 4 meses de cultivo, donde es posible apreciar esporofitos al ojo desnudo.

## 2.5 Crecimiento de esporófitos: Cultivo de plantas flotantes

La metodología de liberación de esporas fue de manera similar al sistema de cultivo de esporofitos fijos en sustratos. La única diferencia radicó en que las esporas fijadas en la bolsa fueron desprendidas a la semana de cultivo, y las estructuras sexuales (gametofitos machos y hembras) y posteriores esporofitos se desarrollaron sin adherirse a ningún sustrato. El crecimiento de estos esporofitos fue muestreado de forma semanal, misma frecuencia que tuvieron los recambios de agua. A medida que fueron creciendo, estos esporofitos fueron trasladados a diferentes unidades de cultivo: botellas, cilindros y estanques (Westermeyer et al. 2006), hasta que alcanzan sobre los 10 cm, donde son trasladados a la región de Atacama, en Bahía Chasco, para pruebas de repoblamiento.



Fig. 8. Crecimiento de esporofitos iniciales de *M. integrifolia* -procedentes de Bahía Chasco- en cámaras de cultivo dentro de botellas de 1L sobre agitadores magnéticos

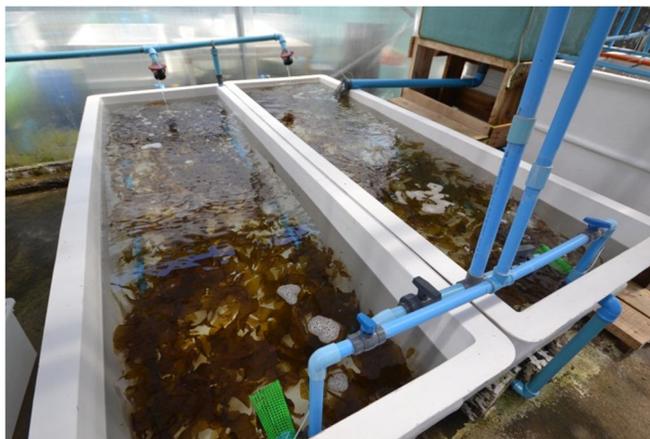


Fig. 9. Crecimiento de esporofitos juveniles de *M. integrifolia* -procedentes de Bahía Chasco- en invernadero dentro de estanques de 1000 L

## 2.6 Evaluación de sistemas de repoblamiento en Bahía Chasco

### 2.6.1 Siembra de plántulas sobre paneles de cultivo

Durante el mes de Mayo, plantas de *M. integrifolia* fueron sembradas en líneas de cultivo (Fig. 10). Estas plantas fueron originadas a través de

- a) *Plántulas de cultivo*: plantas originadas vía cultivo flotante de *M. integrifolia* en UACH Puerto Montt, y llevadas a Bahía Chasco para su siembra.
- b) *Reclutas*: individuos nuevos de *M. integrifolia* sacados de la pradera natural de Bahía Chasco (menores a 30 cm y en general de discos de fijación con pocas ramificaciones y desarrollo), fueron sembrados en líneas de cultivo.
- c) *Individuos de disco cortado*: Individuos de plantas adultas con varias ramificaciones fueron cortados con una porción del disco, originando plantas pequeñas. Estas plantas fueron trasplantadas a las líneas de cultivo.

El sistema consistió de 4 Paneles laterales de 25 m<sup>2</sup> cada uno, y un panel central de 100 m<sup>2</sup>, en los cuales Long-lines con plántulas de *M. integrifolia* (3 individuos m<sup>-1</sup>) fueron puestos en estos paneles, a una distancia de 0,5 m entre líneas. De forma paralela y bajo el área circundante de 400 m<sup>2</sup> se despejó completamente de algas *Macrocystis* (Fig. 11 y 12).

Se esperaba que las plántulas sobre los paneles crezcan y alcancen la madurez sexual, liberen los propágulos al medio, y recluten las áreas bajo los paneles. Mensualmente fue medido crecimiento (cm), y fenología reproductiva (% individuos reproductivos) de los ejemplares sobre las líneas de cultivo, así como también el nivel de reclutamiento y el crecimiento de estos nuevos ejemplares en las áreas bajo los paneles.



Fig 10. Long-line sembrado con plántulas *M. integrifolia*, para su siembra en Bahía Chasco

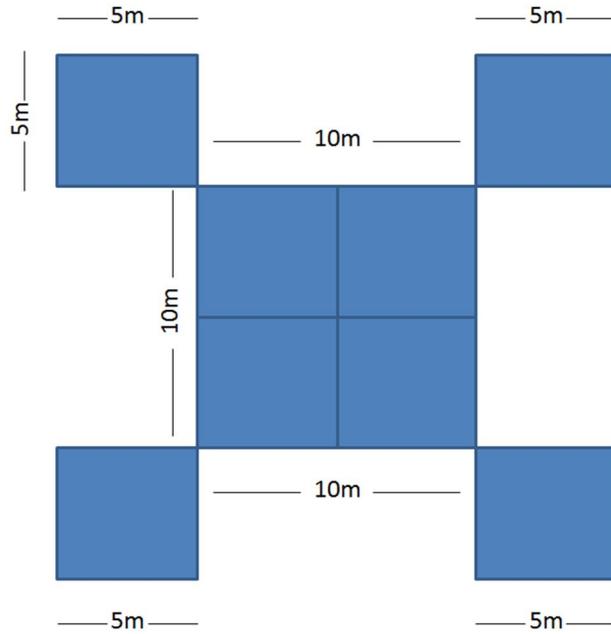


Fig. 11. Plano de los paneles de cultivo (en azul) de *M. integrifolia* para repoblamiento.

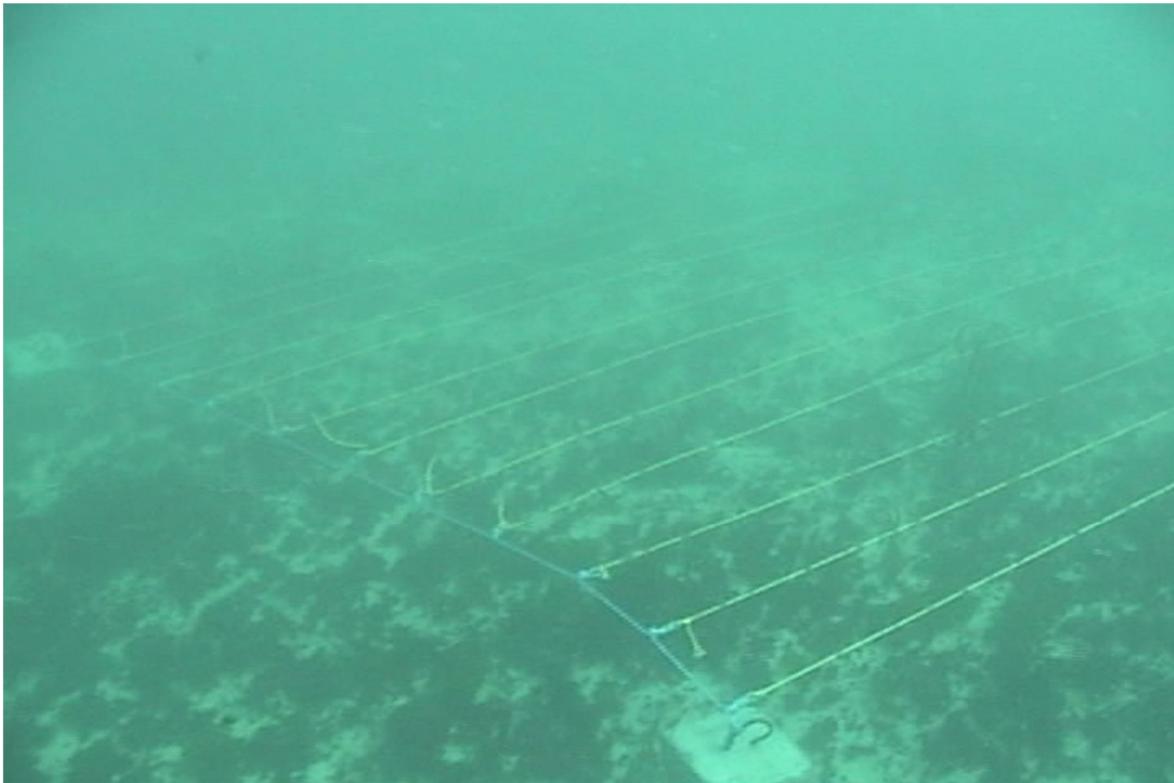


Fig. 12. Panel de cultivo de *M. integrifolia* para repoblamiento

### 2.6.2 Siembra de plántulas sobre diferentes sustratos

Plantas provenientes de cultivo flotante iniciado en la UACH fueron sembradas artificialmente utilizando elásticos o pegamento no tóxico sobre diferentes sustratos, e instalados en Bahía Chasco. Las pruebas fueron realizadas en las épocas de Otoño y Primavera, sembrando 40 individuos por cada tratamiento, sobre bolones, cerámicas, malla o piedra Laja. Mensualmente, se evaluó crecimiento (cm) y fenología de los ejemplares.

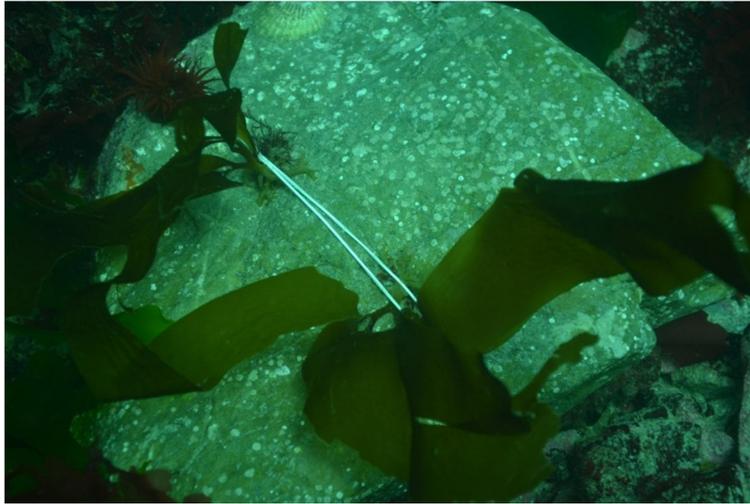


Fig. 13. Siembra de plántulas de *M. integrifolia* sobre bolones utilizando elásticos



Fig. 14. Siembra de plántulas de *M. integrifolia* sobre bolones utilizando pegamento



Fig. 15. Siembra de plántulas de *M. integrifolia* sobre sustrato de cerámica blanca utilizando elásticos



Fig. 16. Siembra de plántulas de *M. integrifolia* sobre sustrato de cerámica negra utilizando elásticos

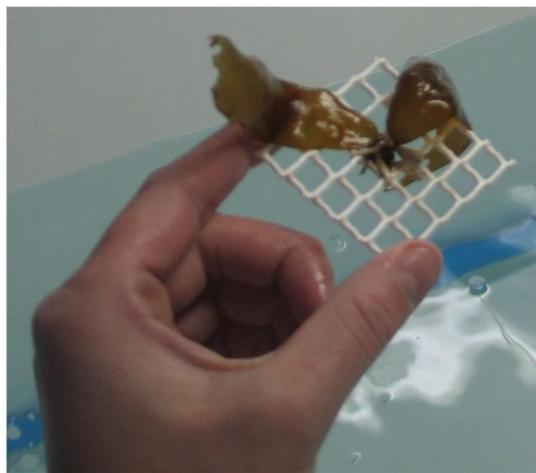


Fig 17. Siembra de plántulas de *M. integrifolia* sobre malla utilizando elásticos

### 2.6.3 Siembra de frondas reproductivas sobre bolones

Frondas reproductivas (esporofilas) de *M. integrifolia* provenientes de la pradera natural de Bahía Chasco fueron colectadas y estimuladas para la liberación de esporas acorde a la metodología descrita en Westermeier et al. (2006). Las frondas fueron lavadas con agua dulce arriba de la embarcación, secadas con toalla nova y dispuestas sobre 1) bolones provenientes del fondo marino y 2) sobre bolones sacados de la orilla sin contacto con agua de mar, con 3) sus respectivos controles (ambos tratamientos sin frondas). Las frondas se mantienen con mangas de algodón, las que se deshacen en un par de días permitiendo que la fronda en descomposición no afecte la viabilidad de las esporas liberadas y que se han fijado sobre el sustrato utilizado.

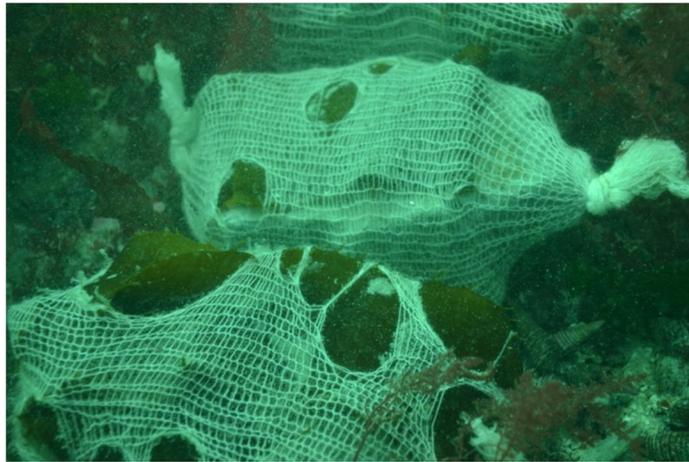


Fig. 18. Siembra de esporofilas de *M. integrifolia* sobre bolones a través de mallas de algodón



Fig. 19. Grupo control. Bolones sin esporofila

## 2.7 Pruebas de manejo

### 2.7.1 Frecuencia de cosechas

*Dentro de una superficie delimitada de 36 m<sup>2</sup>, se subdividieron áreas de 6 m<sup>2</sup> cada una, áreas en donde se procedió a realizar cosechas con frecuencia mensual, bimestral, trimestral, cuatrimestral, cada cinco meses y semestrales. El método de cosecha fue el aplicado por los pescadores artesanales de Bahía Chasco, cosechando manualmente mediante buceo semiautónomo todos los individuos mayores a 30 cm aprox. de longitud. La biomasa colectada fue posteriormente pesada (peso húmedo), estimándose la productividad de cada área (kg m<sup>2</sup>). Adicionalmente se muestrearon para cada tratamiento variables de la dinámica poblacional: longitud promedio de las plantas, densidad y fenología, acorde a la sección dinámica poblacional (ver: estudio de la dinámica poblacional)*

## 3. Resultados

### 3.1 Dinámica poblacional

#### 3.1.1 Área sin intervención antrópica

En general, el reclutamiento de *M. integrifolia* en el área sin intervenir de Bahía Chasco fue bastante bajo (Fig. 20). Los primeros reclutas fueron detectados a partir del mes de Junio, con 0 - 1 reclutas m<sup>2</sup> mensual. Hacia los meses de primavera, estos aumentaron entre 1 - 2 reclutas m<sup>2</sup> mensual, lo que significó un reclutamiento acumulado de 3,08 reclutas m<sup>2</sup>. En los meses siguientes, el reclutamiento fue escaso, llegando a un reclutamiento acumulado de 3,41 reclutas m<sup>2</sup> en el periodo total Mayo 2011 - Marzo 2012.

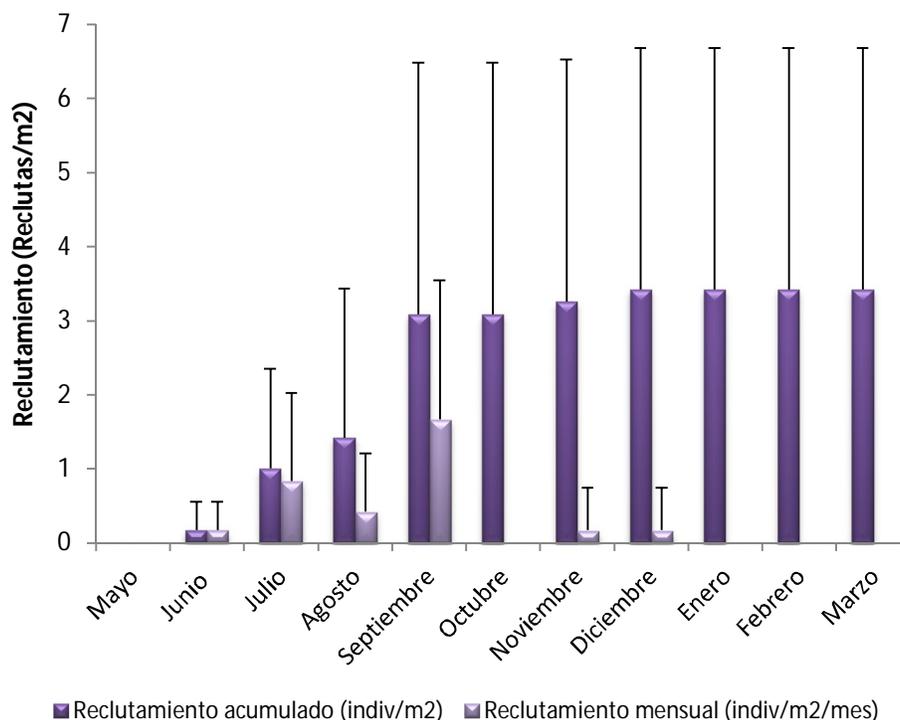


Fig. 20. Reclutamiento mensual y acumulado de *M. integrifolia* en un área sin efecto antrópico.

El crecimiento en la pradera de *Macrocystis integrifolia* de Bahía Chasco es mostrado en la figura 21. En Otoño, y específicamente en Mayo, se registraron los valores más bajos en talla, con valores de 72 cm de longitud (Fig. 21). Hacia los meses estivales, estos valores se incrementaron significativamente, llegando a sobrepasar los 300 cm en el mes de Diciembre, cuando alcanzaron sus mayores tallas (Fig. 21). En Enero, las tallas de *M. integrifolia* disminuyeron dramáticamente un 50% de los valores alcanzados el mes de Diciembre, y en Febrero, otro 30% mas, para que en Marzo se encuentren individuos de cerca de 100 cm de longitud.

La fenología reproductiva (% individuos reproductivos) de *M. integrifolia* mostró una tendencia estacional, con un aumento en invierno de aproximadamente un 80% de individuos reproductivos en Julio y otro aumento en verano, alcanzando 92% de individuos reproductivos en Febrero.

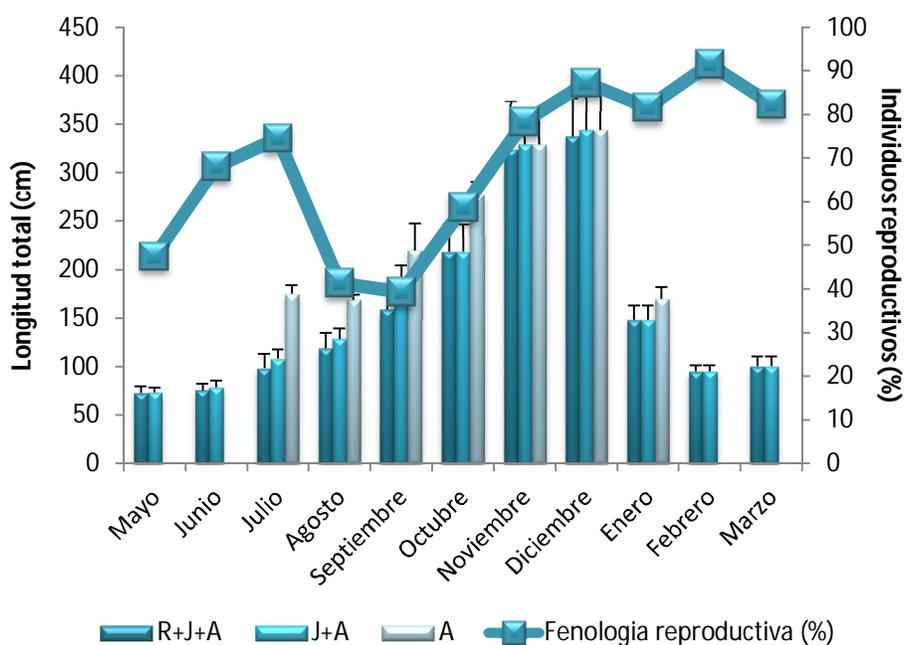


Fig. 21. Crecimiento y fenología de *Macrocystis integrifolia* de Bahía Chasco en un área sin efecto antrópico. R: Reclutas (individuos < 40 cm.); J: Juveniles ( $\geq 40$  cm hasta 150 cm); A: Adultos (individuos  $\geq 150$  cm)

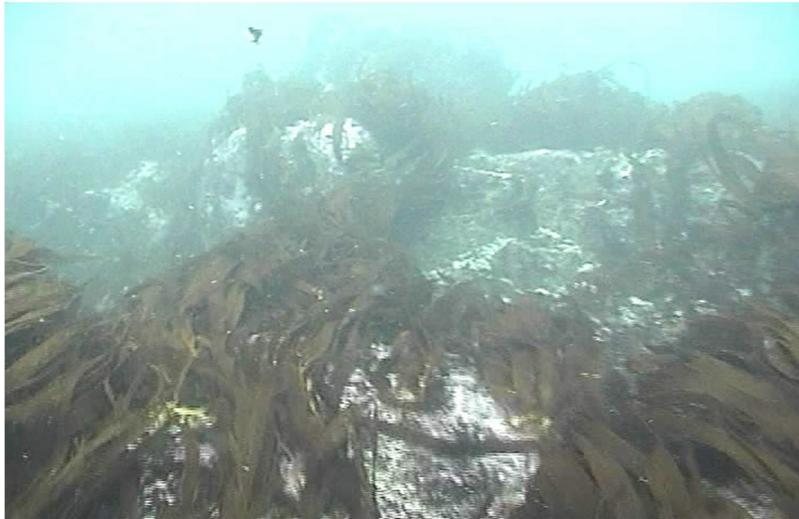


Figura 22. Pradera de *M. integrifolia* de Bahía Chasco durante el mes de Mayo de 2011



Figura 23. Pradera de *M. integrifolia* de Bahía Chasco durante Diciembre 2011

La densidad de plantas dentro de la pradera fue de 17 individuos m<sup>2</sup> en promedio durante el mes de mayo, valores los cuales disminuyeron drásticamente al mes siguiente a menos de 6 individuos m<sup>2</sup> por efecto de las fuertes marejadas de la zona (Fig. 24). A partir de Junio se observa un incremento en la densidad de plantas hacia los meses de primavera (ca. 12 individuos m<sup>2</sup> en Septiembre), valores que disminuyen en los meses de verano (ca. 5 individuos m<sup>2</sup> en Marzo).

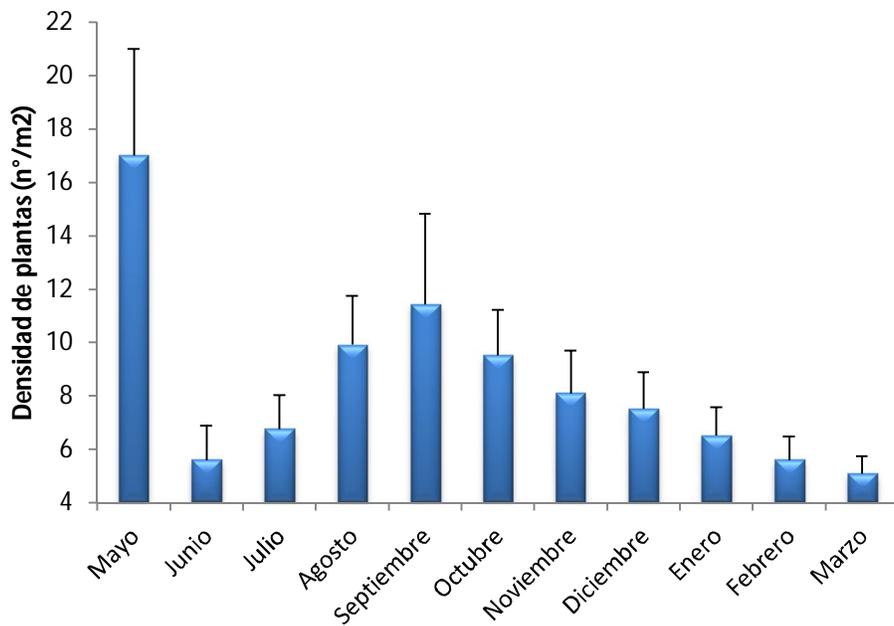


Fig. 24. Densidad de individuos de *M. integrifolia* en un área sin efecto antrópico

La mortalidad de *Macrocystis* dentro del área sin intervención de la Bahía Chasco es mostrada en la figura 25. El mayor evento de mortalidad es mostrado en Junio por fuertes marejadas que generaron un desprendimiento de cerca del 50% de la población muestreal. En los meses de julio a octubre no se detectaron mortalidades, sino desde noviembre a marzo, cuando por efecto de raleo las mortalidades variaron entre 7 – 33% mensual. Este raleo ocurre por los tamaños de los talos, los cuales se enredan y por fricción entre ellas se sueltan del sustrato.

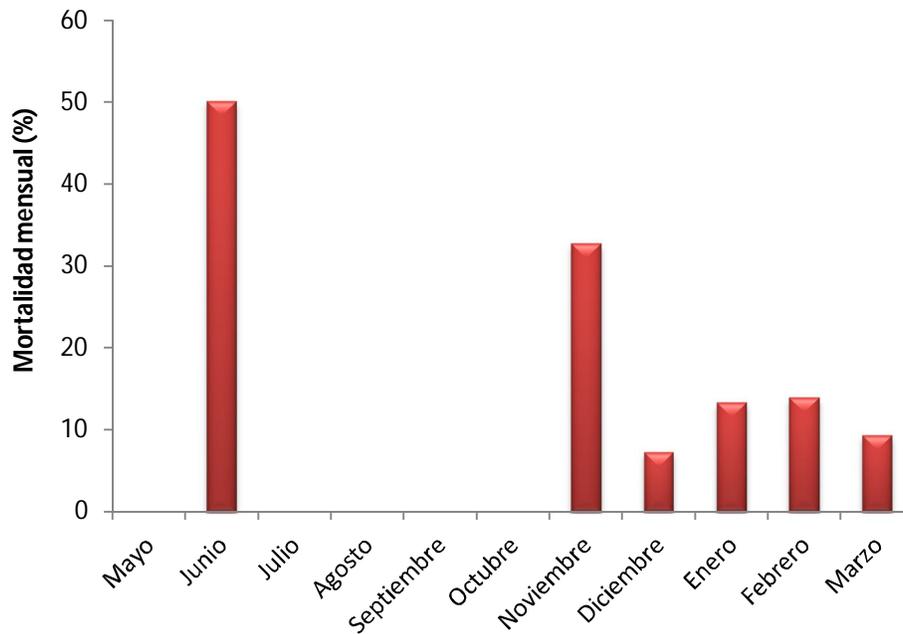


Fig. 25. Mortalidad de *M. integrifolia* en un área sin efecto antrópico

La tasa de crecimiento relativo en promedio de reclutas (R), plantas juveniles (J) y adultas (A) de *M. integrifolia* en Bahía Chasco fluctuó entre 0,13 – 1,32 % día<sup>-1</sup> (diaria) en el periodo comprendido entre invierno – primavera. Sin embargo a fines de primavera y verano se detectaron fenómenos de erosión o destrucción del talo, los cuales significaron tasas de crecimiento negativas (decrecimientos por perdida de tejido) de entre -2,74 – -1,49 % día<sup>-1</sup>(diaria).

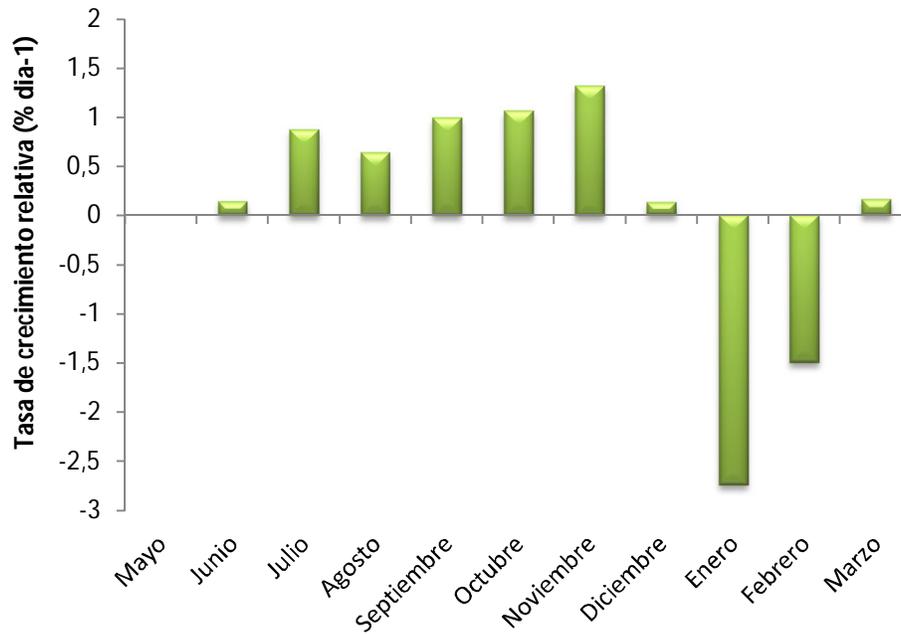


Fig. 26. Tasa de crecimiento relativa de *M. integrifolia* en un área sin efecto antrópico.

### 3.1.2 Área intervenida

#### Intervención otoño

El reclutamiento mensual y acumulado se muestra en la figura 27. A diferencia del área sin intervenir, el repoblamiento mensual en el área intervenida fue bastante más alto, llegando a 10 reclutas m<sup>2</sup> mensual en el mes de Agosto. El reclutamiento acumulado alcanzó más de 25 reclutas m<sup>2</sup> hasta el mes de Noviembre (Fig. 28).

Una vez que el área fue despejada, se tardó dos meses en aparecer los primeros reclutas, los cuales crecieron y alcanzaron cerca de los 200 cm en 4 meses. Se observó una gran diferencia entre los grupos que consideraban a los reclutas y a los juveniles, lo cual refleja la gran dispersión de tallas en el área, dado el alto reclutamiento en la zona.

La fertilidad de los individuos fue progresiva a partir del mes de Septiembre, fecha donde se detectaron los primeros individuos fértiles. Hasta el mes de marzo, más del 50% de la población muestral presentó esporofilas.

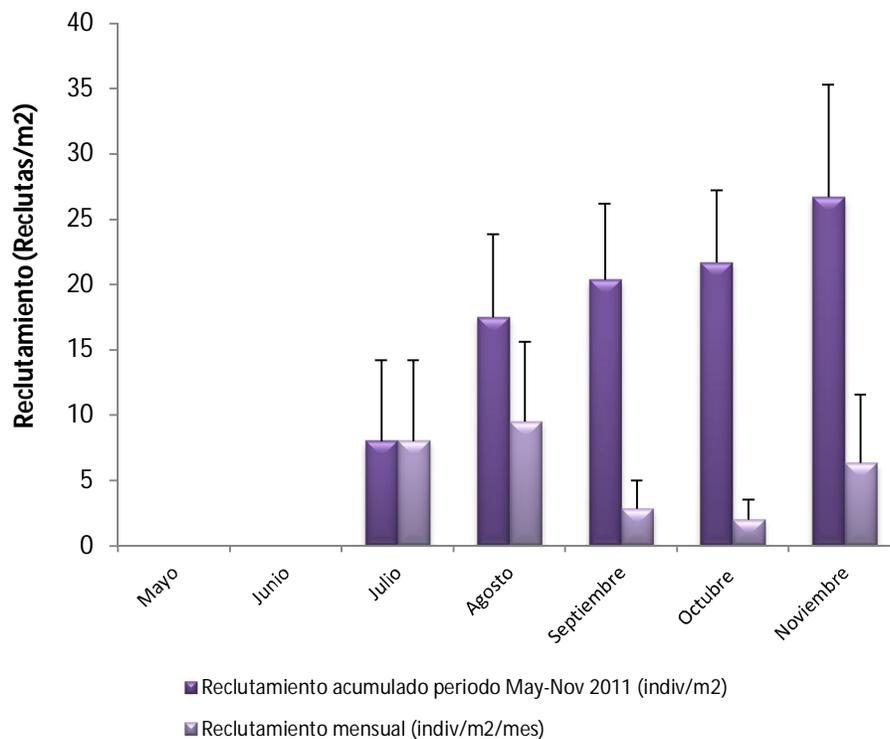


Fig. 27. Reclutamiento mensual y acumulado de *M. integrifolia* en un área intervenida completamente en Otoño



Fig. 28. Reclutas de *Macrocystis integrifolia* en la localidad de Bahía Chasco

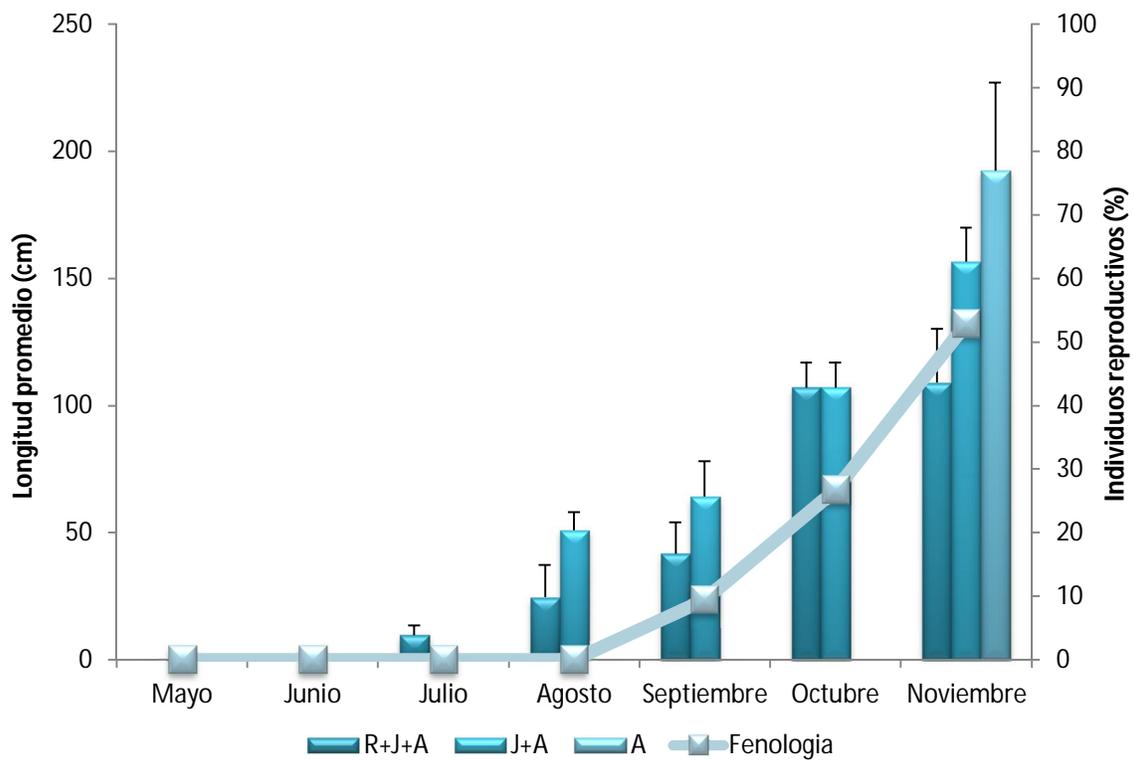


Fig. 29. Crecimiento y fenología de *Macrocystis integrifolia* de Bahía Chasco en un área intervenida completamente en Otoño. R: Reclutas (individuos < 40 cm.); J: Juveniles ( $\geq 40$  cm hasta 150 cm); A: Adultos (individuos  $\geq 150$  cm)



Fig. 30. Individuo reproductivo de *M. Integrifolia* portando esporangios.

La densidad de plantas de *M. integrifolia* dentro del área de estudio fue algo variable, pero mucho más alto que los reportados en el área de la pradera de Bahía Chasco sin intervención. En Agosto los valores llegaron a 15 individuos m<sup>2</sup>, valores que disminuyeron en los meses sucesivos a 7,5 individuos m<sup>2</sup> (fig. 31). En noviembre se detectaron sobre los 20 individuos m<sup>2</sup>, probablemente por el gran número de reclutas dentro de cada cuadrante.

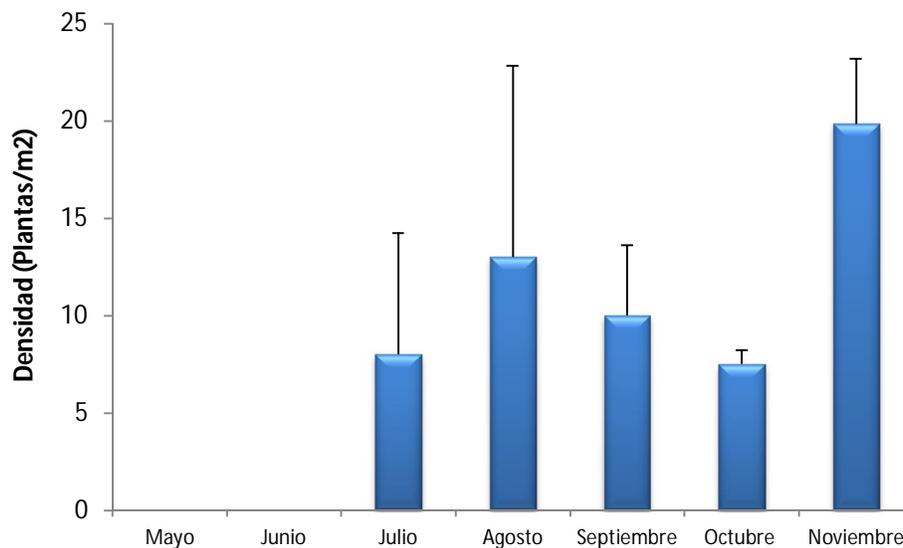


Fig. 31. Densidad de individuos de *M. integrifolia* en un área intervenida en Otoño

La mortalidad dentro del área estuvo restringida sólo a los meses de primavera (principalmente por fenómenos de auto-raleo), alcanzando los 23,1% y 25% en los meses de Septiembre y Octubre respectivamente (fig 32).

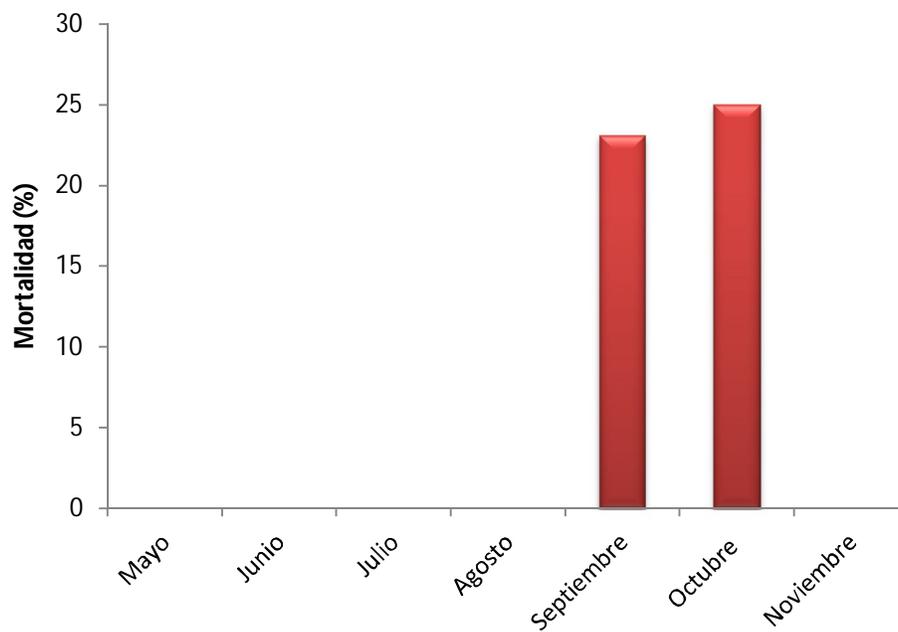


Fig. 32. Mortalidad de *M. integrifolia* en un área intervenida en Otoño

La tasa de crecimiento de estos individuos varió entre 1,65 – 7,5 % día<sup>-1</sup> (diario), tasas muy altas, donde los mayores valores se detectaron en Julio y los menores valores en Noviembre (fig. 33).

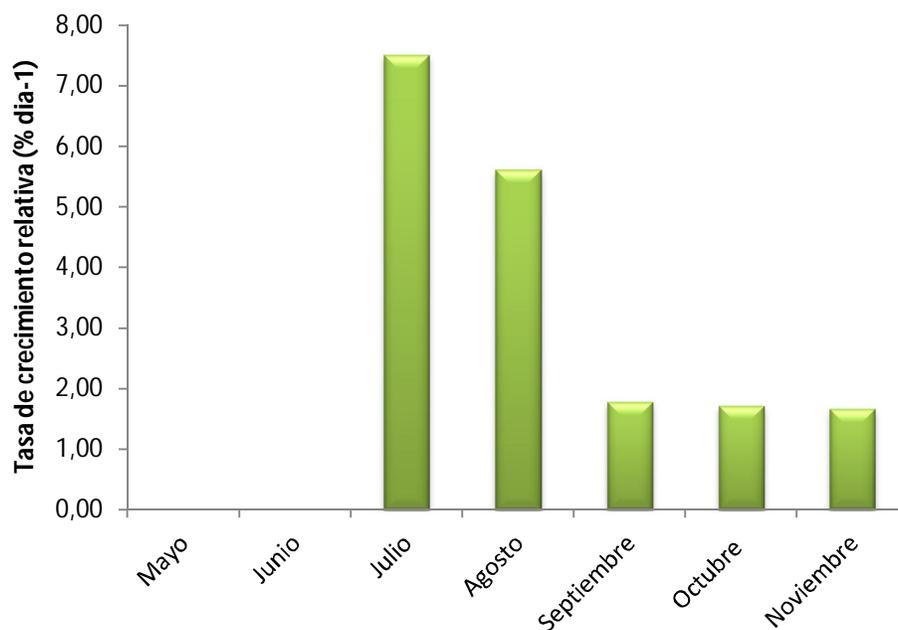


Fig. 33. Tasa de crecimiento relativa de *M. integrifolia* en un área intervenida en Otoño

### Intervención primavera

El reclutamiento en Bahía Chasco después de la intervención total en primavera tardó tres meses, un mes más que la intervención en otoño. Además, el grado de reclutamiento fue mucho menor, con 2 reclutas m<sup>2</sup> mensual en promedio. El reclutamiento acumulado hasta el mes de marzo fue de 4,5 reclutas m<sup>2</sup> (fig. 34).

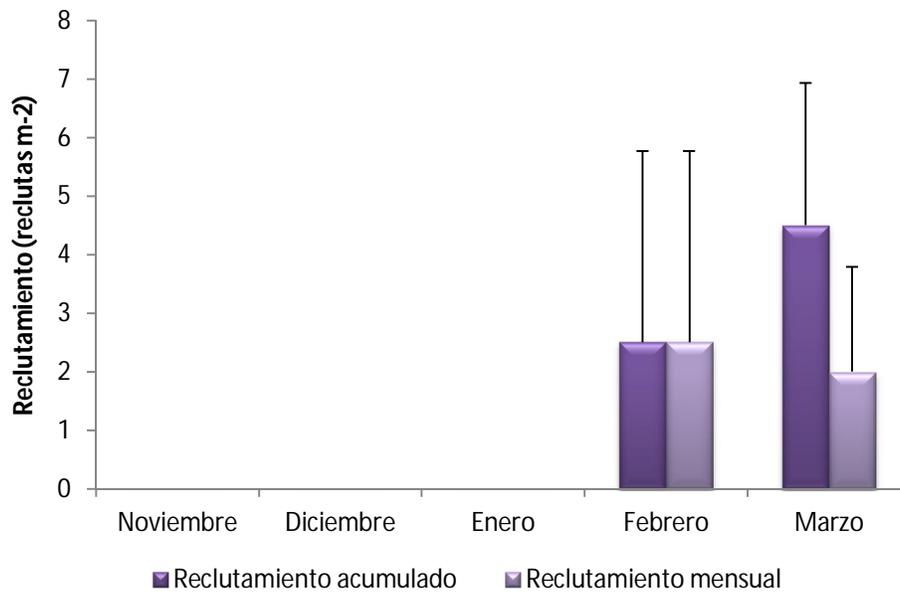


Fig. 34. Reclutamiento mensual y acumulado de *M. integrifolia* en un área intervenida completamente en Primavera

Asimismo, el crecimiento de estos reclutas fue menor que el reportado para la intervención en otoño. En dos meses desde su aparición estos reclutas alcanzaron 10 cm en promedio, de los cuales obviamente ningún ejemplar se encontraba reproductivo (fig. 35).

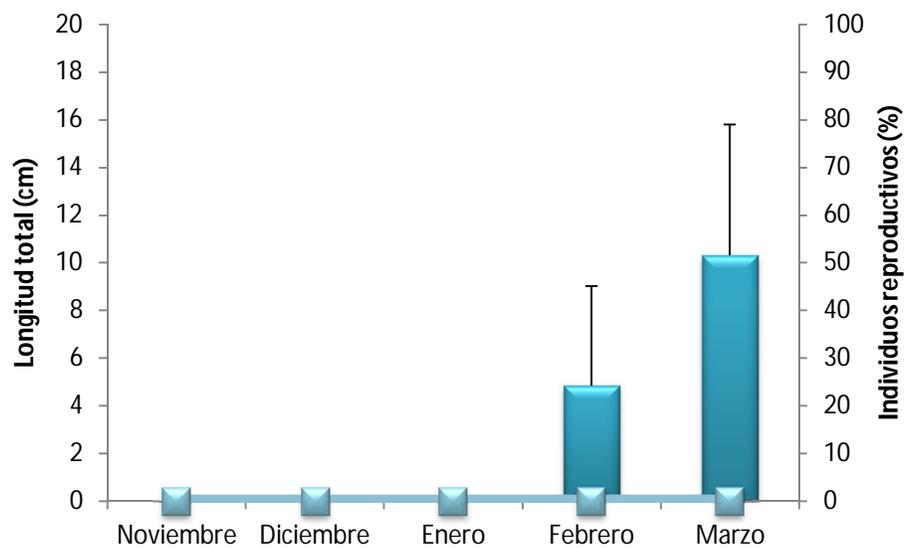


Fig. 35. Crecimiento y fenología de *Macrocyctis integrifolia* de Bahía Chasco en un área intervenida completamente en Primavera.

La densidad de plantas fue también menor al área intervenida en otoño, con valores máximos de 4,7 individuos m<sup>2</sup> en promedio, los cuales fueron alcanzados en Marzo 2011 (fig. 36). No se detectaron aun eventos de mortalidad dentro de esta área.

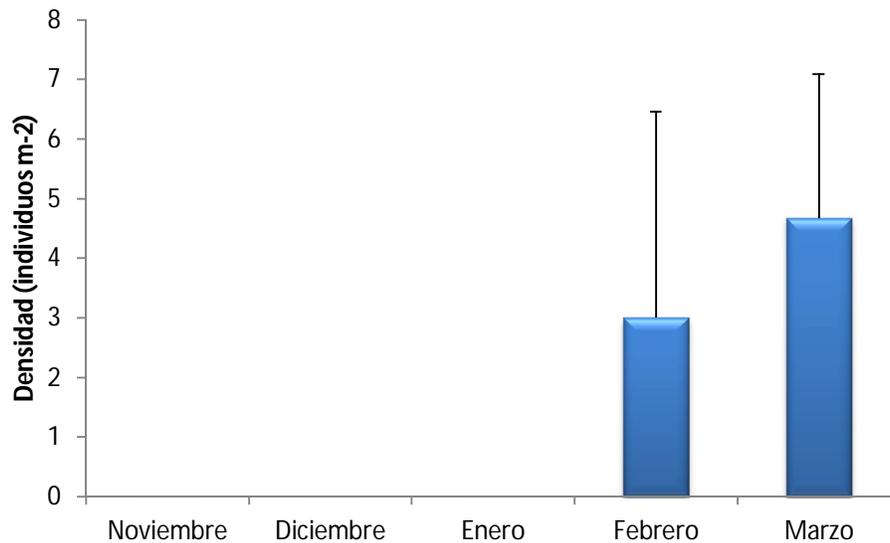


Fig. 36. Densidad de individuos de *M. integrifolia* en un área intervenida en primavera

La tasa de crecimiento relativa máxima de estos ejemplares fue de 5,24 % día<sup>-1</sup> (diario), 30% menor que las obtenidas para el tratamiento de Otoño. No se han detectado aún eventos de mortalidad.

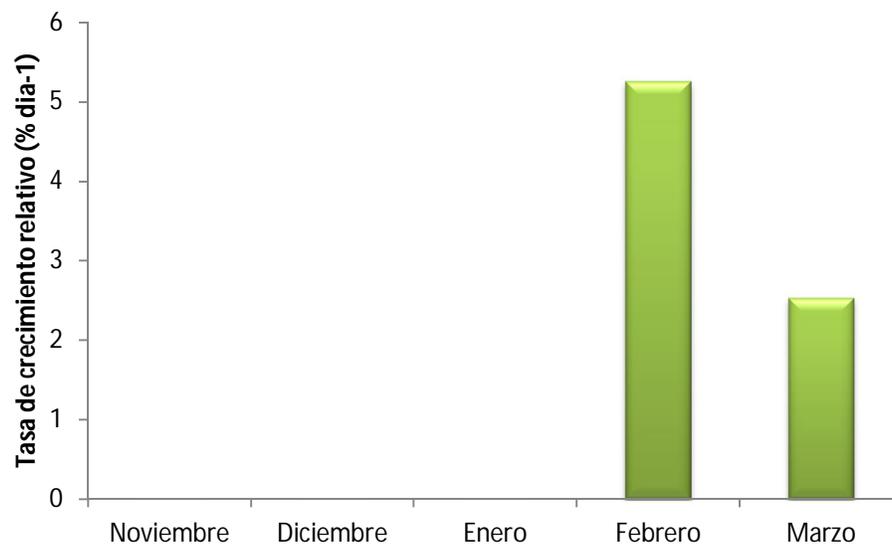


Fig. 37. Tasa de crecimiento relativa de *M. integrifolia* en un área intervenida en Primavera

## 3.2 Sistemas de repoblamiento

### 3.2.1 Sistema de repoblamiento utilizando esporas

#### *Siembra de esporas sobre sustratos, y su posterior traslado al mar*

La tabla 1 muestra los diferentes sustratos utilizados para la siembra de esporas en laboratorio, las fechas de sus respectivas activaciones (esporulaciones) y el tiempo de cultivo que alcanzaron al momento de ser trasladados al mar (edad). Los individuos de 1, 2 y 3 meses de cultivo poseían etapas microscópicas conocidas como esporas, gametofito o esporofitos iniciales microscópicos, mientras que los de 4 meses eran esporofitos iniciales visibles al ojo desnudo.

Los sustratos de cuatro meses que poseían esporofitos iniciales, mostraron un desprendimiento masivo de estos al mes siguiente de muestreo, lo que se tradujo en su mortalidad total. Al igual que los tratamientos sembrados a los 4 meses, los de 1, 2 y 3 meses presentaron otro tipo de epibiontes sobre su superficie al mes siguiente de muestreo, como algas filamentosas o briozoos. En estos tratamientos no se observó aparición de reclutas, independiente del sustrato y de la época de activación durante 12 meses de control que se realizó la investigación.

Paralelamente, estos mismos tratamientos fueron muestreados en laboratorio, donde todos los tratamientos funcionaron y formaron esporofitos que actualmente están siendo cultivados para la Fase II del proyecto. En definitiva, es factible generar esporofitos por esta vía, pero se debe reevaluar la forma en que se aclimatan desde condiciones de laboratorio al mar.

Tabla 1. Siembra de diferentes sustratos con esporas de *M. integrifolia*

Sustrato	Mes de activación	Tiempo al momento de traslado	Observaciones
<i>Esporas fijas en cerámica negra</i>	Mayo – Sept. – Oct. – Nov.	1, 2, 3 y 4 meses de cultivo	no se observa aparición de reclutas
<i>Esporas fijas en bolones</i>	Mayo – Junio – Sept. – Oct. – Nov.	1, 2, 3 y 4 meses de cultivo	no se observa aparición de reclutas
<i>Esporas fijas en cordeles</i>	Mayo - Junio – Agosto – Sept. – Oct. – Nov.	1, 2, 3 y 4 meses de cultivo	no se observa aparición de reclutas
<i>Esporas fijas en PVC</i>	Junio – Agosto – Sept. – Oct. – Nov.	1, 2, 3 y 4 meses de cultivo	no se observa aparición de reclutas
<i>Esporas fijas en pizarreño</i>	Junio – Agosto – Sept.	1, 2, 3 y 4 meses de cultivo	no se observa aparición de reclutas
<i>Esporas fijas en malla</i>	Junio – Agosto – Sept.	1, 2, 3 y 4 meses de cultivo	no se observa aparición de reclutas

### Siembra de "esporofilas" sobre rocas

Los mejores resultados en reclutamiento fueron obtenidos mediante la utilización de frondas reproductivas sobre bolones de orilla, con el 62,11% de rocas con presencia de reclutas y 1,2 reclutas por roca (Tabla 2). Los bolones de fondo con esporofilas mostraron valores menores, con 14,29% de las réplicas con reclutas y entre 0 – 1 recluta por roca. Tanto los bolones de orilla como los de fondo marino sin esporofila no presentaron reclutas.

Las longitudes de estos reclutas fueron bajas, mostrando individuos que reclutaron hace poco tiempo (Tabla 2). Los valores más altos corresponden a los bolones de fondo con bajas densidades que alcanzan 50,75 cm en promedio, mientras que los valores más bajos fueron de los bolones de orilla con 37,74 cm, debido probablemente a las altas densidades de plantas detectadas bajo este tratamiento.

Tabla 2. Reclutamiento de individuos de *M. integrifolia* sobre rocas de fondo marino y rocas de orilla, utilizando esporofilas unidas con mallas

Bolón de fondo sin esporofila						
Meses	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Rocas con reclutas (%)	0	0	0	28,6	0	0
N° reclutas/roca	0	0	0	2	0	0
Talla promedio (cm)	0	0	0	10,36	0	0
Bolón de fondo con esporofila						
Meses	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Rocas con reclutas (%)	0	0	0	18,52	20	14,29
N° reclutas/roca	0	0	0	1,4	0,6	0,8
Talla promedio (cm)	0	0	0	8,7	67	50,75
Bolón de orilla sin esporofila						
Meses	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Rocas con reclutas (%)	0	0	0	0	0	0
N° reclutas/roca	0	0	0	0	0	0
Talla promedio (cm)	0	0	0	0	0	0
Bolón de orilla con esporofila						
Meses	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Rocas con reclutas (%)	0	0	0	46,51	61,11	62,96
N° reclutas/roca	0	0	0	6,8	3,6	1,2
Talla promedio (cm)	0	0	0	4,45	13,32	37,74

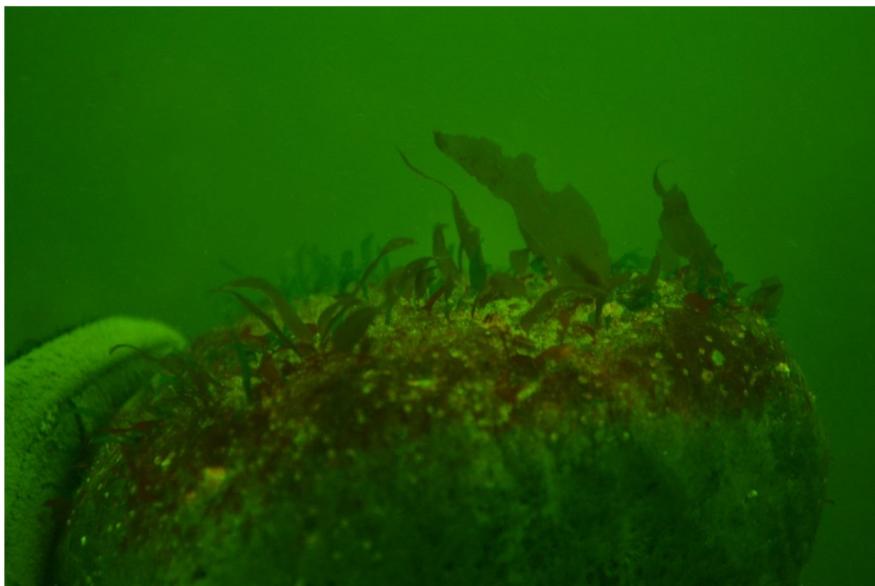


Fig. 38. Bolón de orilla sembrado con "esporofila" con reclutas de *M. integrifolia* después de 3 meses.



Fig. 39. Bolón de orilla sembrado con "esporofila" con reclutas de *M. integrifolia* después de 4 meses.

### 3.2.2 Sistemas de repoblamiento utilizando esporofitos

#### *Sistema de repoblamiento de plantas sembradas sobre un panel de cultivo, y su efecto en reclutamiento*

El crecimiento de las plantas de *M. integrifolia* fue similar, independiente de su origen. Las plantas de cultivo crecieron desde 8,45 cm en Mayo hasta cerca de los 200 cm en Noviembre, fecha en que alcanzaron su máximo tamaño. Después de esa época las plantas se mostraron moribundas en meses de verano, alcanzando entre los meses de Febrero y Marzo bajo los 150 cm de longitud. El crecimiento se comportó de forma similar en los demás tratamientos. Los reclutas fijos sobre líneas de cultivo alcanzaron en 5 meses una longitud similar (ca. de 200 cm en Octubre), disminuyendo su tamaño en verano a más de la mitad de su longitud (Fig. 40). En las plantas de disco cortado proveniente plantas adultas el crecimiento fue sostenido en el tiempo hasta enero, alcanzando sobre los 220 cm (Fig. 42), cayendo drásticamente en los meses siguientes a 110 cm. El crecimiento en el grupo control (pradera natural) fue levemente mayor, alcanzando cerca de los 200 cm en 5 meses. (Fig. 44).

A partir del mes de Septiembre, cuando todos los tratamientos alcanzaban en promedio sobre 1m de longitud, las plantas se empezaron a poner reproductivas, siendo las plantas de disco cortado las que por su mayor longevidad alcanzaron el 100% de los ejemplares reproductivos más rápidamente (Figs 40- 42- 44). En estas plántulas la fenología tendió a variar, en conjunto a una disminución de la longitud total de las frondas, bajando a 66,67% en Diciembre probablemente acompañado de la erosión del tejido reproductivo posterior a la liberación de esporas. en Enero 100% de los talos eran reproductivas.

Las plantas de cultivo y los reclutas sobre líneas alcanzaron el 100% de sus individuos reproductivos tres meses después que las plantas de disco cortado (Figs 40- 42- 44). probablemente por la longevidad de los discos.

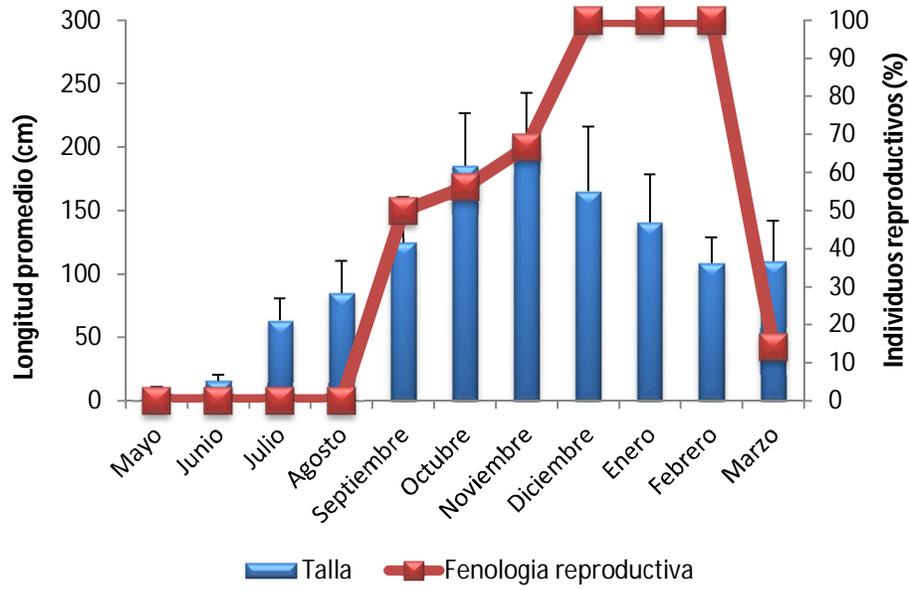


Fig. 40. Crecimiento y variación mensual de la fenología de plántulas de *M. integrifolia* provenientes de cultivo y sembradas en long-lines.



Fig. 41. Plantas de *M. integrifolia* procedentes de cultivo sembradas en longline.

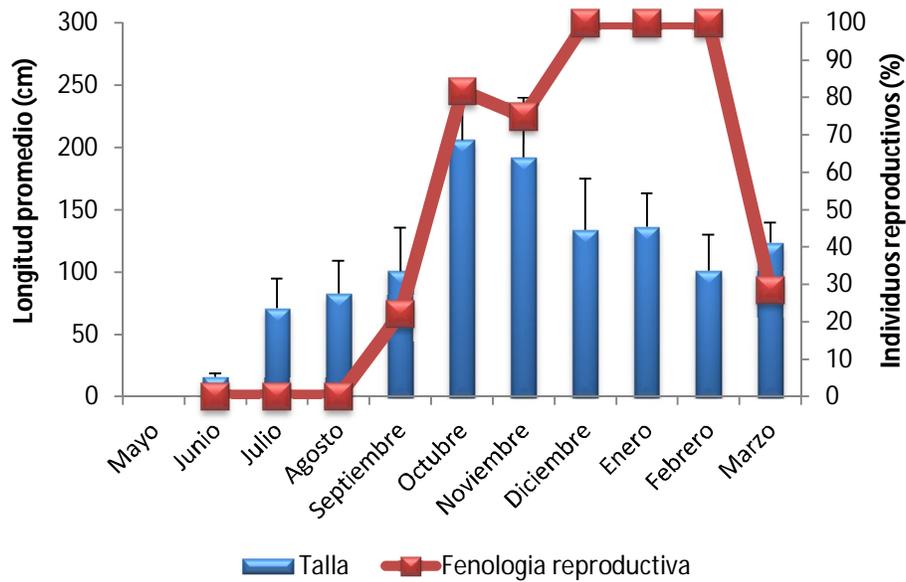


Fig. 42. Crecimiento y variación mensual de la fenología de reclutas de *M. integrifolia* provenientes de la pradera natural en Bahía Chasco y sembradas en long-lines.



Fig. 43. Plantas de *M. integrifolia* procedentes de pradera natural de Chasco (reclutas) sembradas en longline.

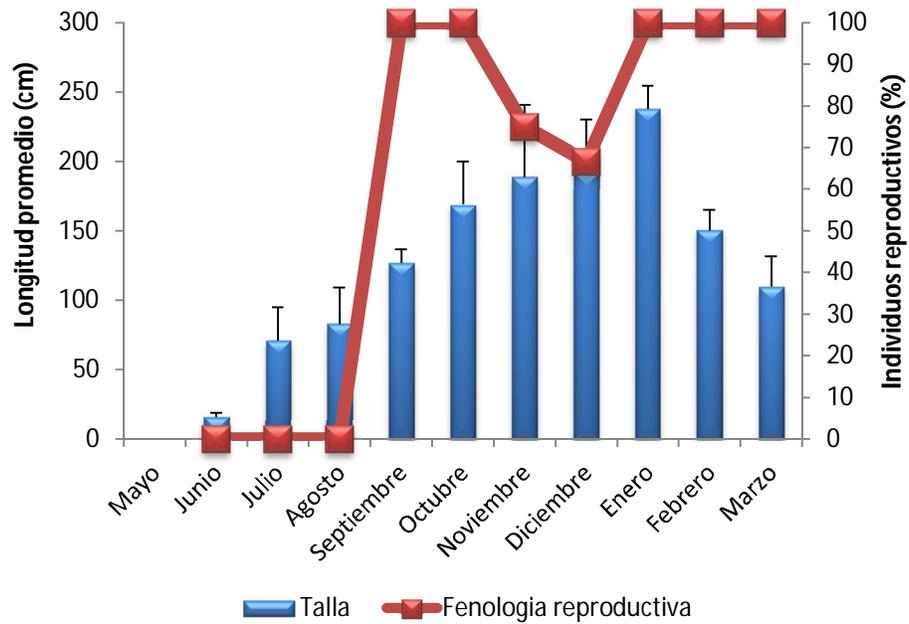


Fig. 44. Crecimiento y variación mensual de la fenología de individuos adultos de *M. integrifolia* cortados desde una porción del disco y sembrados en long-lines.



Fig. 45. Plantas originadas de porciones del disco sembradas sobre longlines

La mortalidad de *M. integrifolia* sobre estos paneles fue bastante baja, independiente del tratamiento (origen de las plantas). La mayor mortalidad fue registrada para las plantas de disco cortado, las cuales debido a su longevidad fueron menos tolerante al trasplante hacia los cordeles. Los más tolerantes y que por ende exhibieron menos mortalidad fueron los reclutas, individuos que teóricamente estaban aclimatados al hábitat. Sin embargo, las diferencias entre los tres tratamientos son bajas, sin representar diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ).

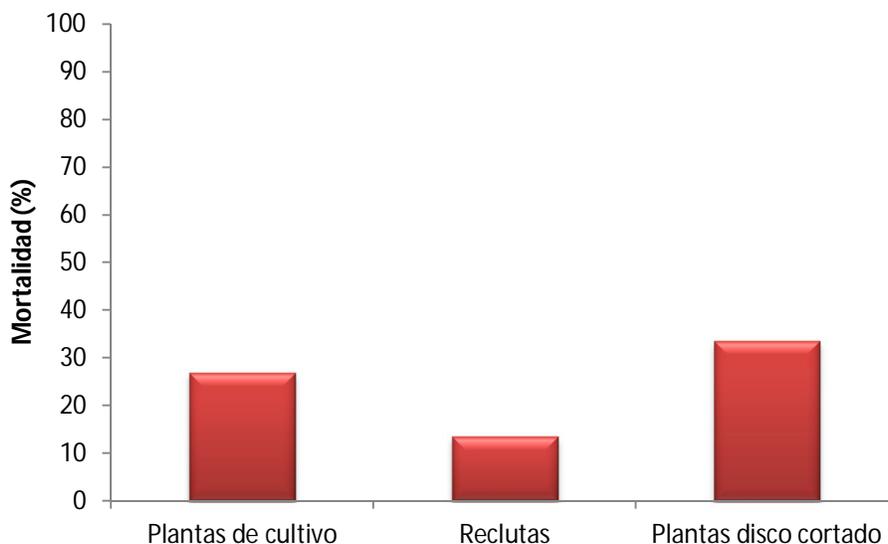


Fig. 46. Mortalidad de diferentes tratamientos de *M. integrifolia* sembrados sobre paneles de cultivo a base de long-lines.

La Figura 47 muestra el nivel de reclutamiento total de *M. integrifolia* bajo paneles de cultivo (4 áreas de 25 m<sup>2</sup> y una central de 100 m<sup>2</sup>) y en áreas cercanas a estos paneles (50 m<sup>2</sup>), áreas las cuales fueron excluidas de la presencia de *M. integrifolia* durante los primeros meses del proyecto (Mayo 2011). En estos tratamientos se evalúa mensualmente el reclutamiento de *M. integrifolia* durante la ejecución del experimento.

En las áreas bajo los paneles y alrededor de estos, fue posible apreciar los primeros reclutas a partir de Octubre desde el montaje de los paneles, y en promedio la aparición de estas pequeñas plantas fue sobre los 10 individuos en cada área (25 m<sup>2</sup>). Las áreas con mayor reclutamiento alcanzaron sobre 20 reclutas por área marcada en el mes de Febrero (Fig. 47). Áreas lejanas al panel mostraron reclutamiento entre 0 – 29 reclutas en áreas cercanas a 100 m<sup>2</sup>, y cuya variabilidad estuvo determinada probablemente por la dirección de la corriente que trasladaba los propágulos.

También se aprecia un crecimiento sostenido de los reclutas. Actualmente se encuentran individuos de tamaños entre 119 – 258 cm (Fig. 47).

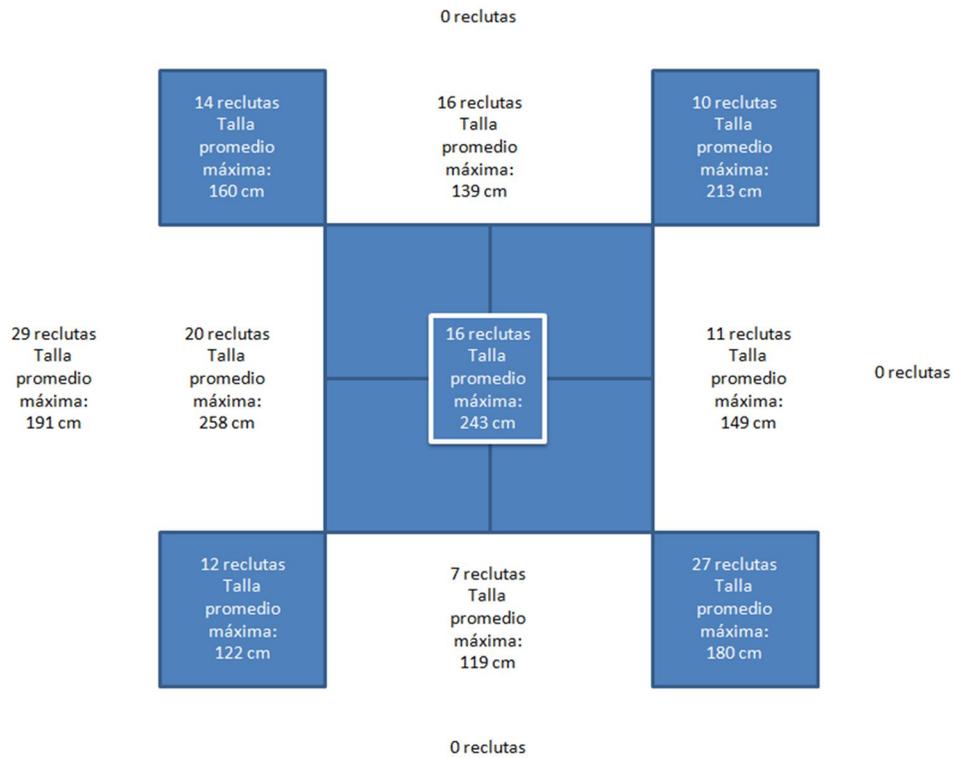


Fig. 47. Resumen del repoblamiento bajo las líneas de cultivo hasta el mes de Marzo 2012 bajo los paneles con long-lines. Valores de reclutamiento acumulado y talla promedio máxima

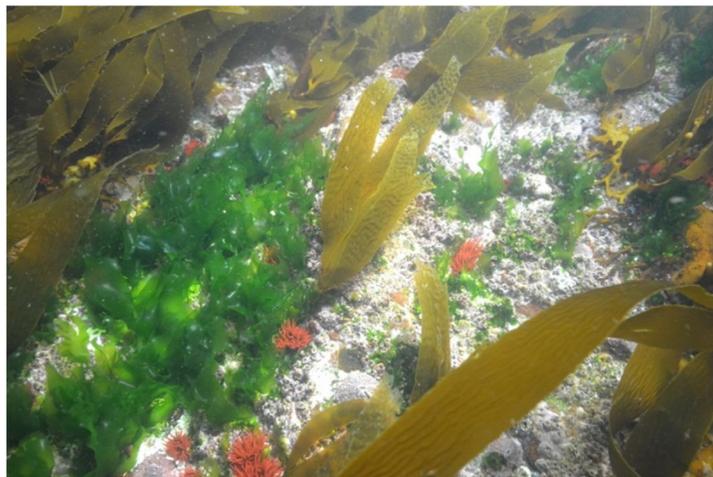


Fig. 48. Reclutas de *M. integrifolia* bajo los paneles de cultivo

### 3.2.3 Plántulas sembradas sobre sustratos

#### *Siembra en Otoño*

Los tratamientos sembrados en Otoño mostraron un comportamiento semejante en el crecimiento, alcanzando entre los 190 y 220 cm a fines de Primavera, pero disminuyendo su longitud en los meses siguientes (Figs. 49; 51; 53; 55).

Las plantas sembradas sobre bolones presentaron un crecimiento similar independiente si fueron inoculadas con pegamento o elástico (sobre los 220 cm). Sin embargo, con elástico se apreció una mejor fijación. Actualmente ambos tratamientos están disminuyendo sus tallas bajo los 170 cm de longitud (Figs. 49; 51; 53; 55).

Menores longitudes de fronda fueron reportadas para los esporofitos fijados sobre cerámica negra, no sobrepasando los 150 cm (Fig. 55; 56). El tratamiento de malla logró buen crecimiento en el tiempo superando los 180 cm en 7 meses (Fig. 53; 54). Después de alcanzar sus valores máximos en primavera, ambos tratamientos disminuyeron su longitud en Marzo a menos de 130 cm y 60 cm los de malla y cerámica respectivamente, y exhibieron altas mortalidades, quedando pocos ejemplares en cada prueba con sobrevivencias de 16,67% para cada tratamiento.

Las figuras (Figs. 49; 51; 53; 55) muestran además el grado de aparición de individuos reproductivos en cada tratamiento para repoblamiento. A partir del mes de Septiembre se apreciaron los primeros individuos fértiles, pero con valores bajos, cercanos al 20%. Las plantas que alcanzan la fertilidad más rápidamente fueron las sembradas con pegamento y elástico, con valores sobre el 80% en 4 meses desde la puesta en marcha de los experimentos. Actualmente todos los individuos presentes en todos los tratamientos se encuentran fértiles, pero con variaciones en el tiempo dado la erosión del tejido reproductivo tras la liberación de esporas al medio. Las esporas resultantes de los tratamientos fueron cultivadas, resultando en su totalidad viables. Actualmente se encuentran en fase de laboratorio para su siembra en la fase II de proyecto.

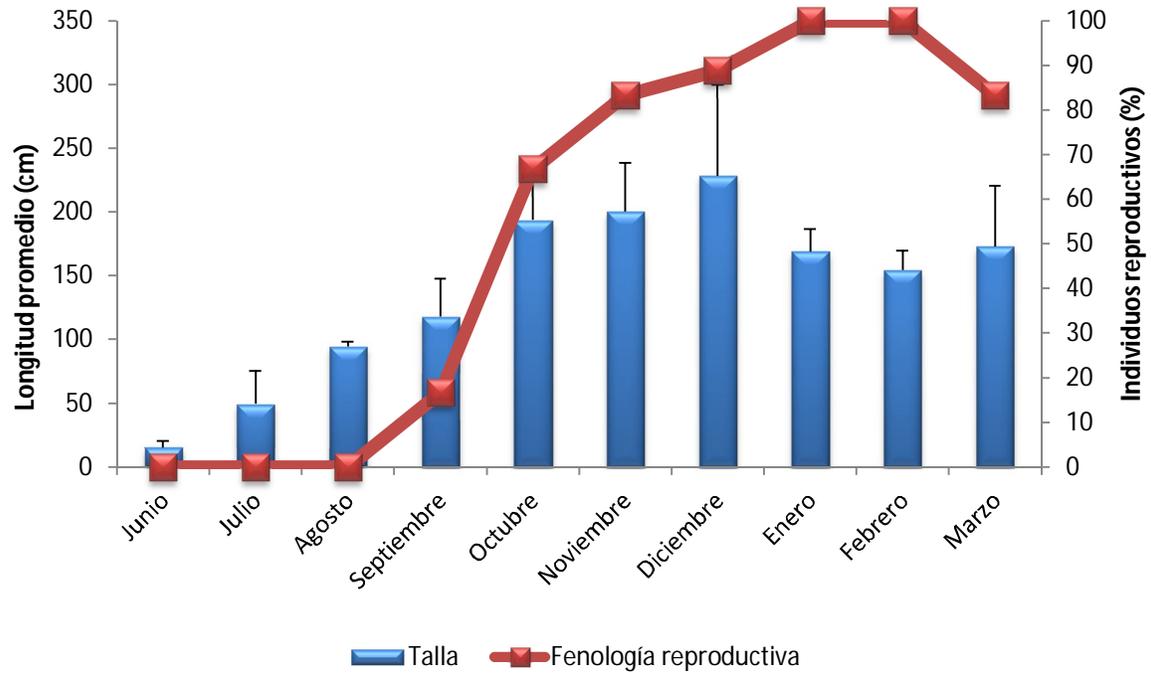


Fig. 49. Crecimiento y variación mensual de la fenología de plantas de *M. integrifolia* sembradas en Otoño con elásticos sobre bolones de piedra.

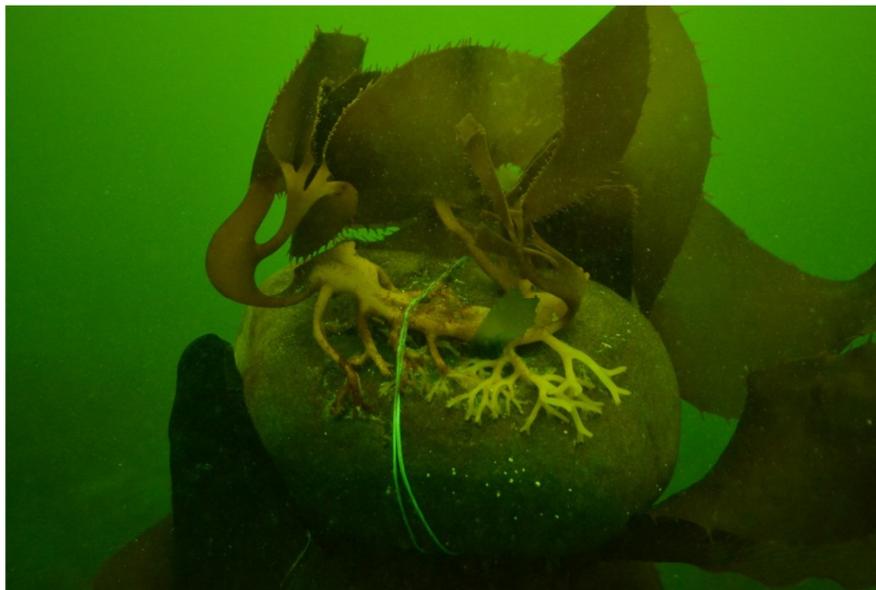


Fig. 50. Individuo de *M. integrifolia* sembrados sobre bolones con elásticos después de 3 meses.

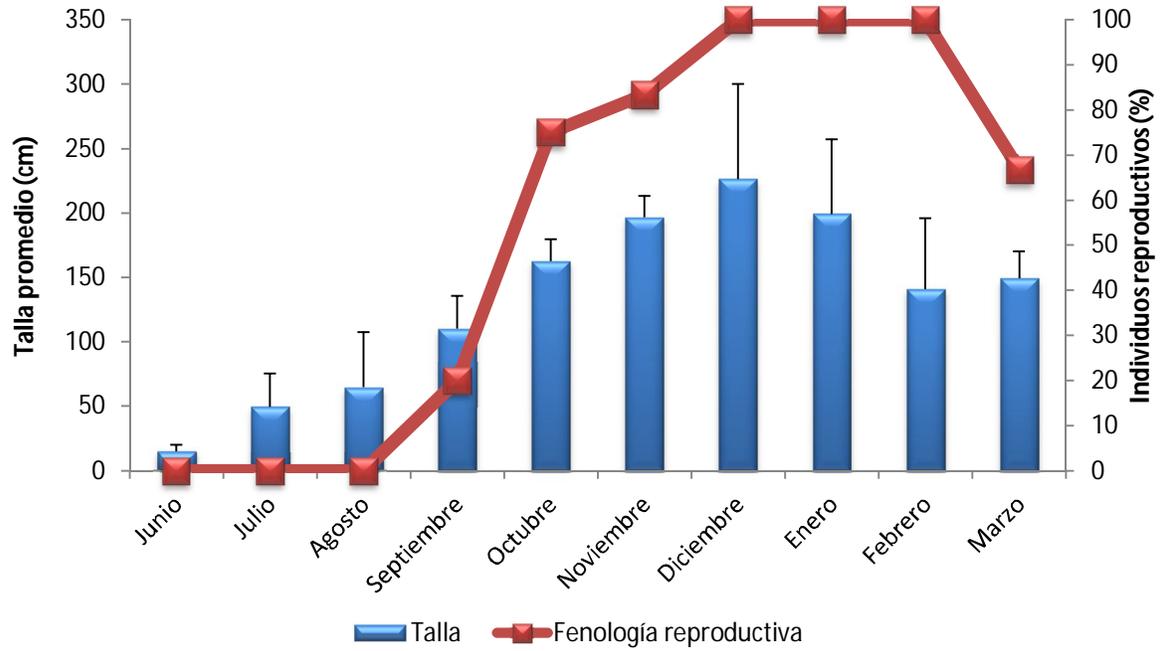


Fig. 51. Crecimiento y variación mensual de la fenología de plantas de *M. integrifolia* sembradas en Otoño con pegamento sobre bolones de piedra



Fig. 52. Individuo de *M. integrifolia* sembrado sobre bolones con pegamento después de 3 meses.

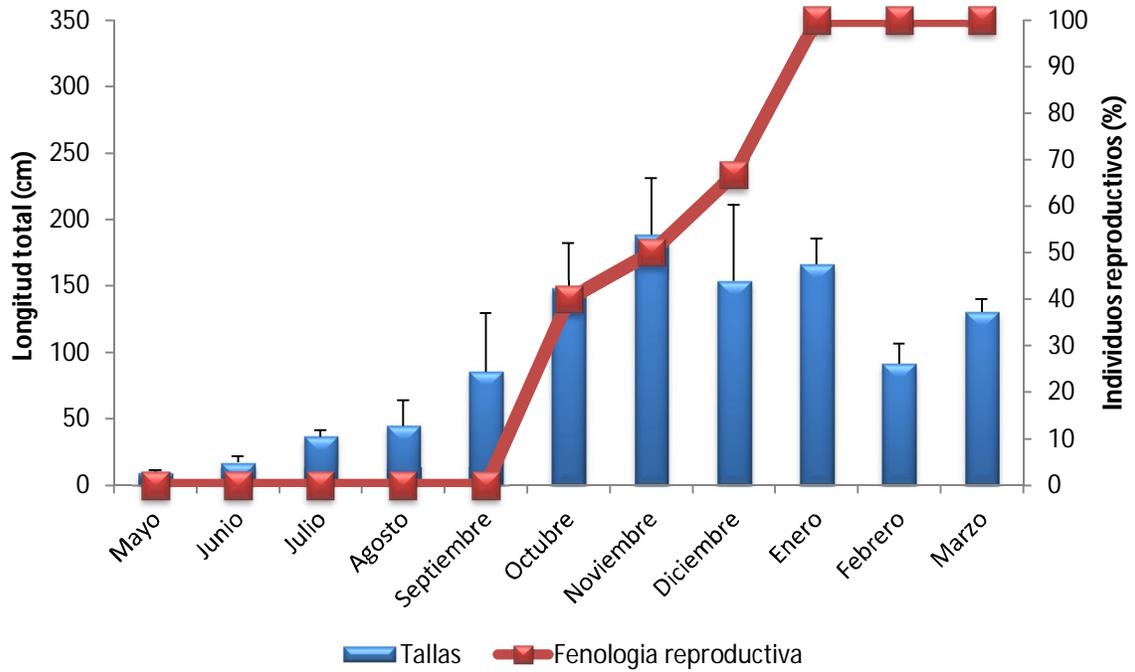


Fig. 53. Crecimiento y variación mensual de la fenología de plantas de *M. integrifolia* sembradas sobre mallas con pegamento

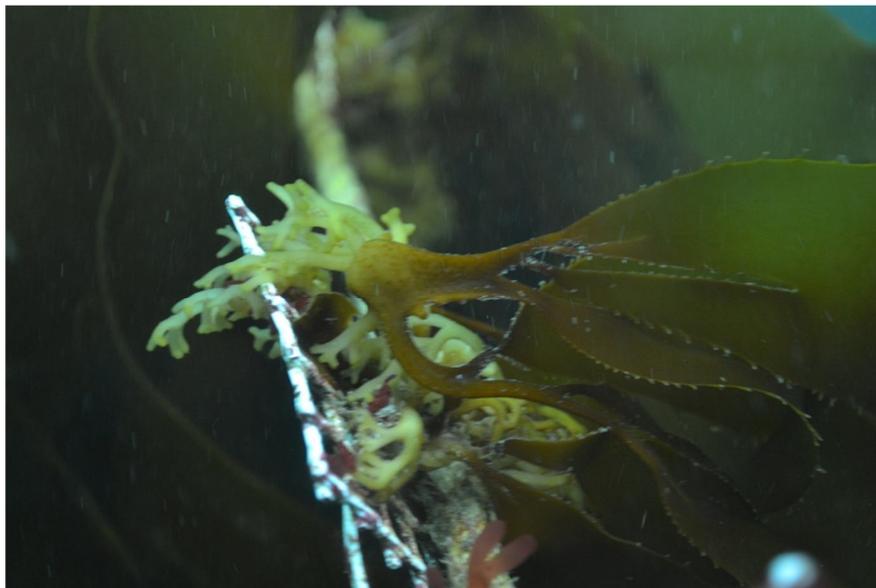


Fig. 54. Individuo de *M. integrifolia* sembrado sobre malla después de 3 meses

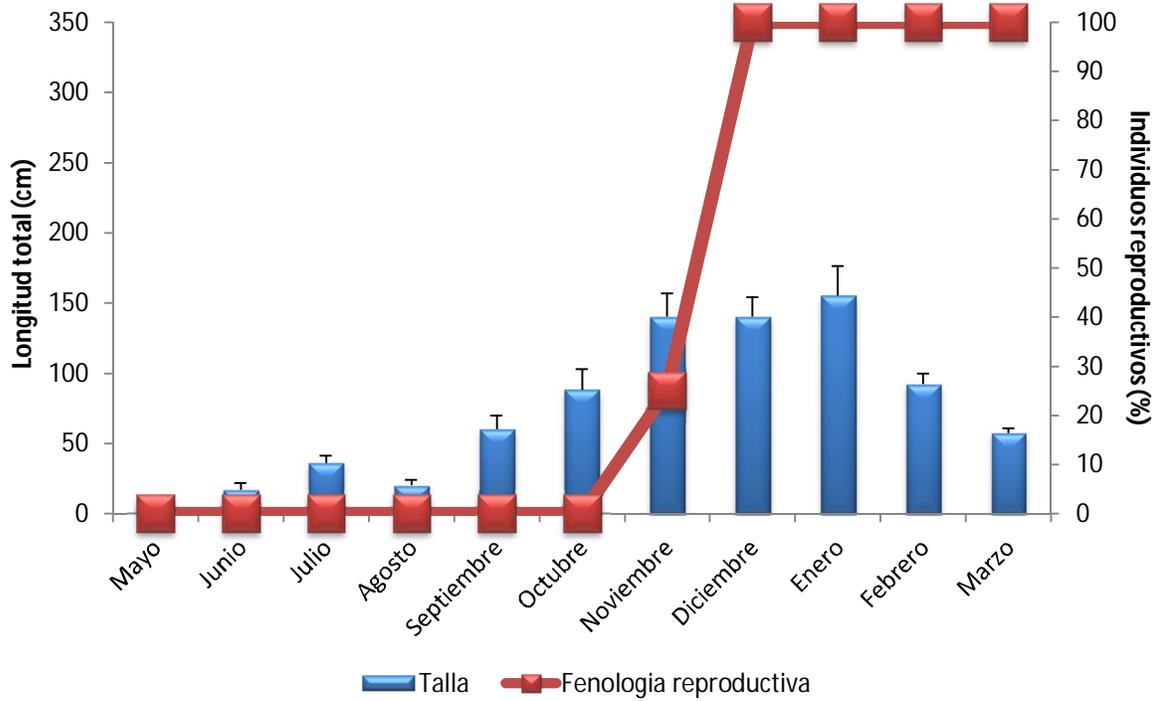


Fig. 55. Crecimiento y variación mensual de la fenología de plantas de *M. integrifolia* sembradas sobre cerámica negra con pegamento

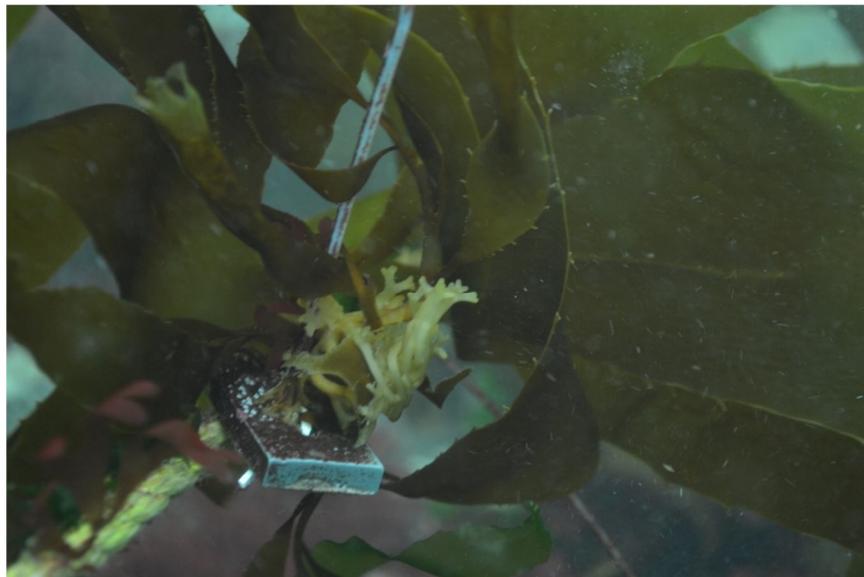


Fig. 56. Individuo de *M. integrifolia* sembrado sobre cerámica después de 3 meses

Las mortalidades de los tratamientos sobre sustratos fueron altas (sobre 40%; Fig. 57), independiente de su naturaleza, lo cual obedece a procesos naturales dentro de su ciclo de vida, lo que se denominaría etapa de senescencia, donde la planta a los 9 meses de ser transplantada alcanza su vejez y muere. Plántulas fijadas en bloques de cemento y cerámica blanca mostraron una alta mortalidad por herbivoría de bancos del gastrópodo *Turritela* sp., logrando ser evaluadas pocos meses durante este estudio. Adicionalmente hubo efectos negativos de fuertes marejadas en invierno sobre estos dos tratamientos, los cuales fueron informados en reportes anteriores. Por otro lado, todos los tratamientos restantes se tornaron reproductivos, por lo que una vez liberadas las esporas, se volvieron senescentes y murieron. En pruebas de laboratorio, las esporas resultantes fueron viables en todos los casos.

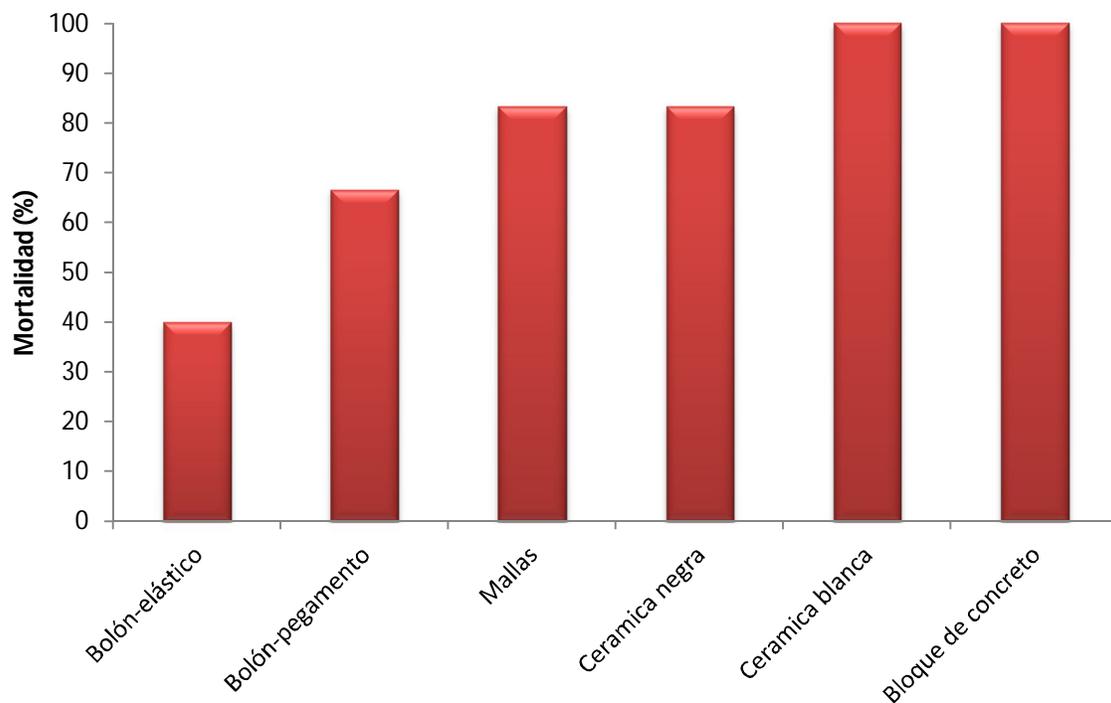


Fig. 57. Mortalidad de *M. integrifolia* bajo diferentes tratamientos para repoblamiento sembrados en Otoño, después de 9 meses de cultivo.

## Siembra primavera

Las plantas fijadas en los diferentes sistemas de repoblamiento en la época primaveral obtuvieron un buen crecimiento, logrando tallas similares a las siembras otoñales (cerca de los 200 cm) pero en menos meses (Figs. 58 - 60). Los mejores crecimientos se obtuvieron por las plantas fijadas sobre bolones con pegamento y elástico, sobre los 250 cm en 3 meses desde su siembra. Las plantas sembradas sobre sustrato rocoso obtuvieron valores un poco menores, de 182 cm de longitud total. En general todos los tratamientos en estudio incrementaron su longitud hasta 6 veces desde su siembra. Durante los meses de verano todos los tratamientos disminuyeron levemente su longitud en un 25% aproximadamente.

En cuanto a la fenología, los mayores valores de individuos reproductivos fueron detectados en las plantas fijas sobre bolones con pegamento, con valores sobre 80%, seguido con los individuos adheridos con elástico con 68% de plantas reproductivas (Figs 58-59). Las plantas pegadas sobre sustrato rocoso alcanzaron valores bajos hasta el mes de Diciembre (1,85%), aumentando a valores sobre el 70% en Enero (Fig. 60). En febrero todos los tratamientos decrecieron en un 20 - 50%, y en Marzo, re incrementaron la cantidad de individuos reproductivos sobre el 80%, a excepción de los tratamientos de sustrato rocoso, el cual mantuvo su proporción de plantas reproductivas cerca de 25%.

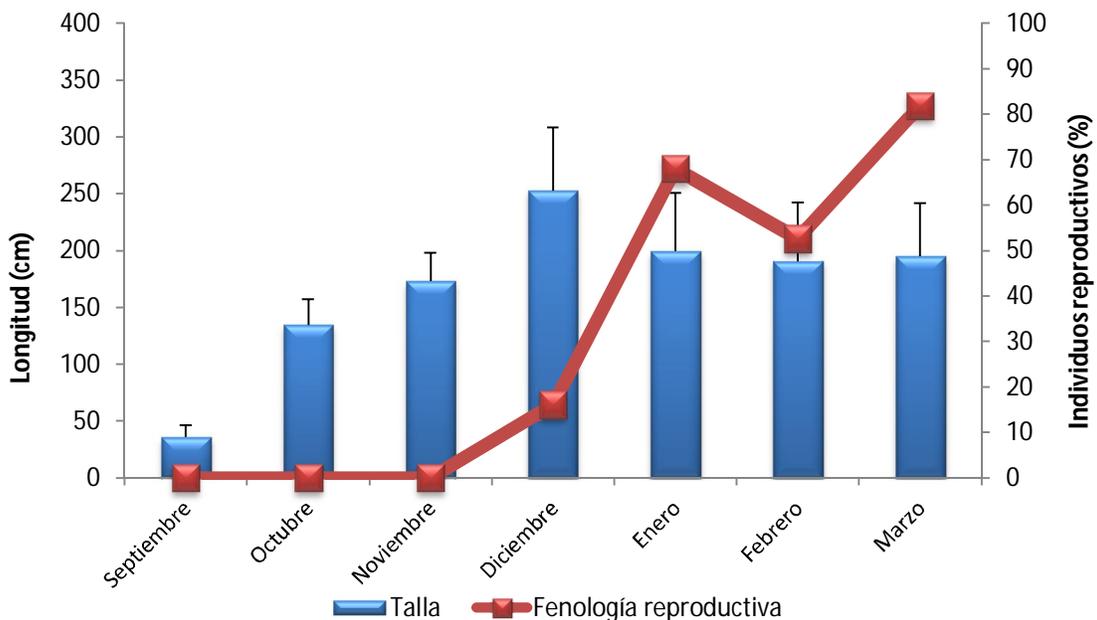


Fig. 58. Crecimiento y variación mensual de la fenología de plantas de *M. integrifolia* sembradas en bolones de piedra con elástico.

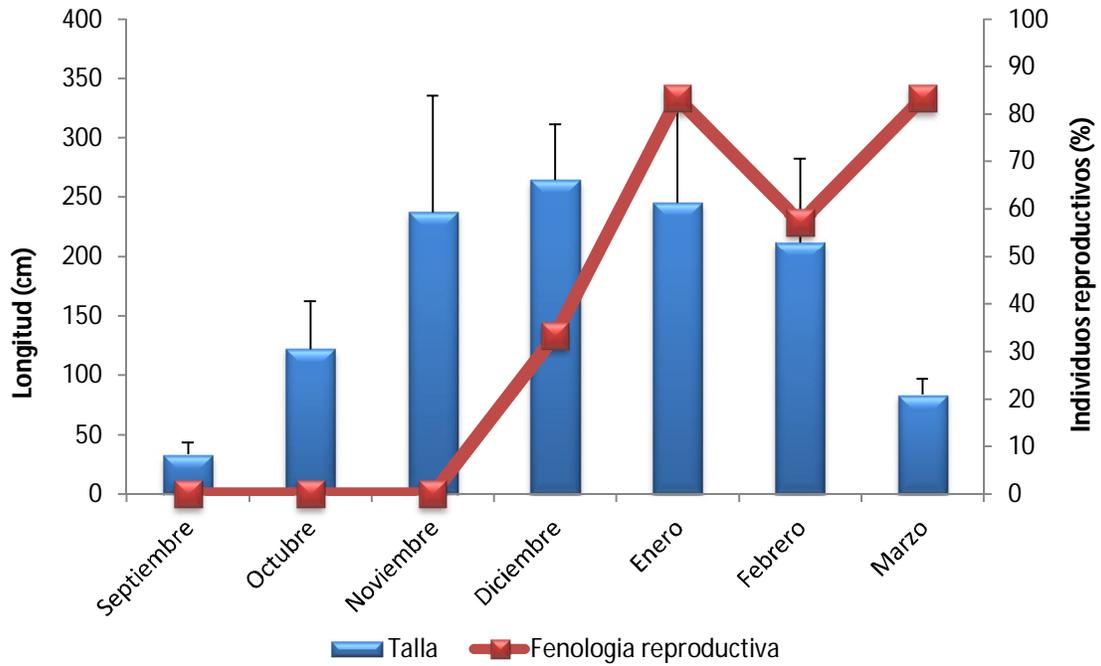


Fig. 59. Crecimiento y variación mensual de la fenología de plantas de *M. integrifolia* sembradas en bolones de piedra con pegamento

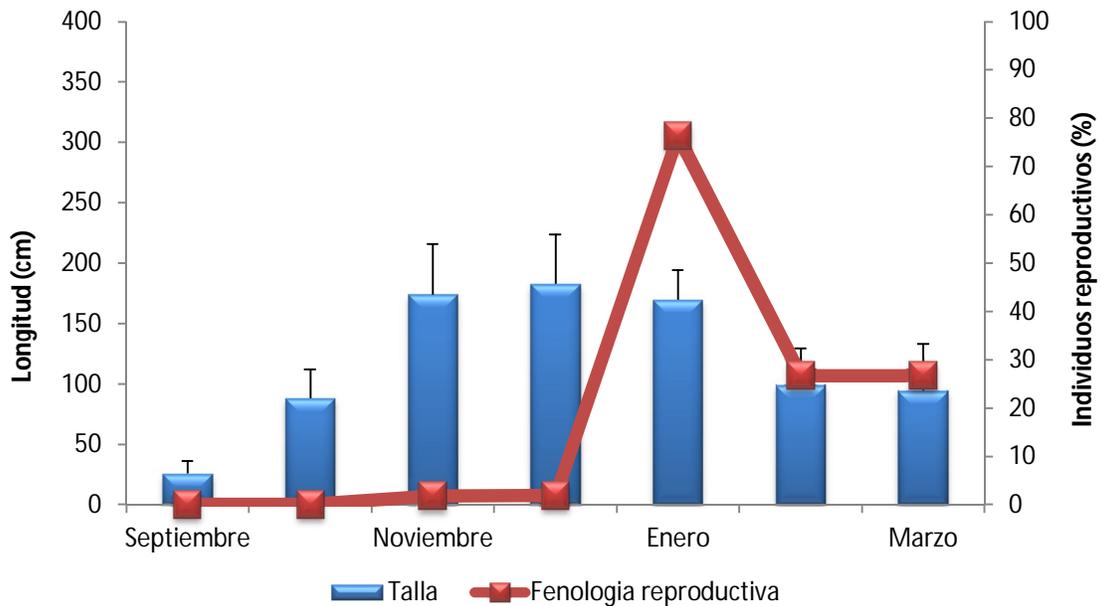


Fig. 60. Crecimiento y variación mensual de la fenología de plantas de *M. integrifolia* sembradas sustrato rocoso con pegamento.



Fig. 61. Área sembrada sobre sustrato rocoso utilizando pegamento

La mortalidad mostrada por los tratamientos en primavera fue alta, a excepción del tratamiento sobre sustrato rocoso el cual estuvo bajo el 15% (fig. 62). En el caso de los tratamientos de bolones (pegamento y/o elástico) la alta mortalidad sobre el 70% esta explicada básicamente en que las grandes tallas que alcanzaron los ejemplares impidieron que se mantengan dentro del área de estudio, llevándoselas la corriente. Las leves diferencias entre pegamento y elástico en mortalidad se deberían a un grado de daño que genera el pegamento sobre el disco de fijación, especialmente cuando el pegamento rodea todo el disco en esta etapa se debe tener especial cuidado en la cantidad de pegamento que se esparce alrededor y sobre el disco, lo cual podría estar generando las mortalidades reportadas o retrasos en el crecimiento.

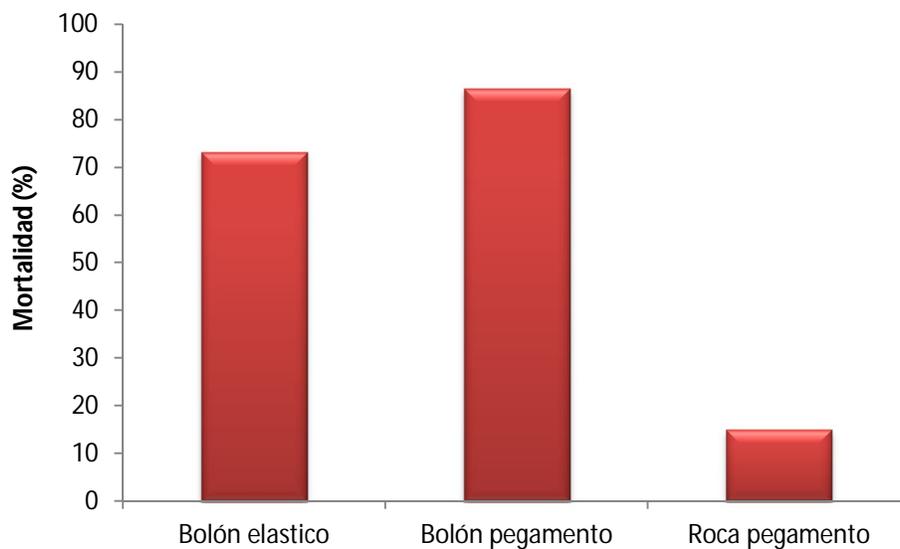


Fig. 62. Mortalidad de *M. integrifolia* sembrada en Primavera sobre bolones por diferentes métodos.

### 3.3. Pruebas de manejo

#### 3.3.1 Frecuencia de cosechas

La tabla 3 muestra los resultados productivos (biomasa) de diferentes frecuencias de cosecha en áreas marcadas de Bahía Chasco. La mayor biomasa cosechada en lo que lleva el periodo de estudio es de 24,27 kg m<sup>2</sup> obtenida por el manejo bimensual, seguido de 23,66 kg m<sup>2</sup> de las frecuencias mensuales. En la medida que la cosecha se acercó a los meses primaverales las biomásas obtenidas aumentaron en ambos tratamientos, y en verano tendieron a bajar. La cosecha trimestral reportó 18,78 kg m<sup>2</sup>, valores altos para solo tres cosechas hasta la fecha, pero que involucran dejar de trabajar por tres meses en cada área. Se ha realizado hasta la fecha dos cosechas para las frecuencias de cosecha de 4 y 5 meses, reportándose para ellas 12,17 y 10,52 kg m<sup>2</sup> en frecuencia cuatrimestral y aproximadamente los 10 kg m<sup>2</sup> en las frecuencias cada 5 meses. La frecuencia semestral se ha realizado una única vez, obteniéndose los menores valores en cosecha de 10,81 kg m<sup>2</sup>.

Tabla 3. Productividad de la pradera de B. Chasco bajo diferentes frecuencias de cosecha

	Mensual	Bimensual	Trimestral	Cuatrimestral	Cada cinco meses	Semestral
Junio (kg m <sup>2</sup> )	0					
Julio (kg m <sup>2</sup> )	0,69	1,9				
Agosto (kg m <sup>2</sup> )	0,86	-	3,3			
Septiembre (kg m <sup>2</sup> )	4	6,57	-	5,52		
Octubre (kg m <sup>2</sup> )	6,69	-	-	-	10,52	
Noviembre (kg m <sup>2</sup> )	2,97	7,7	9,68	-	-	10,81
Diciembre (kg m <sup>2</sup> )	2,35	-	-	-	-	-
Enero (kg m <sup>2</sup> )	2,79	5,46	-	6,65	-	-
Febrero (kg m <sup>2</sup> )	1,94		5,8	-	-	-
Marzo (kg m <sup>2</sup> )	1,37	2,64	-	-	3,67	-
<b>TOTAL (kg m<sup>2</sup>)</b>	<b>23,66</b>	<b>24,27</b>	<b>18,78</b>	<b>12,17</b>	<b>10,52</b>	<b>10,81</b>



Fig. 63. Área cosechada de la pradera de *M. integrifolia*

Los valores de longitud promedio en cada frecuencia de cosecha se muestran en la tabla 4, y fueron coincidentes con los valores de biomasa cosechada. Las tallas en las áreas de cosecha mensual y bimensual no superaron los 170 cm y 185 cm de longitud respectivamente, siendo los más bajos. En la cosechas trimestral, cada cinco meses y semestral los máximos valores sobrepasaron los 300 cm, alcanzados todos en primavera.

Tabla 4. Longitud de *M. integrifolia* de la pradera de B. Chasco bajo diferentes frecuencias de cosecha

	Mensual	Bimensual	Trimestral	Cuatrimestral	Cada cinco meses	Semestral
Junio (cm)	78,28					
Julio (cm)	76,96	81,82				
Agosto (cm)	62,89	-	99,67			
Septiembre (cm)	123,95	136,17	-	171,05		
Octubre (cm)	161,33	-	-	-	312,23	
Noviembre (cm)	136,77	181,56	343,11	-	-	382,22
Diciembre (cm)	121,65	-	-	-	-	-
Enero (cm)	67,50	100,90	-	146,94	-	-
Febrero (cm)	61,18		80,9			
Marzo (cm)	59,91	87,87			87,85	

## 4. Actividades de difusión del proyecto

---

La difusión del conocimiento generado durante la ejecución de este proyecto ha sido un objetivo fundamental para el proyecto. En total, se realizaron 3 ceremonias-talleres para mostrar los avances de los resultados del proyecto a pescadores artesanales, personeros de gobierno, funcionarios del Servicio Nacional de Pesca y empresarios relacionados con el recurso huiro. Una de ellas enfocadas exclusivamente a los pescadores de Bahía Chasco, realizada en la misma localidad. Además, está programada una tercera ceremonia para la finalización del mismo, que muestra los resultados finales del proyecto y la implicancia de los mismos e introduce a los nuevos estudios que se realizarán en el marco de su proyecto de continuación (Fase II).



Fig. 64. El director del proyecto, Dr. Renato Westermeier, introduce a los asistentes al proyecto FIC "Replanteo de *Macrocytis integrifolia* en la Región de Atacama"

Adicionalmente está en proceso de publicación un manual, el cual contiene todos los resultados importantes del proyecto en cuanto a repoblamiento, manejo y biología poblacional de *Macrocystis integrifolia*, así como las metodologías descritas por el estudio. Este manual será distribuido a todos los interesados, especialmente a pescadores artesanales de la III región que exploten algas pardas, entidades gubernamentales que legislen y ejecuten leyes asociadas a praderas de este recurso y empresas que utilicen en alguna parte de su ciclo productivo algas del género *Macrocystis*. También se distribuirá a la comunidad científica y por supuesto en colegios, liceos y universidades del norte de Chile para su difusión. Será una herramienta importante para el manejo de recursos algales del norte del país.

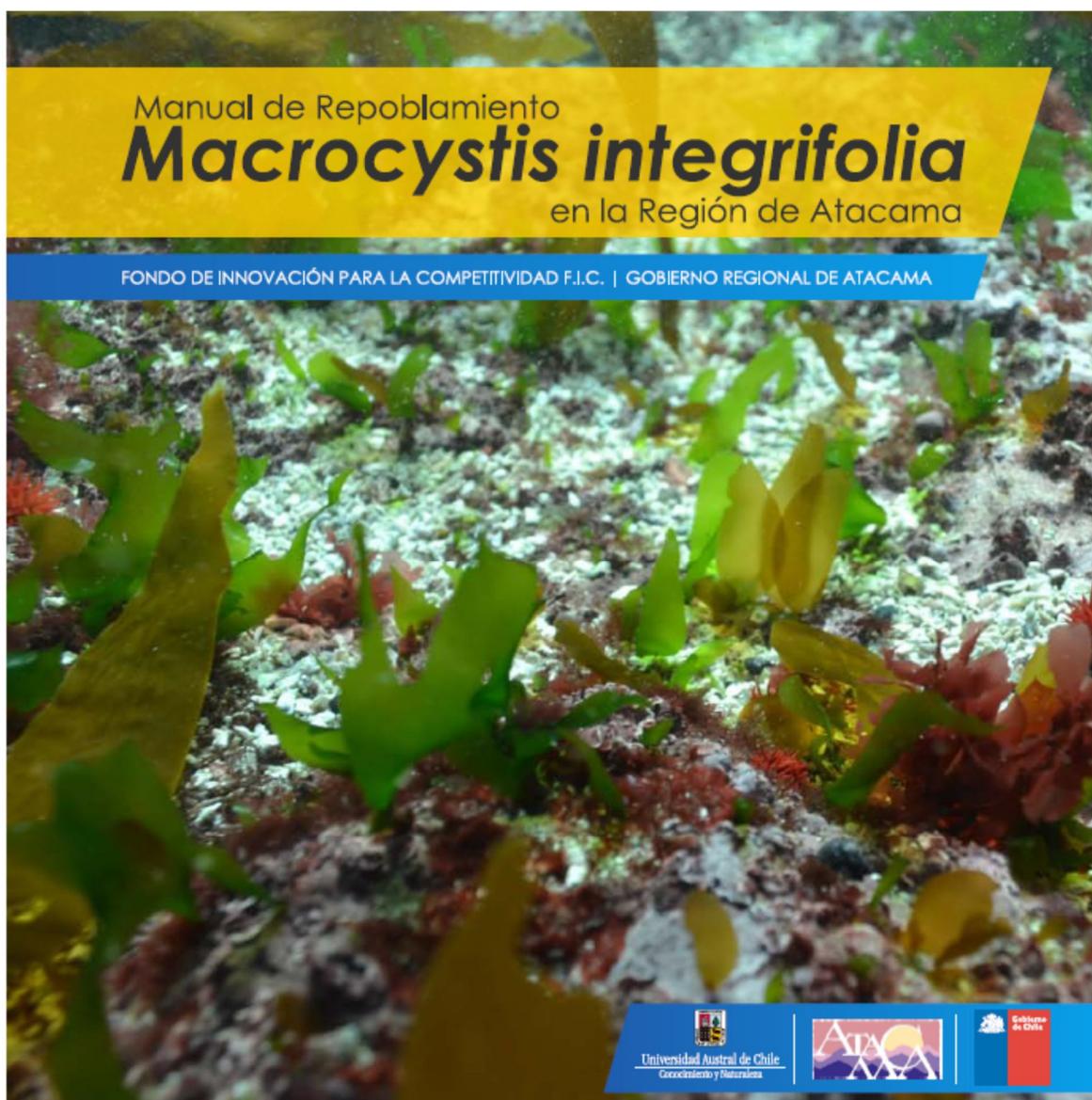


Fig. 65. Portada del Manual "Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la Región de Atacama"

Adicionalmente, los resultados del proyecto nos permitieron descubrir fenómenos interesantes en la biología poblacional, repoblamiento y manejo de *Macrocystis integrifolia* en la región de Atacama, resultados que están siendo actualmente reunidos y discutidos para la elaboración de publicaciones científicas. La técnica de propagación vegetativa a través del disco de fijación es uno de los hitos más importante dentro de este proyecto, con cuyos resultados se ha elaborado un primer manuscrito el cual se encuentra en estos momentos bajo la revisión de la revista científica internacional *Journal of Applied Phycology* (Fig. 66).

1  
2 **Utilization of holdfast fragments for vegetative propagation in *Macrocystis integrifolia*.**  
3 **Atacama, Chile.**  
4  
5 Renato Westermeier, Pedro Murúa, David J. Patiño, Liliana Muñoz, Ailin Ruiz & Dieter  
6 G. Müller  
7  
8 R. Westermeier, corresponding author  
9 P. Murúa  
10 D.J. Patiño  
11 L. Muñoz  
12 A. Ruiz  
13 Instituto de Acuicultura, Universidad Austral de Chile,  
14 Sede Puerto Montt, Casilla 1327,  
15 Puerto Montt, Chile  
16 e-mail: rwesterm@uach.cl  
17  
18 D. G. Müller  
19 Fachbereich Biologie der Universität Konstanz,  
20 78457 Konstanz, Germany  
21

1

Fig. 66. Primer manuscrito realizado con los resultados del proyecto, enviado a *Journal of Applied Phycology*

## 6. Conclusiones

---

- El reclutamiento de *Macrocystis integrifolia* en Bahía Chasco, fue altamente variable dependiendo del tratamiento evaluado. Bajo condiciones sin intervenir, la aparición de reclutas fue muy bajo, donde la alta densidad y el tamaño de la población inhibió el reclutamiento natural. En estas zonas las limitantes fueron probablemente la falta de luz y de sustrato para que los esporofitos recluten y se desarrollen normalmente. Caso contrario ocurrió en el área intervenida en otoño, donde la disponibilidad de espacio y condiciones ambientales óptimas permitieron un reclutamiento masivo de las áreas despejadas. Existe, en consecuencia, una relación inversa entre la cantidad de espacio entre las algas y el grado de reclutas (o juveniles) de la pradera, como sugirió Santelices & Ojeda (1984) para *M. pyrifera* del sur de Chile (canal Beagle).

- También fue posible apreciar diferencias en el reclutamiento acorde al tiempo donde se realizan las intervenciones. En la intervención en otoño el reclutamiento ocurre dos meses después de la intervención y por sobre 10 reclutas m<sup>2</sup> mensual en promedio, mientras que primavera ocurre tres meses después, y es menor a 3 reclutas m<sup>2</sup> mensual. Las diferencias podrían deberse a 1) una variación estacional en la viabilidad de esporas o 2) las condiciones óptimas necesarias para que estas germinen y se desarrollen, las cuales son claramente diferentes entre los periodos otoño – primavera.

- La longitud de *M. integrifolia* en Bahía Chasco mostró una tendencia cíclica durante el periodo de muestreo, con valores máximos a fines de primavera (343 cm) y valores mínimos en otoño (72 cm), comportamiento el cual fue similar al reportado para *Macrocystis* de otras latitudes (Westermeyer & Möller 1990). Al parecer, las condiciones para el crecimiento son óptimas en primavera en cuanto a luz, temperatura y nutrientes dado a los eventos de surgencia típicos de la zona norte. En verano, la temperatura y la turbidez del agua aumentan, lo que genera una erosión de las frondas, y los altos tamaños de las plantas hacen que por “auto-raleo” algunos individuos se desprendan de sus sustratos. De esta forma en Otoño e invierno los individuos se encuentran en densidades y tallas bajas hasta que llega invierno tardío y primavera, donde tanto el reclutamiento y el crecimiento se re-activan, y las mortalidades son mínimas.

- La fenología de *M. integrifolia* en Bahía Chasco también mostró una tendencia cíclica durante el periodo de estudio. En Otoño y primavera se detectaron los valores más bajos. En Otoño, las plantas se encuentran con poco desarrollo (juveniles), mientras que en primavera una proporción de la población importante corresponde a reclutas, obviamente estériles (vegetativas). En invierno y verano, los valores fueron los más altos y su decrecimiento se puede explicar en la erosión de tejido reproductivo posterior a la liberación de esporas. El alto grado de individuos

reproductivos encontrados durante esta época explica además los reclutamientos observados en las áreas intervenidas en otoño y primavera.

- Considerando el nivel de reclutamiento bajo los diferentes tratamientos, es claro que el repoblamiento vía esporas es uno de los mecanismos más eficiente que tiene la pradera para recuperar a los individuos cosechados por los pescadores artesanales, pero es altamente variable acorde al nivel de explotación de la pradera, además de la estación del año. Por lo mismo no es recomendable como mecanismo de cosecha intervenir la pradera completamente.

- Los sistemas de repoblamiento a base de esporas ofrecieron en general baja efectividad. Los sustratos inoculados en el laboratorio no funcionaron como se esperaba, a diferencia de los que reporta Vásquez et al. (2012) en pruebas de *M. pyrifera* en el sur de Chile. En todos los tratamientos la mortalidad fue masiva al primer mes después de ser trasladadas al mar, independiente del sustrato utilizado y de la edad o tiempo de cultivo de los ejemplares en laboratorio, lo cual sugiere que el viaje fue un gran estresor que impidió continuar con un desarrollo normal en el mar, o por otro lado las condiciones de cultivo en laboratorio difieren considerablemente a las del mar en el norte de Chile, y las plantas no se alcanzan a aclimatar a su nuevo hábitat. Paralelamente, una parte de estos inóculos fueron controlados en laboratorio dando esporofitos que actualmente se encuentran saludables. Esta prueba debe ser modificada en estudios posteriores para reevaluar condiciones de cultivo (aclimatación pre-siembra) y de traslado al mar.

- Por otro lado, utilizando siembra de esporofilas sobre rocas se asegura que las esporas, aclimatadas a su mismo hábitat, se fijan sobre el sustrato y empiecen su desarrollo. Como no hay un control en la densidad de esporas que se fijan sobre las rocas no existe un control en la posterior densidad de esporofitos, lo cual se traduciría en un retraso en el crecimiento por competencia intra-específica, pero es un método de bajo costo y de fácil implementación para los pescadores artesanales.

- La siembra de esporofitos sobre diferentes sustratos fue realizada utilizando dos elementos: elástico y pegamento. Comparando ambos tratamientos podemos concluir que el elástico fue el más inocuo, ofreciendo una rápida implementación y no dañando a la planta. Por el contrario, el pegamento dañó parte de la sección del disco de fijación donde se aplicó, generando un poco más de mortalidad y menor crecimiento. No obstante, el alto grado de regeneración del disco permitió que una sección del disco de fijación crezca y se adhiera sobre la roca. Este método además es especialmente útil al momento de sembrar en rocas de gran tamaño, como usualmente es el sustrato rocoso donde *M. integrifolia* crece normalmente en el norte de Chile.

- Según nuestros resultados, el repoblamiento a base de esporofitos fue bastante más eficiente que utilizando siembra de “esporas”, aunque con diferentes grados de efectividad. El crecimiento de plantas (plántulas o reclutas) sobre paneles de cultivo (long-lines) mostró un alto crecimiento, fijación sobre el sustrato y sobrevivencia. Además, la alta proporción de individuos reproductivos en estos tratamientos demuestra que además de adherirse al sustrato y crecer sobre él, es posible que recolonice áreas cercanas a través de la liberación de esporas, tal como sugirió Correa et al. (2006) para trasplantes de *L. nigrescens* en el intermareal.

- Prueba del éxito del reclutamiento anterior fueron los bloques de concreto que se usaron además de sistema de anclaje como control del reclutamiento. Sobre esos bloques hubo una fijación considerable, la cual ocurrió simultáneamente al periodo donde las plantas se pusieron reproductivas sobre los paneles de cultivo. Esto demuestra que la mayoría del reclutamiento observado en esta experiencia es explicado por plantas de los paneles, y en menor grado por esporas ya existentes bajo el panel en estado de latencia.

- Una variante de este método fue utilizar porciones del disco de plantas adultas de *M. integrifolia*, las cuales fueron trasplantadas a líneas de cultivo. Este método de propagación vegetativa fue no solamente factible, sino además altamente eficiente. Los “nuevos” individuos alcanzaron tallas altas en pocos meses, y al ser más longevos se volvieron reproductivos más rápidamente que los tratamientos con plántulas de cultivo y con reclutas.

- Los tratamientos inoculados sobre mallas y cerámica negra mostraron bajos crecimientos y altas mortalidades, mientras que los tratamientos sobre bolones fueron los más efectivos, con sobrevivencias y crecimientos mayores. Un punto crítico de este último sistema, sin embargo, fue la remoción de los sustratos cuando alcanzaban grandes tamaños por corrientes. Se deberá evaluar, en consecuencia, la factibilidad de repoblar masivamente con plantas sembradas en roca metamórfica de mayor tamaño y área en el caso de la siembra de plantas con pegamento. Como la siembra con elásticos no se puede emplear sobre rocas grandes, se podría evaluar la posibilidad de formar arrecifes artificiales, ensamblando sustratos a base de concreto o roca entre ellos y/o a un sustrato de mayor firmeza, como los estudios realizados por Terawaki et al. (2000; 2003) para la especie de algas pardas *Ecklonia*, *Eisenia* y *Sargassum*.

- Una forma indirecta de repoblamiento asociado a nuestras experiencias de repoblamiento (esporas y esporofitos sobre sustratos) es la diseminación de esporas, luego que los esporofitos sembrados se vuelven fértiles. Pruebas hechas en laboratorio demostraron que las esporas originadas de todos los tratamientos (de cultivo, reclutas y discos cortados sembrados tanto en long-lines como en sustratos artificiales y rocosos en diferentes épocas del año originaron esporas viables, las cuales bajo condiciones óptimas de cultivo formaron estructuras sexuales y los posteriores esporofitos. El mayor trabajo en el repoblamiento estaría dado en la primera fase

cuando se debe sembrar masivamente plantas de *M. integrifolia* y esperar que crezcan y sobrevivan. Una segunda etapa ocurre después cuando se vuelven reproductivas y colonizan áreas aledañas, cuyo impacto fue evaluado en el estudio de los paneles de cultivo y su efecto sobre el reclutamiento, donde las esporas liberadas al medio generaron nuevos reclutas. Adicionalmente, la viabilidad de esporas de cada uno de los tratamientos de repoblamiento usados en este proyecto fueron probadas en laboratorio, formando una gran cantidad esporofitos que actualmente se encuentran creciendo en laboratorio, lo cual avala la posibilidad de esta segunda etapa.

- Claramente hay un efecto de la actividad extractiva de las cosechas sobre la población de *M. integrifolia* en Bahía Chasco. Contrastando los valores de talla en el área sin intervenir respecto con los de longitud promedio en las áreas donde se realizaron las pruebas de cosecha, se pudo apreciar un efecto marcado de la frecuencia, especialmente en el área de cosecha mensual y bimestral. En estas áreas, las tallas no superaron los 200 cm de longitud, cuando en el área sin intervenir la longitud promedio estuvo sobre los 300 cm.
- Gracias al proyecto "Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la región de Atacama", financiado por el Gobierno Regional de Atacama, entregamos los resultados de un año de investigación seria, que estamos seguros marcara un hito trascendente en la forma como el repoblamiento de recursos marinos en Chile debe estudiarse. Los resultados fueron concretos, y demuestran la factibilidad de repoblar este recurso tanto a través de sus propágulos como a través de propagación vegetativa.

## 7. Referencias

---

- Alveal, K. (1995) Manejo de algas marinas. En K. Alveal, M. Ferrario, E. Oliveira & E. Sar (Eds.) Manual de Métodos Ficológicos. Universidad de Concepción, Chile. 853 pp.
- Buschmann A. H., J. A. Vásquez, E. P. Osorio, E. Reyes, L. Filun, M. C. Hernandez-Gonzalez & A. Vega (2004) The effect of water movement, temperature and salinity on abundance and reproductive patterns of *Macrocystis* spp. (Phaeophyta) at different latitudes in Chile. *Mar Biol* 145: 849-862
- Correa, J.A., N.A. Lagos, M.H. Medina, J.C. Castilla, M. Cerda, M. Ramírez, E. Martínez, S. Faugeton, S. Andrade, R. Pinto & L. Contreras. 2006. Experimental transplants of the large kelp *Lessonia nigrescens* (Phaeophyceae) in high-energy wave exposed rocky intertidal habitats of northern Chile: Experimental, restoration and management applications. *Exp Mar Biol Eco* 335, 13–18.
- Coyer JA, Smith GJ & Andersen RA (2001) Evolution of *Macrocystis* spp. (Phaeophyceae) as determined by ITS1 and ITS2 sequences. *J Phycol* 37, 574-585.
- Demes KW, Graham MH, Suskiewicz TS (2009) Phenotypic plasticity reconciles incongruous molecular and morphological taxonomies: the giant kelp, *Macrocystis* (Laminariales, Phaeophyceae), is a monospecific genus. *J Phycol* 45:1266–1269
- Druehl, L. (2000) Pacific Seaweeds, A guide to common seaweeds of the west coast. The Canada Council Fort. The Arts Since, Canada. 93pp.
- Etcheverry H, Collantes G (1978) Cultivo artificial de *Macrocystis pyrifera* (L) C. Agardh (Phaeophyta, Laminariales). *Arch. Mus. Hist. Nat. Valparaíso*, 11: 9-17.
- Flores-Aguilar R, Gutiérrez A, Ellwanger A, & Searcy-Bernal R (2007) Development and Current Status of Abalone Aquaculture in Chile. *J Shellf Res* 26: 705-711.
- Graham MH, Vásquez JA, Buschmann AH (2007) Global ecology of the giant kelp *Macrocystis*: from ecotypes to ecosystems. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 45:39–88
- Guiry M.D. & Guiry G.M (2012) *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 02 April 2012.
- Hoffmann AJ, Santelices B (1997) Flora Marina de Chile central. Ediciones Universidad Católica de Chile, 399 p.
- Levring, T. 1960. Contributions to the marine algal flora of Chile. Reports of the Lund University Chile Expedition 1948-49.

- Macaya EC, Zucarello G (2010) DNA barcoding and genetic divergence in the giant kelp *Macrocystis* (Laminariales). *J Phycol* 46:736–742
- North WJ (1971) Introduction and background. En: W. J. North (ed.). *The Biology of Giant Kelp Beds (Macrocystis) in California*. Nova Hedwigia. 32: 1-97.
- ProChile (2011) Estadísticas de comercio exterior. Disponible en: [www.Prochile.cl](http://www.Prochile.cl)
- Ramírez, M. & B. Santelices (1991) Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa temperada del Pacífico de Sudamérica. Monografías Biológicas. N° 5. Facultad de Ciencias Biológicas Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Santelices, B. & Ojeda, F.P. (1984). Population dynamics of coastal forests of *Macrocystis pyrifera* in PuertoToro, Isla Navarino, southern Chile. *Marine Ecology Progress Series* 14, 175–183.
- Sernapesca (2011) Anuario Estadístico de Pesca. Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción, Chile. Disponible en: [www.Sernapesca.cl](http://www.Sernapesca.cl)
- Terawaki, T., Yoshida, G., Yoshikawa, K., Arai, S., Murase, N., (2000). “Management-Free” techniques for the restoration of *Sargassum* beds using subtidal, concrete structures on sandy substratum along the coast of the western Seto Inland Sea, Japan. *Environ. Sci.* 7, 165–175.
- Terawaki, T, Yoshikawa, K., Yoshida, G., Ushimura M & Iseki K (2003) Ecology and restoration techniques for *Sargassum* beds in the Seto Inland Sea, Japan. *Mar. Pollut. Bull.* 47, 198 – 201.
- Tianjing L, Ruying S, Xuyan L, Dunqing H, Zhiji S, Guangyong L, Qifang Z, Shuli C, Sui Z, Jiaying C & Feijiu W (1984) Studies on the artificial cultivation and propagation of giant kelp (*Macrocystis pyrifera*). *Proceedings of the International Seaweed Symposium* 11: 259-262.
- Vasquez JA (2008) Production, use and fate of Chilean brown seaweeds: resources for sustainable fishery. *J Appl Phycol* 20:457–467.
- Vásquez X, Gutiérrez A, Buschmann A, Flores R & Leal P (2012) Técnicas de repoblamiento para el alga parda *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh 1820 (Laminariales). Versión diferente 2012, 92.
- Vasquez, J. & Tala, F. (1995) Repopulation of intertidal areas with *Lessonia nigrescens* in northern Chile. *J. Appl. Phycol.* 7, 347–9.
- Vega A, Vásquez JA & Buschmann AH (2005) Biología poblacional de huirales submareales de *Macrocystis integrifolia* y *Lessonia trabeculata* (Laminariales, Phaeophyceae) en un

ecosistema de surgencia del norte de Chile: variabilidad interanual y El Niño 1997-98. Rev Chil Hist Nat 78:32-50.

- Villegas, M., Laudien, J., Sielfeld, W. and Arntz, W.E. (2008) *Macrocystis integrifolia* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales; Phaeophyceae) kelp habitat structures and associated macrobenthic community off northern Chile. Helgol. Mar. Res. 62 (Suppl 1): S33–S43.
- Westermeier, R. y Ramírez, C. (1979) Artendiversität und Nekromasse der Algen in Strandwurf von Niebla (Valdivia-Chile). Bot. Mar. 22: 214-248.
- Westermeier, R. (1981) The Marine Seaweeds of Chile's Tenth Región (Valdivia, Osorno, Llanquihue and Chiloé). Proc. Inter. Seaweed Symposium 10: 215-220.
- Westermeier R, Möller P (1990) Population dynamics of *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh in the rocky intertidal of southern Chile. Bot Mar 33:363–367
- Westermeier R, Gómez I (1996) Biomass, energy contents and major organic compounds in the brown alga *Lessonia nigrescens* (Laminariales, Phaeophyceae) from Mehuín, South Chile. Bot Mar 39:553–559
- Westermeier R, Gómez I, Rivera PJ, Müller DG & Wenzel H (2004) Population biology of *Durvillaea antartica* and *Lessonia nigrescens* (Phaeophyceae) in Southern Chile. Mar Ecol Prog Ser 110: 187-194.
- Westermeier R, Patiño DJ, Piel MI, Müller DG (2005) Manual de cultivo del alga parda *Macrocystis pyrifera* (huido), Chile. Proyecto FONDEF D0011144. Universidad Austral de Chile, 38 pp.
- Westermeier R, Patiño DJ, Piel MI, Maier I, Müller DG (2006) A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sporophyte seedlings from gametophyte cultures of *Lessonia trabeculata* and *Macrocystis pyrifera*. Aquaculture Res 37:164–171
- Westermeier R, Patiño DJ, Müller DG (2007) Sexual compatibility and hybrid formation between the giant kelp species *Macrocystis pyrifera* and *M. integrifolia* (Laminariales, Phaeophyceae) in Chile. J Appl Phycol 19:215–221
- Westermeier R, Patiño D, Müller H, Müller DG (2010) Towards domestication of giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) in Chile: selection of haploid parent genotypes, outbreeding, and heterosis. J Appl Phycol 22:357–361
- Westermeier R, Patiño DJ, Murúa P, Müller DG (2011) *Macrocystis* mariculture in Chile: performance of heterosis genotype constructs under field conditions. J Appl Phycol 23:819–825