

Informe final
FIC 2011
33-01-212

*Re poblamiento de *Macrocystis integrifolia*
en la Región de Atacama. Fase II*



Dr. Renato Westermeier H.
Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt
Julio 2013

“Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la región de Atacama.
Fase II”

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. Ailin Ruiz G.

Tec. Carlos Atero G.

Adm. Lucia Barros C.

Copiapó, Julio 2013

Tabla de contenido

Resumen.....	5
1. Introducción	6
1.1 Antecedentes biológicos de la especie	8
1.1.1 Descripción de la especie y distribución geográfica.....	8
1.1.2 Taxonomía	10
1.1.3 Ciclo de vida	10
2. Objetivos del proyecto.....	11
2.1 Objetivo general.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3. Materiales y métodos	12
3.1 Área de estudio	12
3.2 Variables físico-químicas.....	13
3.3 Pruebas de repoblamiento	17
3.3.1 Repoblamiento de <i>M. integrifolia</i> en Bahía Chasco a través de la siembra piloto de los mejores sistemas de repoblamiento encontrados en la fase I.....	17
3.3.2 Siembra estacional de fragmentos de disco.....	18
3.4 Estudios de dinámica poblacional de <i>M. integrifolia</i> en Bahía Chasco	22
3.4.1 Dinámica poblacional de <i>M. integrifolia</i> en áreas sin intervenir	22
3.4.2 Dinámica poblacional de <i>M. integrifolia</i> dentro areas intervenidas en diferentes estaciones del año	22
3.5 Pruebas de manejo en Bahía Chasco	23
3.5.1 Manejo de <i>M. integrifolia</i> de Bahía Chasco a través de rotación de áreas.....	23
3.5.2 Conograma.....	23
3.6 Composición química de <i>M. integrifolia</i> de Bahía Chasco	24
3.6.1 Composición proximal de <i>M. integrifolia</i>	24
3.6.2 Composición aminoacídica y de ácidos grasos de <i>M. integrifolia</i>	24
3.6.3 Composición de azúcares de <i>M. integrifolia</i>	25
3.7 Actividades de difusión.....	25
4. Resultados.....	26

4.1	Variables físico-químicas	26
4.1.2	Temperatura, penetración de la luz y nutrientes en Bahía Chasco	26
4.1.3	Composición de metales pesados en Bahía Chasco	28
4.2	Pruebas de repoblamiento	29
4.2.1	Repoblamiento de <i>M. integrifolia</i> en Bahía Chasco a través de la siembra piloto de los mejores sistemas de repoblamiento encontrados en la fase I.....	29
4.2.2	Siembra estacional de fragmentos de disco.....	32
4.3	Estudios de dinámica poblacional de <i>M. integrifolia</i> en Bahía Chasco	51
4.3.1	Dinámica poblacional de <i>M. integrifolia</i> en áreas sin intervenir	51
4.3.2	Dinámica poblacional de <i>M. integrifolia</i> dentro areas intervenidas en diferentes estaciones del año	54
4.4	Pruebas de manejo en Bahía Chasco	56
4.4.1	Manejo de <i>M. integrifolia</i> de Bahía Chasco a través de rotación de áreas.....	56
4.4.2	Cronograma de manejo del recurso <i>M. integrifolia</i> para Bahía Chasco	60
4.5	Composición química de <i>M. integrifolia</i> de Bahía Chasco	63
4.5.1	Composición proximal de <i>M. integrifolia</i>	63
4.5.2	Composición aminoacídica y de ácidos grasos de <i>M. integrifolia</i>	66
4.5.3	Composición de azúcares de <i>M. integrifolia</i>	67
4.6	Actividades de difusión de resultados	68
5.	Conclusiones.....	87
6.	Literatura consultada.....	91

Resumen

El estado actual de las poblaciones de *Macrocystis integrifolia* es crítico por el fuerte impacto que se ejerce en la extracción de este recurso, el que es utilizado como alimento de abalones y en la industria química de los alginatos. Considerando que el problema central es la disminución en la abundancia del recurso en el medio natural y basándonos en los resultados de la iniciativa ejecutada anteriormente (Westermeier *et al.* 2012; 2013) el presente proyecto pretendió como objetivo escalar a nivel masivo los dos mejores sistemas de repoblamiento desarrollados en la convocatoria anterior. Adicionalmente se planteó la necesidad de desarrollar un programa de manejo para *Macrocystis integrifolia* en la localidad de Bahía Chasco (Región de Atacama), utilizando las frecuencia optima de cosecha para cada estación del año a través de un sistema de rotación de áreas. Además, se evaluó el efecto de la estacionalidad en el sistema de repoblamiento basada en siembra de fragmentos de disco. De igual forma, se complementó el conocimiento de la dinámica poblacional de la pradera de Bahía Chasco con información de la fenología reproductiva, reclutamiento, tasas de crecimiento y mortalidad en un análisis estacional e inter-anual.

Los resultados demostraron la factibilidad de repoblar masivamente el submareal de Bahía Chasco, por lo que se repobló aprox. 1500 m² en el desarrollo de este proyecto. El desarrollo de una técnica de manejo, basado en la rotación de áreas y frecuencias de cosecha, permitiría manejar de forma sosteniblemente la pradera de esta localidad. Los resultados de la dinámica poblacional así como los de las siembras estacionales de fragmentos de disco de fijación permitieron determinar una variación temporal de las variables productivas, los que deben ser considerados en áreas de pesquerías, manejo y repoblamiento de este recurso.

El desarrollo de esta propuesta de repoblamiento y manejo de *M. integrifolia* se podría traducir, en el caso que se aplicasen masivamente, en una alternativa de mejora para las prácticas actuales empleadas por los pescadores artesanales de algas pardas en el contexto productivo de la Región, aportando soluciones que permiten optimizar el manejo de algas en el marco de sustentabilidad ecológica, social y económica.

1. Introducción

Macrocystis integrifolia (*M. pyrifera* morfo *integrifolia*), conocida como huiro, huiro norte, huiro pato o huiro canutillo es una de las algas pardas más cotizadas en el norte de Chile. Sus 19.400 ton cosechadas anualmente y sus \$ 65.400 ton⁻¹ la hacen altamente atractivas para las industrias de los abalones y de los alginatos. Un ejemplo de esta situación es Bahía Chasco, una localidad de la III región destinada para la extracción de estas algas. En ella, 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⁻¹ con distribución a diversas empresas abaloneras 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 habían sido estudiadas en profundidad, lo cual podría ser en un futuro una amenaza para la sustentabilidad de la actividad.

Estos antecedentes generaron una alerta en las autoridades del Gobierno Regional de Atacama, quienes preocupados por la sustentabilidad de la actividad extractiva financiaron la primera etapa del proyecto titulado “Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la región de Atacama”. Este proyecto logró resultados interesantes en materias de repoblamiento, ecología y pesquería de praderas de huiro -entre ellos la demostración de la propagación vegetativa de *Macrocystis*-, resultados que permitieron pensar en la posibilidad de desarrollar un procedimiento de manejo para esta localidad, y que pudiese ser extrapolada a los lugares donde esta especie habita en la región de Atacama.

Con los resultados de la fase anterior de este proyecto, se pretendió en consecuencia diversificar y masificar las técnicas de repoblamiento y manejo de *M. integrifolia*, a través de pruebas que permitiesen determinar su aplicabilidad a escalas productivas. Un elemento interesante que se pretendió desde el principio es que los pescadores artesanales pudiesen replicar estos resultados sin la necesidad de desarrollar técnicas que implicaran altos costos para su aplicabilidad. Es por ello que estos resultados son

tremendamente relevantes y podrían utilizarse para el desarrollo de técnicas de repoblamiento y manejo de este recurso en el norte del país, incluyendo por cierto las regiones de Arica-Parinacota, Atacama y Coquimbo, donde esta especie crece formando poblaciones naturales.

1.1 Antecedentes biológicos de la especie

1.1.1 Descripción de la especie y distribución geográfica.

Las poblaciones del género *Macrocystis* se distribuyen en ambos hemisferios, predominantemente en el hemisferio norte y sur (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”, “huiro pato” o “huiro 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 tanto en el intermareal y en el submareal de estas costas.

1.1.2 Taxonomía

División: Heterokontophyta

Clase: Phaeophyceae

Orden: Laminariales

Familia: Lessoniaceae

Género: *Macrocystis*

Especie: *Macrocystis pyrifera* (LC Agardh) (*morfo integrifolia*)

Nombre común: Huiro, huiro pato, huiro canutillo

1.1.3 Ciclo de vida

Las algas pardas Laminariales poseen, típicamente, un ciclo de vida bifásico y heteromórfico. Las plantas que se observan en las poblaciones naturales corresponden al esporofito ($2n$). Tras alcanzar la madurez sexual, este esporofito forma zoosporas (n) dentro de frondas especializadas (esporofilas o frondas reproductivas), las cuales son fácilmente reconocibles por el oscurecimiento del tejido. Dichas esporas son liberadas al mar, las que forman un 50% gametofitos masculinos (n) y 50% gametofitos femeninos (n). Estas estructuras sexuales son microscópicas (no puede ser apreciadas al ojo desnudo) y crecen de forma independiente al esporofito. Tras ponerse reproductivos, estos gametofitos son capaces de formar espermatozoides (machos), los que deberán ser atraídos por las células huevos (producidos por las hembras) a través de hormonas. Se formarán, en consecuencia, cigotos ($2n$), los que a través de sucesivas divisiones crecerán y generaran un recluta (pequeña plántula de pocos milímetros de diámetro) y posteriormente al individuo adulto, completándose el ciclo (Dawson & Foster 1982).

Sin embargo, en este proyecto se estableció una nueva variante del ciclo de vida, donde a través de fragmentación del disco de fijación (o grampón), se pueden generar nuevos individuos. Esta fragmentación puede ser por causas naturales (muerte de una sección del disco) o antropogénicas (como las que se utilizaron para el repoblamiento de estos recursos) (Westermeier et al. 2013).

2. Objetivos del proyecto

2.1 Objetivo general

Desarrollar repoblamiento masivo y rotación de áreas como técnica de manejo de *Macrocystis integrifolia* en la localidad de Bahía Chasco, región de Atacama.

2.2 Objetivos específicos

- Implementación masiva de los dos mejores sistemas de repoblamiento obtenidos como resultados del proyecto en su fase I (Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la región de Atacama).
- Parcelar la pradera de Bahía Chasco y evaluar su grado de recuperación a través de aplicación de la mejor técnica de manejo (frecuencia de cosechas) obtenida de los resultados del estudio antecesor a la presente propuesta.
- Evaluación de sistemas de repoblamiento de *M. integrifolia* en dos estaciones del año (invierno-verano) para complementar los resultados del estudio anterior.
- Evaluación del repoblamiento natural de praderas de *M. integrifolia* en un área intervenida completamente durante un año.
- Evaluación estacional de técnicas de repoblamiento a través de propagación vegetativa del disco de fijación.
- Desarrollo y difusión de paquete tecnológico logrado en este proyecto.

3. Materiales y métodos

3.1 Área de estudio

La localidad donde se realizó este estudio corresponde a Bahía Chasco (27° 39'S; 70° 59'O), aproximadamente 60 km lineales hacia el sur de Caldera (Fig. 1). Esta localidad posee alrededor de 14 km² con poblaciones de algas pardas (Zavala et al. 2008), las que corresponden casi en su totalidad a bosques submareales de *M. integrifolia*, y en menor grado de *Lessonia trabeculata* y parches en áreas someras de *Heterozostera chilensis* (Gonzalez & Edding 1990; Westermeier et al. 2013). El sustrato corresponde principalmente a roca metamórfica, aunque es frecuente encontrar parches con arena blanca o zonas con bolones de piedra.

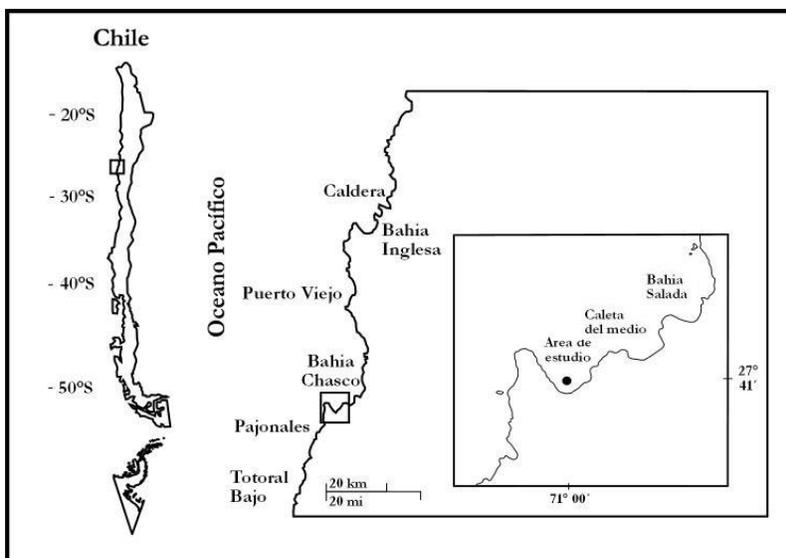


Fig. 1. Área de estudio para pruebas de dinámica poblacional, manejo y repoblamiento de *M. integrifolia* en la localidad de Bahía Chasco.

3.2 Variables físico-químicas

Mensualmente, y a partir del mes de Julio 2011 (Fase II), en esta localidad se midieron temperatura y transparencia de la columna de agua de agua (profundidad de penetración de la luz), a través de un computador de buceo (modelo Uwaterc Digital Depth Gauge 330 M) y la metodología del disco Secchi respectivamente (fotos 1 y 2). Adicionalmente, y también con frecuencia mensual, se caracterizaron los nutrientes en la columna de agua (nitrato, amonio y ortofosfato) a través de las metodologías propuestas en AOAC (1995). A partir del mes de Noviembre 2012 se procedió a cuantificar salinidad y pH a través de un phmetro y conductivímetro respectivamente (modelos Cond 3210 SET 1 WTW y L0171103).



Foto.1. Equipos utilizados en este estudio para la cuantificación de variables fisicoquímicas de la columna de agua. a) Temperatura, b) transparencia del agua, c) salinidad y d) potencial de hidrogeno (pH).



Foto 2. Procedimiento de muestreo de variables fisicoquímicas en la columna de agua

Excepcionalmente, en el mes de Octubre 2012 se analizó la composición de metales pesados de la columna de agua Bahía Chasco (a través del proyecto FIC “*Uso de algas pardas de cultivo para la biorremediación de la Bahía de Chañaral*”), los que consideramos interesantes de reportar también en este proyecto. La metodología utilizada para esta caracterización de metales pesados se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis de metales pesados realizados en la columna de agua en Bahía Chasco

Parámetros	Metodología de análisis
Turbidez	ME-03-2007 Turbidimetría Difracción de luz comparado con solución estándar de Formazina 4000 NTU con equipo HACH 2100 AN Equipo: HACH modelo 2100 AN
TOC	SM 5310 C(*) Equipos de digestión por persulfato y detección IR, con equipo OI- Analytical AURORA, modelo 1030 TOC
Nitrógeno Total	
Flúor	
Calcio	SM 3120B (2005) Medición mediante espectroscopia de emisión, equipo ICP con detector óptico, PerkinElmer Optima modelo 5300 DV
Nitrato	
Magnesio	SM 3120B (2005) Medición mediante espectroscopia de emisión, equipo ICP con detector óptico, PerkinElmer Optima modelo 5300 DV
Sodio	
Potasio	
Cloruro	
Sulfato	
Fosfato	
Antimonio	
Arsénico	
Cadmio	
Molibdeno	
Plomo	
Amonio	
Níquel	
Alcalinidad	SM 2320B (2005) Titulación potenciométrica a pH 4.5 o 4,9 con equipo Metrohn 855
Aluminio	ICP-MS*Perkin-Elmer SCIEX ELAN 6000 ICP-MS, equipped with PE autosampler AS-90, AS-90b test boards and PE rinsing Port Kit.
Azufre	
Cobalto	
Cromo	
Cobre	
Estaño	
Litio	
Manganeso	
Selenio	
Talio	
Zinc	
pH	La Motte pH 5 con electrodo de vidrio 1904
Conductividad	La Motte Tracer 1749
Hierro total	Method 8146, HACH DR 2800

Nitrógeno total kjehdal (NKT)	Digestión y destilación con detección por electrodo selectivo de amonio		
	Digestor Automático	Büchi	K438
	Autosampler	Büchi	K371
	Destilador automático	Büchi	K370
Amonio	Electrodo Selectivo Amonio equipo Milivoltmetro 781 de Metrohm		
Fosfato	Absorción Molecular Espectrofotómetro HACH DR 5000		
Flúor	Cromatografía Iónica con detección de conductividad-. Equipo Metrohm IC 861		
Nitrato			
Cloruro			
Sulfato			
Sodio	Medición mediante espectroscopia de emisión, equipo ICP con detector óptico, PerkinElmer Optima modelo 5300 DV		
Potasio			
Antimonio	Medición a través de Plasma de acoplamiento inductivo ICP-MS PerkinElmer Optima modelo ELAN DRC-e		
Arsénico			
Cadmio			
Molibdeno			
Plomo			
Níquel			

3.3 Pruebas de repoblamiento

3.3.1 Repoblamiento de *M. integrifolia* en Bahía Chasco a través de la siembra piloto de los mejores sistemas de repoblamiento encontrados en la fase I

Al interior de Bahía Chasco, en un área desprovista de algas huiro (por ser una superficie arenosa) se sembró un área de 1500 m² de *Macrocystis integrifolia* utilizando algas de cultivo y fragmentos de disco de fijación, a través de la metodología propuesta por Westermeier et al. (2013a, b). Las algas fueron sembradas utilizando bolones como sustrato con elásticos y pegamento para adherirlas a este (Foto 3). De esta forma se logró formar un “arrecife” artificial que puede ser replicado en gran parte de las localidades del norte de Chile donde sea necesario.



Foto 3. Siembra de plántulas y fragmentos de disco de fijación sobre bolones de roca utilizando pegamentos (sección inferior) y elásticos (sección superior).

De forma paralela, se realizó una siembra masiva de esporofilas (frondas reproductivas) también sobre bolones de fondo marino, los cuales fueron dispuestos dentro del área de 1500 m². Para que la fronda reproductiva permanezca en contacto con la roca, se utilizaron mallas de algodón, las cuales se degradaron al poco tiempo de su inmersión en el agua de mar (foto. 4).

Todos los tratamientos (plantas de cultivo y esporofilas) fueron instalados a una densidad de 3 plantas m⁻² y a 6 – 8 m de profundidad.



Foto 4 Siembra de plántulas y fragmentos de disco de fijación sobre bolones de roca utilizando pegamentos (sección inferior) y elásticos (sección superior).

3.3.2 Siembra estacional de fragmentos de disco

Para evaluar el efecto de la estacionalidad de la siembra de los fragmentos de disco, durante los meses de Marzo 2012, Julio 2012, Septiembre 2012 y Enero 2013. Un total de 15 plantas adultas (plantas matrices) de *M. integrifolia* se les cortaron fragmentos del disco que contuvieran al menos un estipe y varias frondas, porciones las cuales fueron trasplantadas en:

- i) Bolones de roca utilizando elásticos (foto 5)
- ii) Bolones de roca utilizando pegamento (foto 6)
- iii) Long-lines utilizando elásticos (foto 7)

Se utilizaron además 15 individuos adultos a los cuales se les llamo matrices (plantas madres), y que corresponden a las plantas adultas de donde se obtuvieron los fragmentos (foto 8). Como control, se marcaron plantas adultas enteras a las cuales no se les cortó ninguna sección del disco (foto 9). En cada tratamiento se evaluó mensualmente

crecimiento en talla (total de la planta), crecimiento en longitud del disco de fijación, formación de nuevos estipes, aparición de individuos reproductivos y supervivencia.



Foto 5. Siembra en bolones de roca de fragmentos de discos de *M. integrifolia* utilizando elásticos



Foto 6. Siembra en bolones de roca de fragmentos de discos de *M. integrifolia* utilizando pegamentos



Foto 7. Siembra en long-lines de fragmentos de discos de *M. integrifolia* utilizando elásticos



Foto 8. Planta matriz mostrando cicatriz después de la escisión de una porción del disco de fijación (fragmentos)

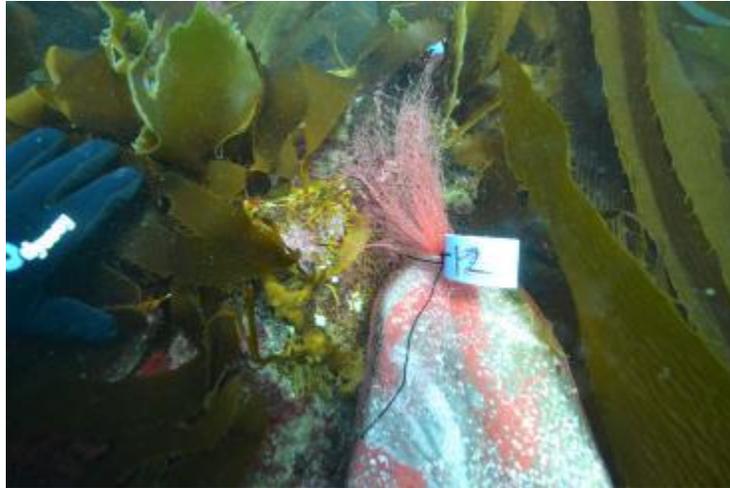


Foto 9. Planta entera (control) de *M. integrifolia* (sin cortar)

3.4 Estudios de dinámica poblacional de *M. integrifolia* en Bahía Chasco

3.4.1 Dinámica poblacional de *M. integrifolia* en áreas sin intervenir

Durante los meses de Mayo 2011 – Mayo 2013 se evaluó la dinámica poblacional en áreas sin intervención antrópica. Para ello, en una sección de la pradera ubicada a 6 m de profundidad se delimitó un área de 20 m² (réplicas de 1m²), en los cuales se determinó mensualmente crecimiento (cm), fenología (% de individuos reproductivos), reclutamiento (n° reclutas m⁻²) y densidad de plantas (n° plantas m⁻²). Este estudio forma parte de una continuación de lo realizado en la fase I de este proyecto, para determinar el ciclo biológico de la población y detectar con más información tendencias estacionales.

3.4.2 Dinámica poblacional de *M. integrifolia* dentro áreas intervenidas en diferentes estaciones del año

En otros sectores dentro de la pradera de *M. integrifolia* en Bahía Chasco se delimitaron 4 áreas de 10 m², áreas las cuales fueron completamente intervenidas una por una en los meses de Mayo, Julio y Noviembre 2012 y Enero 2013, eliminando todas las algas presentes en ella (a excepción de formas crustosas y filamentosas de pequeño tamaño). Estas zonas fueron muestreadas mensualmente, determinando el nivel de reclutamiento de nuevos individuos de *Macrocystis*, así como también las variables poblacionales evaluadas en las áreas sin intervención antrópica (**ver sección anterior: Dinámica poblacional de *M. integrifolia* en un área sin intervenir**).

3.5 Pruebas de manejo en Bahía Chasco

3.5.1 Manejo de *M. integrifolia* de Bahía Chasco a través de rotación de áreas

Un área de 10.000 m² dentro de la pradera natural de *M. integrifolia*, en Bahía Chasco, fue dividida en 4 áreas a través de boyas con sistema de anclajes. En cada una de estas sub-áreas se determinó el standing crop (biomasa cosechable), para definir la situación base (fig. 2). Mensualmente, pescadores seleccionados para dicho fin realizaron cosechas rotatorias dentro de estas áreas, definiendo a aquellas donde realizar las cosechas, cuantificando las horas hombre biomasa cosechada y combustible utilizado.

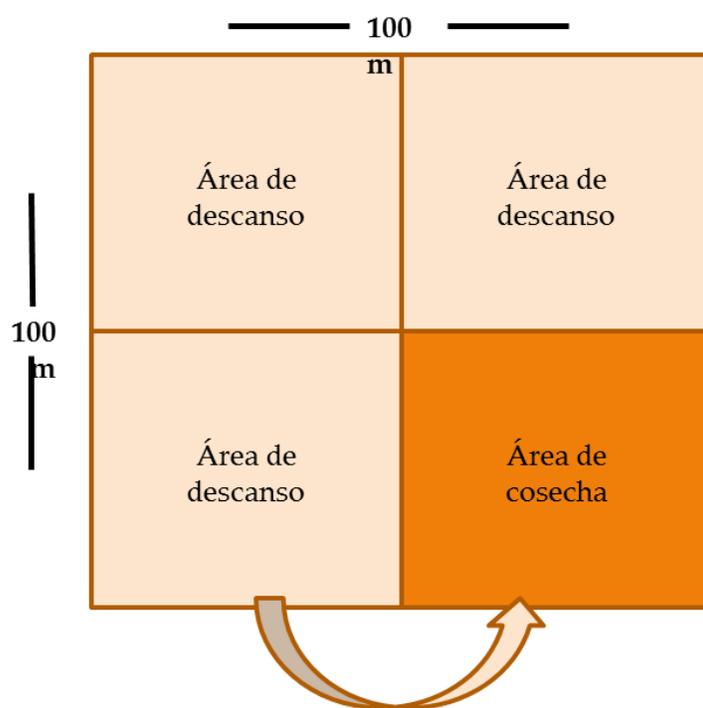


Fig. 2. Esquema de parcelacion de areas de cosecha en Bahia Chasco.

3.5.2 Conograma

Con esta información, se lograron establecer la tasa de cosecha (velocidad del buzo en cosechar la biomasa), el standing crop (o biomasa cosechable) mensual dentro de las áreas marcadas y, de acuerdo a este standing crop, se logró establecer la extensión área mínima mensual necesaria para que se cosechen 40 ton diarias, parámetros necesarios para establecer un cronograma de manejo.

Con la integración de esta información en conjunto a la obtenida en la fase I de este proyecto (frecuencia de cosechas) se determinó el diseño un cronograma de cosecha para Bahía Chasco, basado en un sistema de manejo de rotación de áreas.

3.6 Composición química de *M. integrifolia* de Bahía Chasco

Muestras de plantas enteras de *Macrocystis integrifolia* de poblaciones submareales en Bahía Chasco, Atacama (27° 41' S) fueron colectadas de forma mensual entre los meses de Enero 2011 - Diciembre 2011. Posteriormente las algas fueron transportadas en bolsas estériles a 5°C al laboratorio, lavadas y limpiadas de epibiontes y separadas en disco de fijación, estipes y frondas. Cada sección del talo fue secada a 60°C por 3 días y pulverizada, y almacenadas a temperatura ambiente para los diferentes tipos de análisis.

3.6.1 Composición proximal de *M. integrifolia*

La composición energética y los niveles de ceniza fueron cuantificados sometiendo las muestras a una mufla. Los niveles de proteínas fueron estimados usando el método de Kjeldahl, los que se describen en Westermeier (1982). Los contenidos lipídicos fueron determinados según Roughan (1985). Excepto para los contenidos energéticos, todos los valores fueron expresados en % de peso seco (% DW).

3.6.2 Composición aminoacídica y de ácidos grasos de *M. integrifolia*

La composición de aminoácidos y ácidos grasos fueron determinados por la metodología de AOAC (1995), a través de la tecnología de cromatografía líquida y gaseosa. Esta tecnología permite determinar la presencia y cantidad de 17 aminoácidos y 14 ácidos grasos.

3.6.3 Composición de azúcares de *M. integrifolia*

Los alginatos, laminarano, manitol y carbohidratos solubles, azúcares de importancia comercial, fueron cuantificados de forma estacional (meses de enero, abril, julio y octubre 2012) para la fronda (hojas o filoides). La metodología utilizada fue a través de la extracción secuencial de los polisacáridos solubles de las muestras y se efectuó según el método de Mian & Percival (1973). Los extractos previamente purificados fueron caracterizados por espectroscopia IR-TF, RMN 1H y de rotación óptica según corresponda. La cuantificación de los polisacáridos se realizó por método colorimétrico (método fenol-sulfúrico, Dubois et al. 1956). Las mediciones de absorbancia se realizaron en un espectrofotómetro RAYLEIGH / UV-1601.

3.7 Actividades de difusión

En esta sección se revisaran los principales hitos de difusión de resultados del presente proyecto, y que corresponden a visitas a terreno en Bahía Chasco (talleres), notas en periódicos regionales (diario Atacama y Llanquihue), publicaciones en revistas de difusión masiva de la especialidad (Aquanoticias y Mundo Acuícola) y asistencia congresos nacionales e internacionales (Congreso nacional de acuicultura, Congreso internacional de algas), entre otras.

4. Resultados

4.1 Variables físico-químicas

4.1.2 Temperatura, penetración de la luz y nutrientes en Bahía Chasco

La tabla 2 resume las variables físicoquímicas, obtenidas en la columna de agua de Bahía Chasco entre los meses de Julio 2011 – Mayo 2013. La temperatura y la transparencia del agua fluctuaron estacionalmente, y con tendencia antagónica. Mientras la temperatura tuvo sus valores más bajos en invierno, los que aumentaron gradualmente hacia el verano. La transparencia del agua mostró sus menores valores en verano, aumentando significativamente hacia los meses invernales. La explicación de esta tendencia en la transparencia está dada por el aumento en la productividad primaria (bloom de microalgas) en la capa superficial de la columna de agua, la que por efecto sombra hace disminuir la penetración de la luz en el fondo marino.

En algunos nutrientes también se apreciaron algunas tendencias estacionales. Los nitratos y los ortofosfatos, mostraron los mayores valores en invierno, y los menores en verano. Esta tendencia también sugiere que la productividad primaria (tanto micro como macroalgas, como el huiro) afecta la concentración disponible de estos nutrientes en el agua, donde estos organismos los estarían usando para promover sus crecimientos, especialmente en la época de primavera. El amonio, a diferencia de los otros nutrientes, se mantuvo constante y en bajas concentraciones.

Tabla 2. Variación mensual de la temperatura, transparencia del agua y nutrientes de fondo marino de Bahía Chasco

	Profundidad (m)	2011						2012						2013										
		J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
Temperatura (°C)	6.8	13,5	14	14	15	15	15	17	19	17,5	17	14	16	14	15	15,6	16	17	18,5	18	19,4	17	16,4	15,6
Transparencia del agua (m)	-	15	11.6	9.3	8.1	7.3	4.4	3.8	3.3	4.7	7.71	25.12	23	16	11	6.14	8	10	2.75	5	7	10	12.2	15.4
Nitrato ($\mu\text{g L}^{-1}$)	6.8	146.7	212	48	28	57	<5	10	25	<5	102	84	44	102.6	76.4	12.2	54	64	<5	50	77	74	-	-
Amonio ($\mu\text{g L}^{-1}$)	6.8	<10	<10	29	<10	13	<10	<11	<10	<10	91	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	-	-
Ortofosfato ($\mu\text{g L}^{-1}$)	6.8	65.7	84	44	35	36	26	25	27	18	53	39	31	51.9	44.8	28.4	34	59	38	43	42	46	-	-

4.1.3 Composición de metales pesados en Bahía Chasco

La composición de metales pesado de la columna de agua en Bahía Chasco se ilustran en la tabla 3. Los valores de pH, conductividad y alcalinidad estuvieron acorde a los esperados para una columna de agua “saludable”. Asimismo la cantidad de metales pesados se encontraron bajo los valores de dosis letal para la biota, y en general fueron tan bajos que no fueron reconocidos por los sensores de los equipos o por las metodologías evaluadas.

Tabla 3. Variables fisicoquímicas de la columna de agua de Bahia Chasco

pH [pH]	Conductividad [mS/m]	Alcalinidad [mmol/l]	Turbidez [NTU]	Nitrógeno amoniacal total [µg N/l]	Nitrógeno Total [µg N/l]	Nitrato [µg N/l]	Nitrito [µg N/l]	TOC NPOC [mg C/l]	Orto-fosfato [µg P/l]
7,9	5030	2,02	0,6	58	30	<46	<7	<0,05	33,2

Calcio [mg/l]	Magnesio [mg/l]	Potasio [mg/l]	Sodio [mg/l]	Cloro [mg/l]	Flúor [µg/l]	Dureza [mg/L CaCO3]	Azufre [mg/l]	Sulfato [mg/l]
336,8	1061,3	342	7204,8	15400	<6	5.198,81	873	2450

Fierro [µg/l]	Aluminio Total [µg/l]	Cadmio [µg/l]	Cobalto [µg/l]	Cromo [µg/l]	Cobre [µg/l]	Manganeso [µg/l]	Plomo [µg/l]	Cinc [µg/l]	Molibdeno [µg/l]
80	<5	<2	4	4	<2	0,5	<2	16	<13

Selenio [µg/l]	Antimonio [ug/l]	Talio [mg/l]	Arsénico [µg/l]	Litio [ug/l]
<50	<21	<50	2,3	150

4.2 Pruebas de repoblamiento

4.2.1 Repoblamiento de *M. integrifolia* en Bahía Chasco a través de la siembra piloto de los mejores sistemas de repoblamiento encontrados en la fase I

La figura 3 muestra el grado de avance en el repoblamiento a través de actividades periódicas, utilizando los sistemas de repoblamiento sobre bolones, a través de la siembra de plántulas de laboratorio y fragmentos de disco de fijación (usando elástico y pegamentos) y la siembra de esporofilas (usando mangas de algodón).

En total se sembraron 1515 m², de los cuales aproximadamente:

1. 525 m² fueron a través de plantas fijas a bolones con elástico
2. 515 m² bolones con pegamento y
3. 475 m² a través de bolones sembrados utilizando esporas (esporofilas).

Bajo estos sistemas, y si consideramos que en cada bolón se debió haber fijado (independiente del método de repoblamiento) al menos 1 individuo por bolón, se debieron incorporar en el transcurso del proyecto un total de 4545 plantas, de los cuales actualmente permanece el 61,5 % (tabla 4).

Los sistemas de bolones alcanzaron sobre el 70% de efectividad, y cuya mortalidad esta explicada básicamente por la inestabilidad del bolón, el que puede voltearse y estrangular a la planta. Para evitar esto, se sugiere agrupar los bolones, a modo de que se protejan contra el efecto de las corrientes. Otra alternativa es sembrar las plantas en bloques de concreto (o material similar) con formas de "L" o "T", como lo sugiere Terawaki et al. (2003). Estas formas permite enganchar los bloques formando un sustrato artificial completo y firme.

En el caso del sistema de repoblamiento a base de esporofilas, este alcanzó 44,4 % de éxito, y su mortalidad se debió probablemente, y además de la inestabilidad del sustrato antes mencionado, a la viabilidad de las esporas y la posterior capacidad del recluta de establecer y crecer sobre estos, lo cual es altamente variable.

Otro aspecto interesante de mencionar y que explicaría la mortalidad observada puede ser las variables fisicoquímicas del lugar. En general la arena es un potente elemento abrasivo, y que usualmente erosiona los estipes cuando se mueve por las corrientes. Asimismo, las condiciones ambientales no siempre son buenas para el crecimiento de *M. integrifolia*, y en general la cantidad

de luz, disponibilidad de nutrientes y la temperatura del agua entre otros ocasionan algunos eventos de mortalidad en la pradera natural.

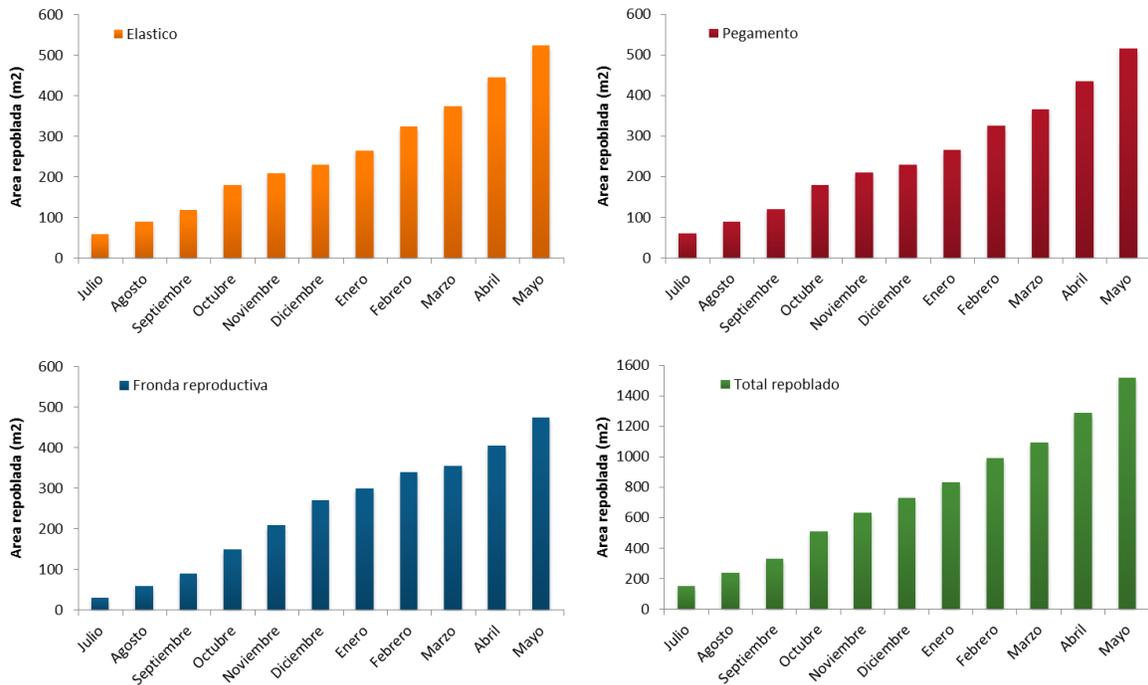


Fig. 3. Grado de repoblamiento de *M. integrifolia* (m2 repoblados) en áreas despejadas en Bahía Chasco.

Tabla 4. Resultados del repoblamiento piloto en Bahía Chasco

	Plantas en bolones			
	Elástico	Pegamento	Esporofila	Total
Área repoblada (m2)	525	515	475	1515
Plantas vivas hasta la fecha (n°)	1193	1081	633	2907
Efectividad del repoblamiento (%)	75,7	70,0	44,4	64,0



Foto 10. Estado inicial de la siembra de Bahía chasco



Foto 11. Estado adulto de las plantas sembradas en el repoblamiento piloto Chasco

4.2.2 Siembra estacional de fragmentos de disco

Las figuras 4 – 17 resumen el desarrollo de fragmentos de disco de las siembras realizadas en diferentes épocas del año dentro de Bahía Chasco.

a. Siembra Otoño

El crecimiento (en longitud total, del disco de fijación y número de estipes), fenología reproductiva y sobrevivencia de porciones de disco de fijación de *M. integrifolia* sobre diferentes sustratos, así como de sus controles iniciados otoño, se representan en las figuras 4- 8.

La longitud total de las plantas matrices y controles no mostraron un crecimiento constante a lo largo del periodo de estudio, decreciendo en los últimos 3 meses (verano tardío). Sin embargo, en el último mes, el control planta entera recuperó su potencial de crecimiento alcanzando los 240 cm de longitud de fronda en el mes de diciembre. Los tratamientos de porciones de discos sembrados sobre bolones (elástico y pegamento) y long-lines mostraron un crecimiento los primeros meses y después, cuando alcanzaron longitudes similares a los controles y las matrices (aproximadamente en Junio) estancaron su crecimiento y disminuyen sus tamaños. El caso del tratamiento de porciones de disco sembradas sobre long-line (n=15), este mostró un evento de mortalidad total, no sobrepasando los 100 cm de longitud (fig. 4).

El crecimiento de los discos de fijación, en cambio, ha sido constante para las plantas matrices y controles, llegando a cerca de 53 cm. en el mes de diciembre. Los discos de fijación de los fragmentos llegaron a superar los 20 cm (tanto elástico como pegamento). Sin embargo, durante el mes de octubre experimentaron una caída en sus longitudes de disco de fijación, llegando a los 10 y 15 cm. Respectivamente (fig. 5). Al parecer, esta baja estaría explicada básicamente por falta de sustrato que ofrecen los bolones una vez la planta lo cubre por completo, el que no solo detiene el crecimiento, sino que también envejece a la planta y hace menos estable el disco. Este envejecimiento se traduce en la erosión del tejido viejo y la disminución de la longitud total, con su posterior muerte.

El número de estipes también mostró un aumento constante en los últimos muestreos. Los máximos valores se alcanzaron en los grupos controles (n =14) y matrices (n = 12). Las porciones de disco sembrada sobre bolones igualmente formaron nuevos estipes, llegando a valores entre 4 –6 estipes por individuo en promedio (fig. 6).

En relación a la fenología se han determinado para todos los tratamientos, individuos con frondas reproductivas cercanos al 100% hasta el mes de diciembre (fig. 7). Por otro lado, la sobrevivencia había superado en casi todos los casos el 60% hasta septiembre. Los dos últimos meses de muestreo la sobrevivencia de los tratamientos de fragmentos (elástico y pegamento) disminuyeron significativamente, presumiblemente por el desprendimiento de las algas. La mortalidad de los tratamientos sembrados sobre long-lines fue total a los 4 meses de cultivo (fig. 8).

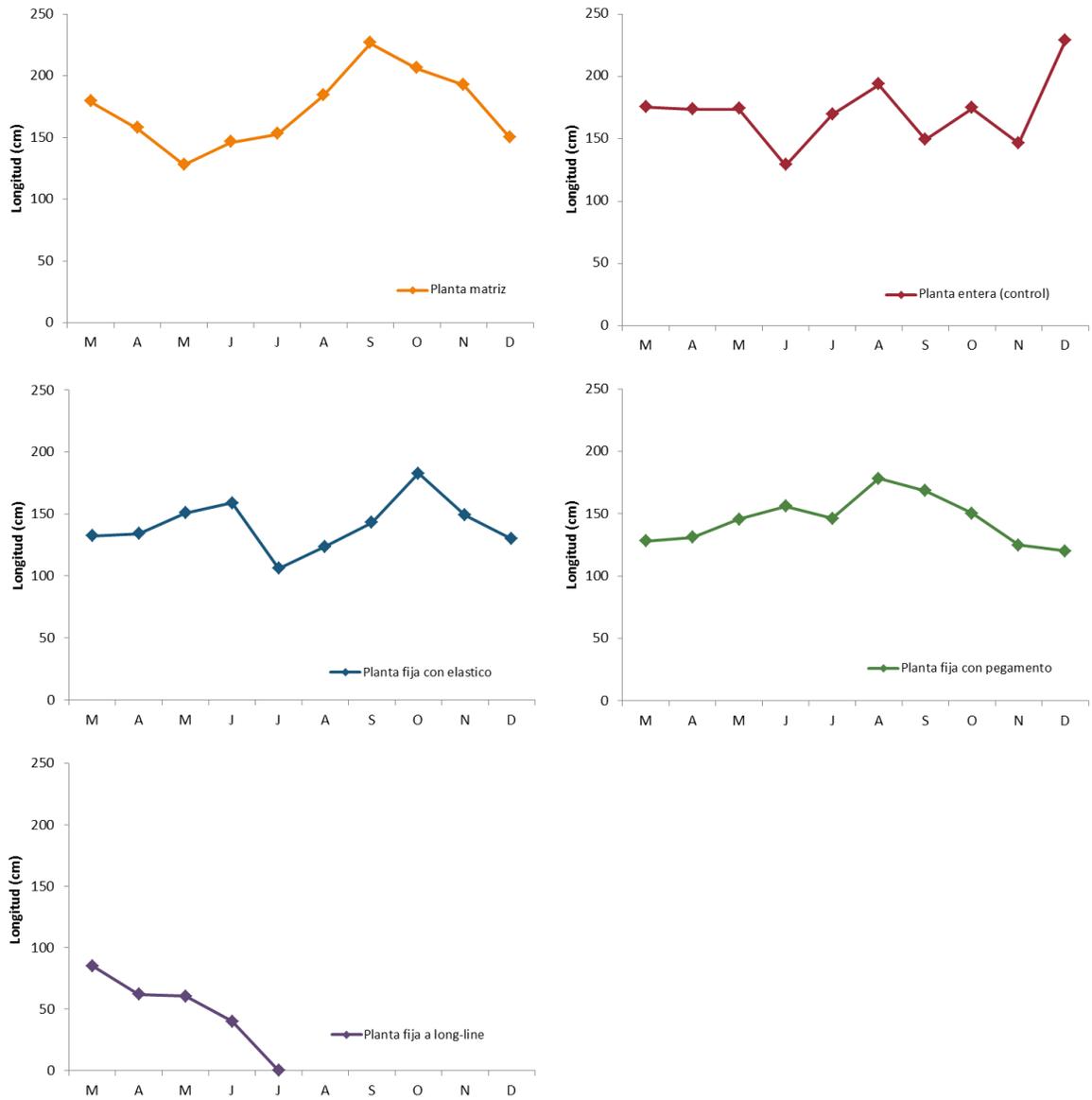


Fig. 4 Variación en la longitud de *M. integrifolia* (plantas matrices, controles y fragmentos) sembrados bajo diferentes métodos de repoblamiento. Siembra otoño

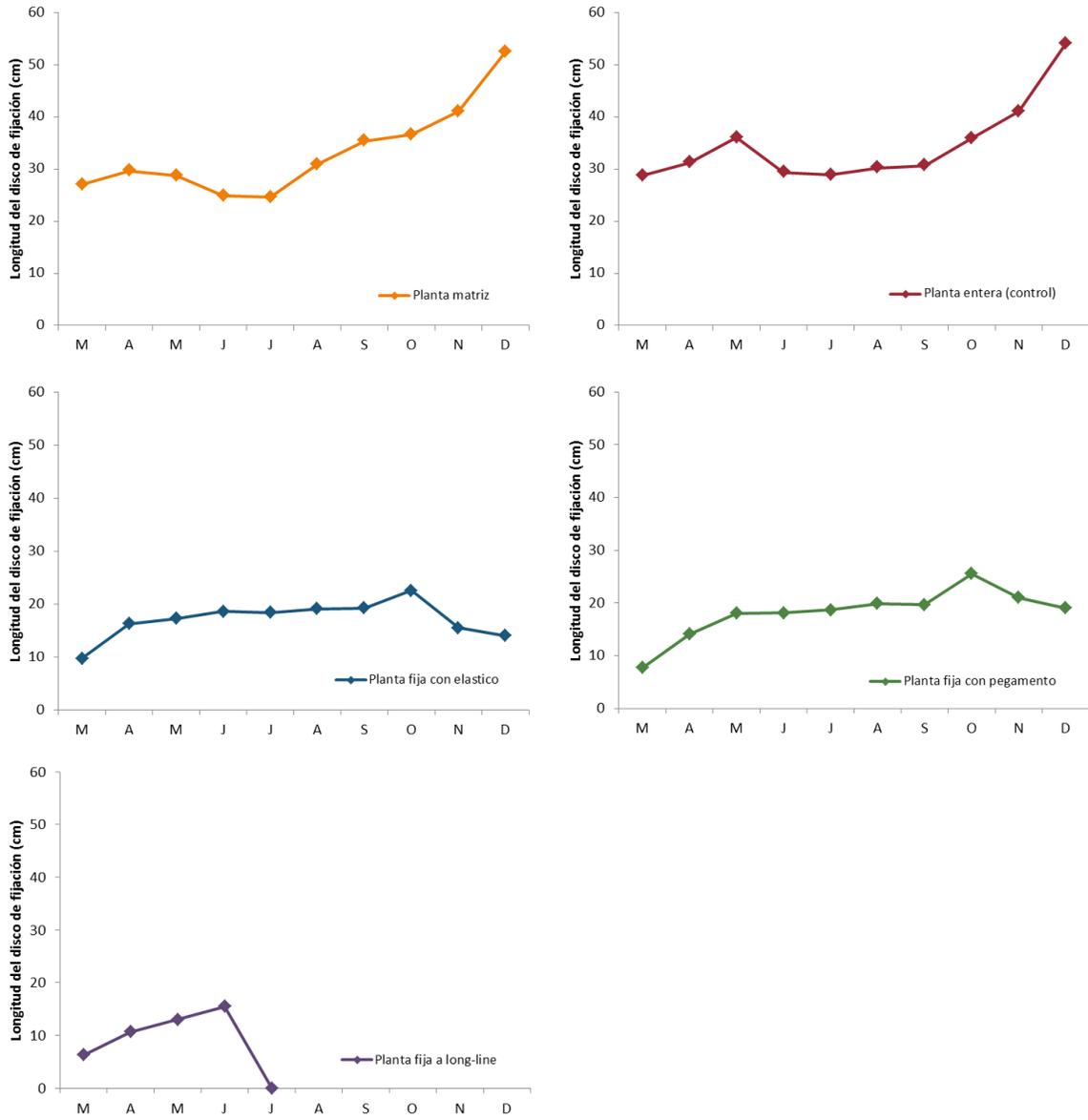


Fig. 5. Variación en la longitud del disco de fijación (grampón) de *M. integrifolia* (plantas matrices, controles y fragmentos) sembrados bajo diferentes métodos de replantamiento. Siembra otoño.

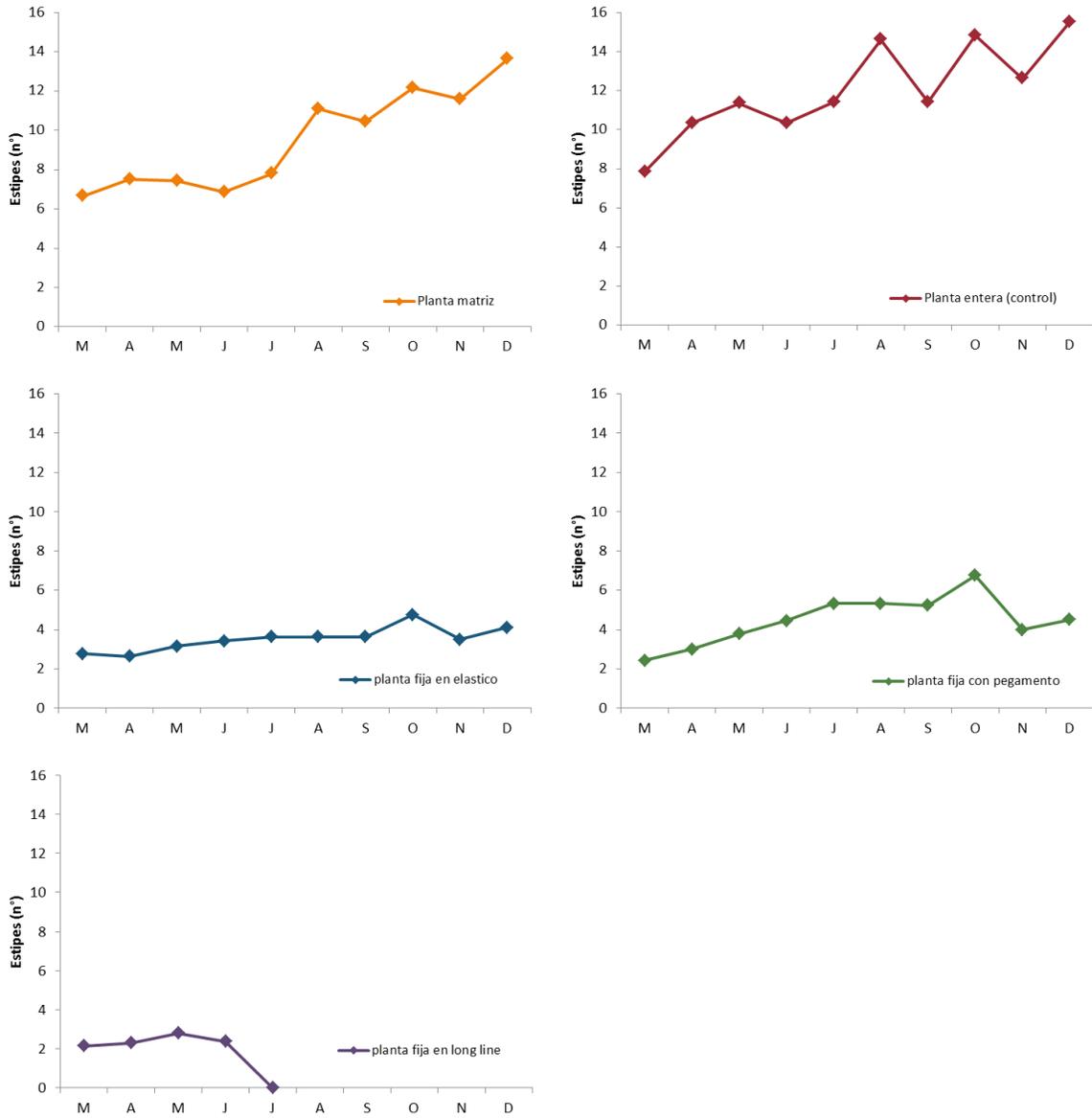


Fig. 6. Variación en el número de estipes de *M. integrifolia* (plantas matrices, controles y fragmentos) sembrada bajo diferentes métodos de repoblamiento. Siembra otoño.

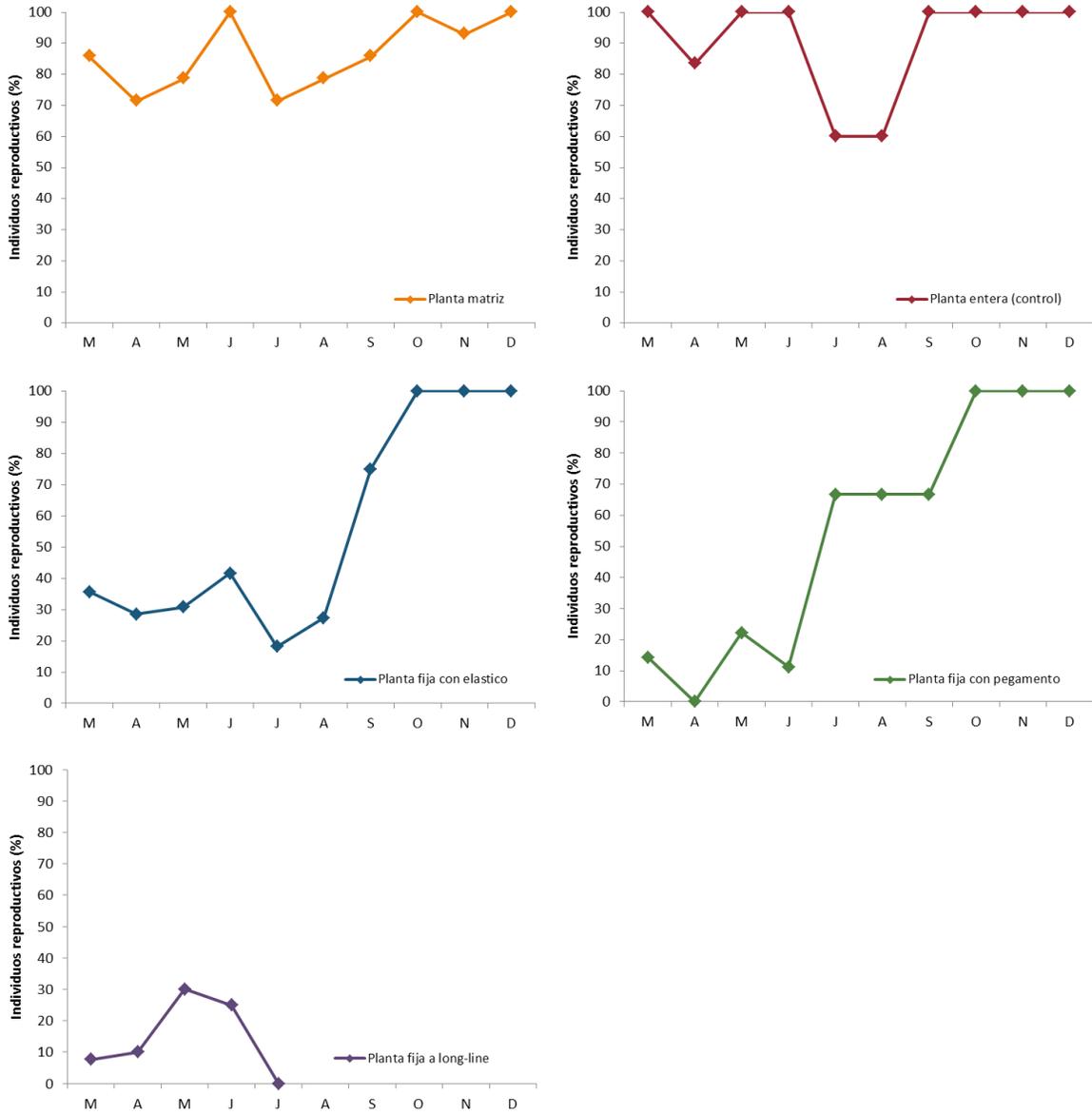


Fig. 7. Variación en la fenología reproductiva de *M. integrifolia* (plantas matrices, controles y fragmentos) sembrada bajo diferentes métodos de replantamiento. Siembra otoño.

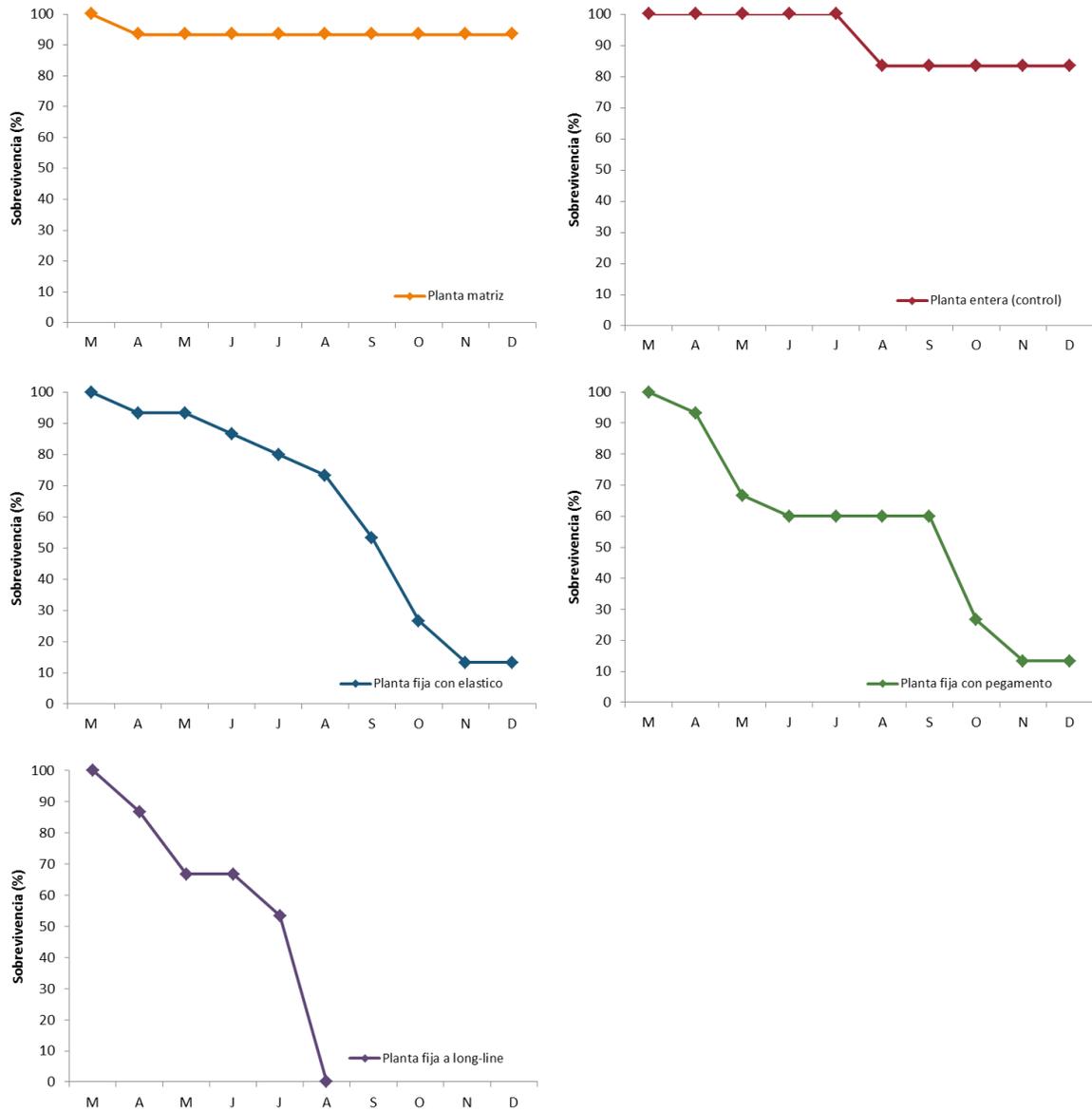


Fig. 8. Variación en la sobrevivencia de *M. integrifolia* (plantas matrices, controles y fragmentos) sembrada bajo diferentes métodos de reemplazamiento. Siembra otoño.

b. Siembra invierno

Las figuras 9-13 muestran los resultados de fragmentos de disco sembrados en Invierno, entre los meses de Julio y Enero de 2013.

El crecimiento obtenido por las plantas matriz y control, en terminos de longitud total, es muy similar a las reportadas por la dinamica de la pradera (ver seccion: **Estudios de dinámica poblacional de *M. integrifolia* en Bahía Chasco**), mostrando un lento crecimiento en los primeros meses invernales y aumentar su longitud hacia primavera, para luego en los meses estivales disminuir su longitud (fig. 9). Las longitudes maximas encontradas en estos tratamientos fueron de 200 – 260 cm. Los fragmentos, que corresponden a trozos de la planta matriz o madre, mostraron un patron de crecimiento algo diferente, mantienendose en constante crecimiento los primeros meses hasta la temporada estival, donde disminuyen su tamaño.

Los discos de fijacion, en cambio, mostraron un crecimiento constante durante el periodo de estudio, independiente del tratamiento empleado. En las plantas matrices y controles llegaron a los 40 cm y en los fragmentos entre 20 - 25 cm (fig 10).

En cuanto al crecimiento de estipes, este se observó mas rapido en las plantas matrices y controles respecto a los fragmentos de disco. En las plantas matrices, las estipes oscilaron entre 14 y 28 en plantas matrices y controles respectivamente, mientras que en los fragmentos disco entre 4 y 6 estipes por planta (fig. 11).

En la fenologia reproductiva, fue posible observar que todos los tratamiento alcanzaron el 100% de madurez sexual (fig. 12), con sobrevivencias que llegaron al 80% en plantas matrices y controles y sobre el 40% en bolones con fragmentos de disco (fig. 13). A diferencia de la estacion del año anterior, en esta siembra el tratamiento de fragmentos sobre long-line logró sobrevivir hasta el final del estudio (30% sobrevivencia). Sin embargo, las tallas logradas fueron menores que en los otros tratamientos.

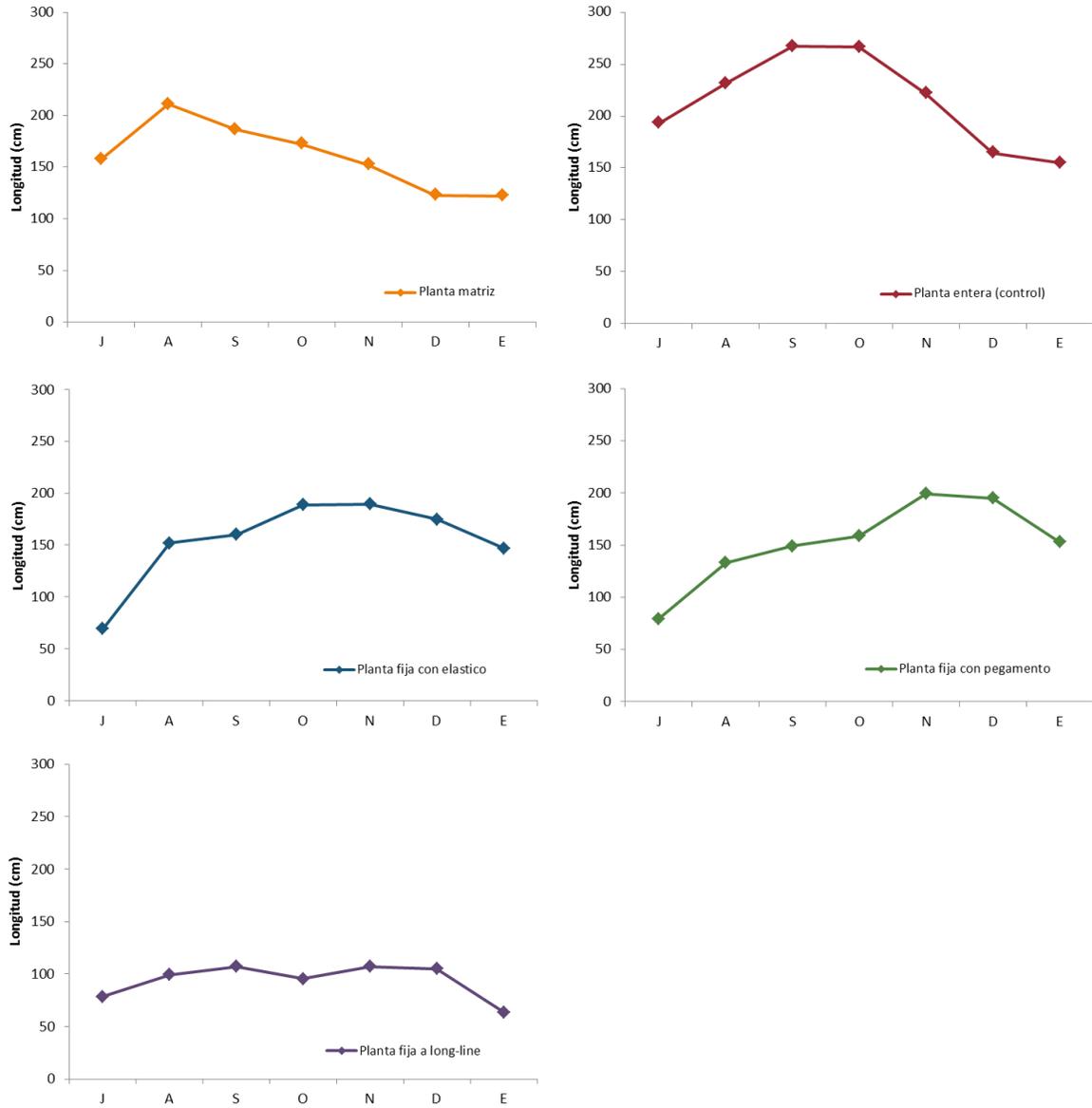


Fig. 9. Variación en la longitud de *M. integrifolia* (plantas matrices, controles y fragmentos) sembrados bajo diferentes métodos de repoblamiento. Siembra invierno.

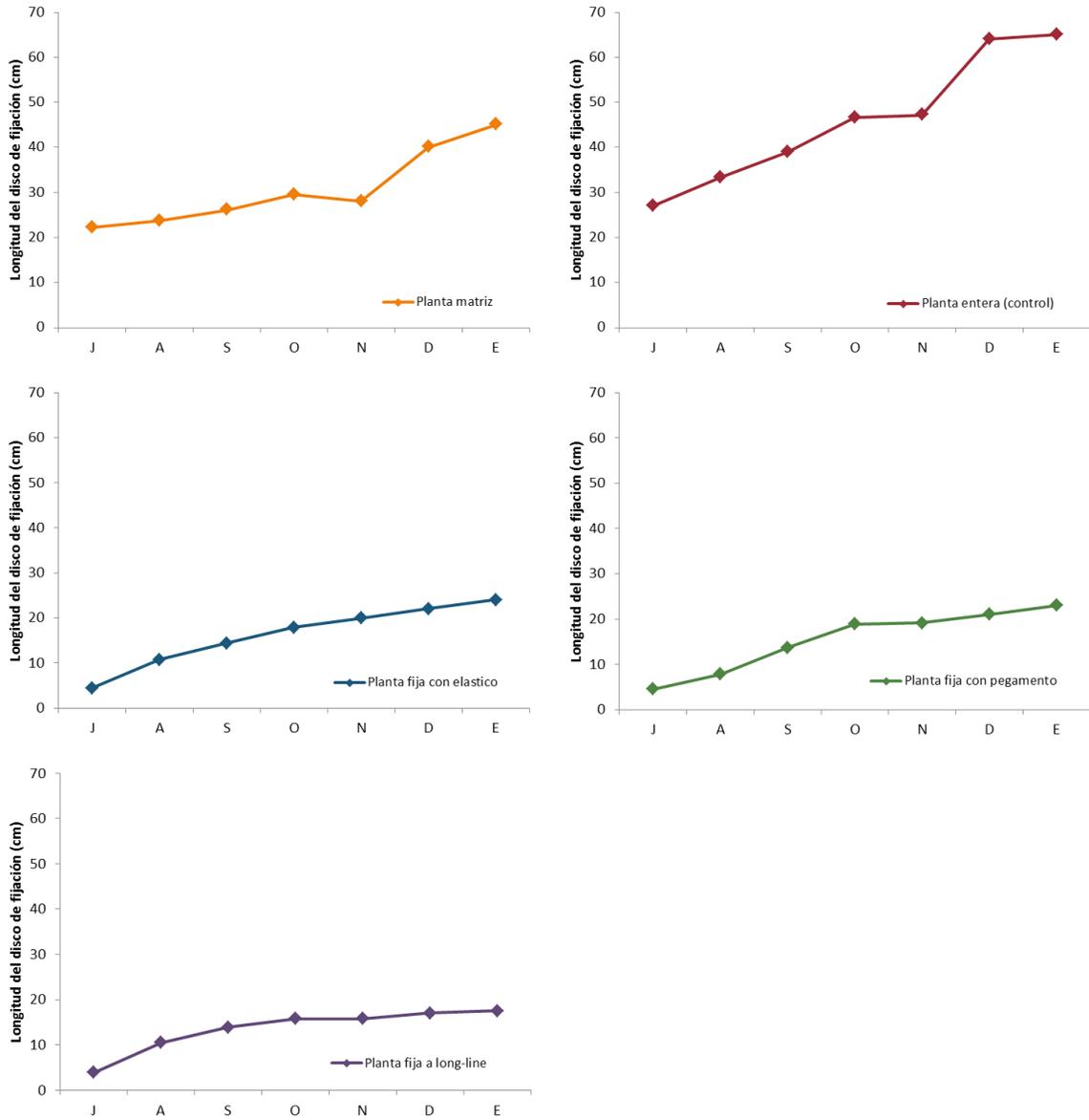


Fig. 10 Variación en la longitud de *M. integrifolia* (plantas matrices, controles y fragmentos) sembrados bajo diferentes métodos de replantamiento. Siembra invierno.

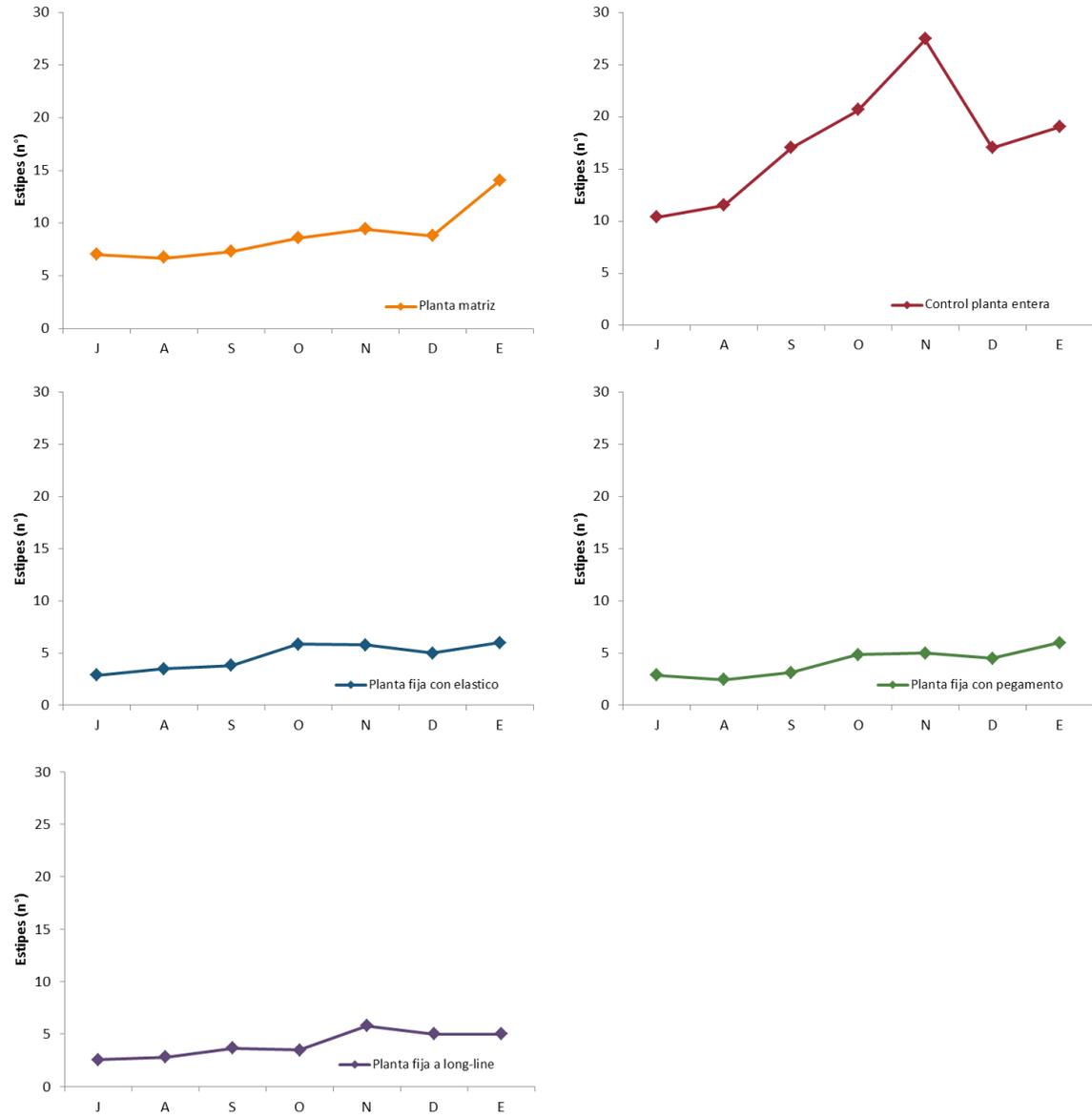


Fig. 11. Variación en el número de estipes de *M. integrifolia* (plantas matrices, controles y fragmentos) sembrada bajo diferentes métodos de repoblamiento. Siembra invierno.

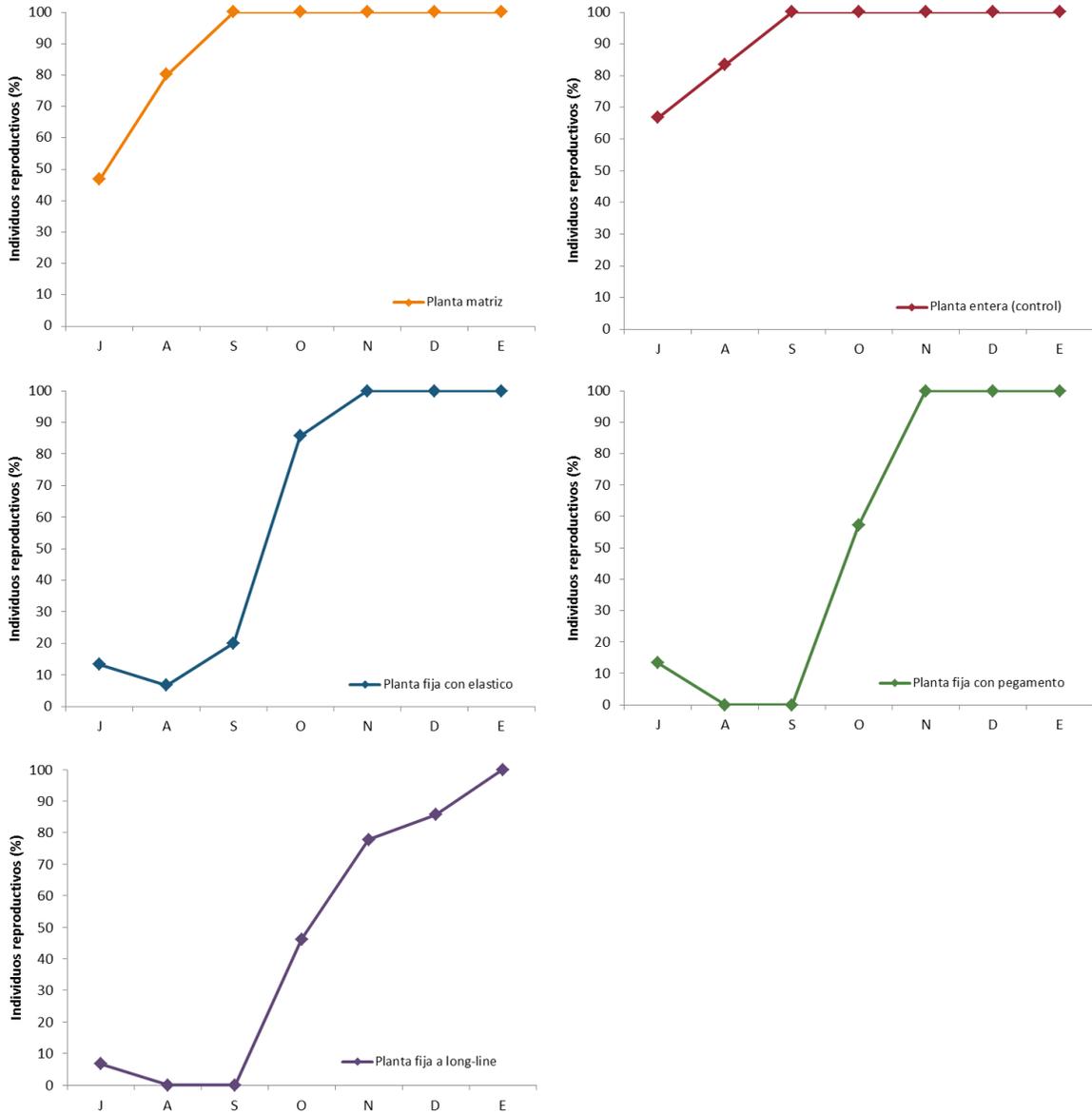


Fig. 12. Variación en la fenología reproductiva de *M. integrifolia* (plantas matrices, controles y fragmentos) sembrada bajo diferentes métodos de repoblamiento. Siembra invierno.

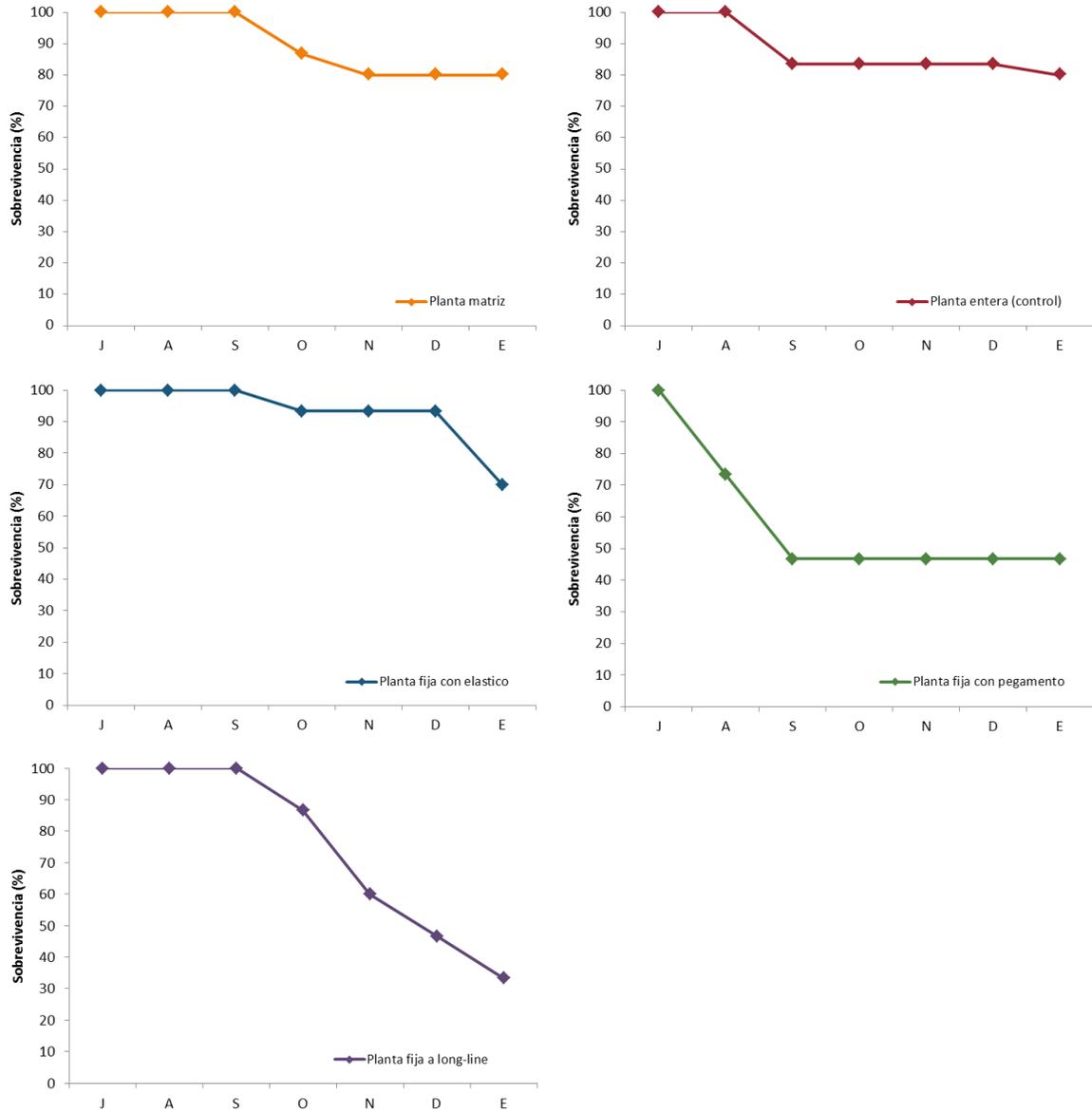


Fig. 13. Variación en la sobrevivencia de *M. integrifolia* (plantas matrices, controles y fragmentos) sembrada bajo diferentes métodos de repoblamiento. Siembra invierno.

c. Siembra primavera

Los resultados del desarrollo de fragmentos de disco de *M. integrifolia* sembrados en primavera (Septiembre 2013), se muestran en las figuras 14-17.

El crecimiento mostrado por las plantas matrices (madre) y controles (planta entera), al igual que en las siembras anteriores, mostró una tendencia similar al comportamiento de la especie en la población natural (ver sección: **Estudios de dinámica poblacional de *M. integrifolia* en Bahía Chasco**), es decir, altos valores en primavera (300 – 350 cm) con una abrupta disminución de las longitudes hacia verano (fig. 14). Los fragmentos de disco de fijación de *M. integrifolia* mostraron un patrón similar, manteniéndose en constante crecimiento los primeros meses hasta la temporada estival (250 – 300 cm), donde disminuyen su tamaño drásticamente (fig. 14). En el mes de Mayo, todos los tratamientos sobrepasan los 100 cm de longitud, siendo sus valores más bajos después de haber llegado a tallas de 200 – 300 cm en Diciembre.

Los discos de fijación, como ha sido usual en este estudio, mostraron un crecimiento constante en todos los tratamientos evaluados. Las plantas matrices y controles alcanzan discos de fijación de 45 cm o superior, mientras que los fragmentos de disco lograron grampones de 20 – 25 cm (fig. 15). Una excepción fue el tratamiento plantas sobre long line, el que al igual que en la siembra de otoño, tuvo una mortalidad total en el mes de marzo (fig 15).

Con respecto a la fenología reproductiva, fue posible observar que todos los tratamientos alcanzaron el 100% de la madurez sexual en el mes de Marzo. Sin embargo, en el último muestreo los tratamientos de fragmentos sembrados en bolones (elástico y pegamento) mostraron una baja en este indicador, probablemente por pérdida de tejido reproductivo que ya liberó sus esporas, tejido reproductivo que se volvió a generar en los meses posteriores (fig. 16). La sobrevivencia, a diferencia del tratamiento sobre long-line, bordeó los 60% en las plantas matrices y controles y los 40% en fragmentos de disco sembrados sobre bolones (fig. 17).

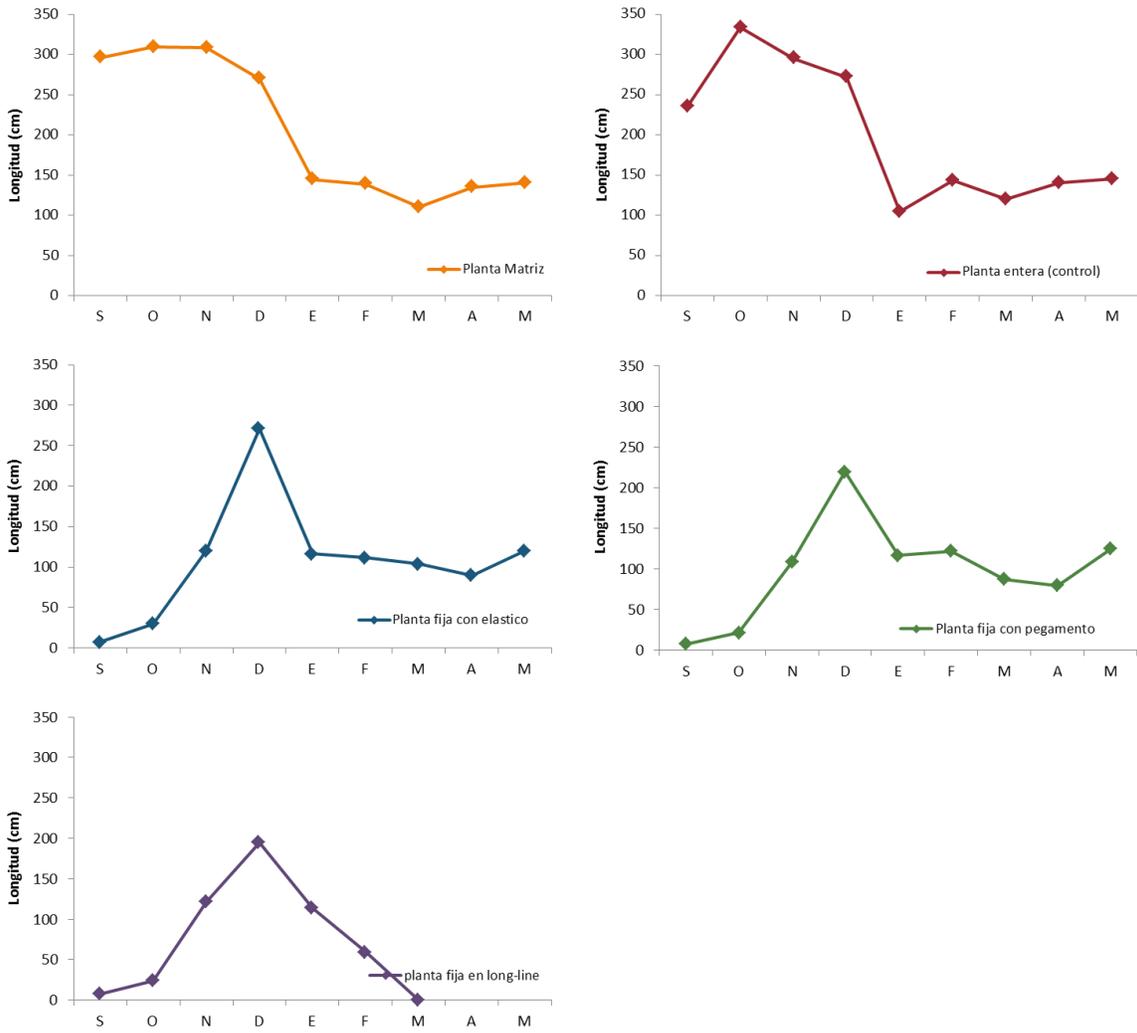


Fig. 14. Variación en la longitud de *M. integrifolia* (fragmentos) sembrados bajo diferentes métodos de repoblamiento. Siembra primavera.

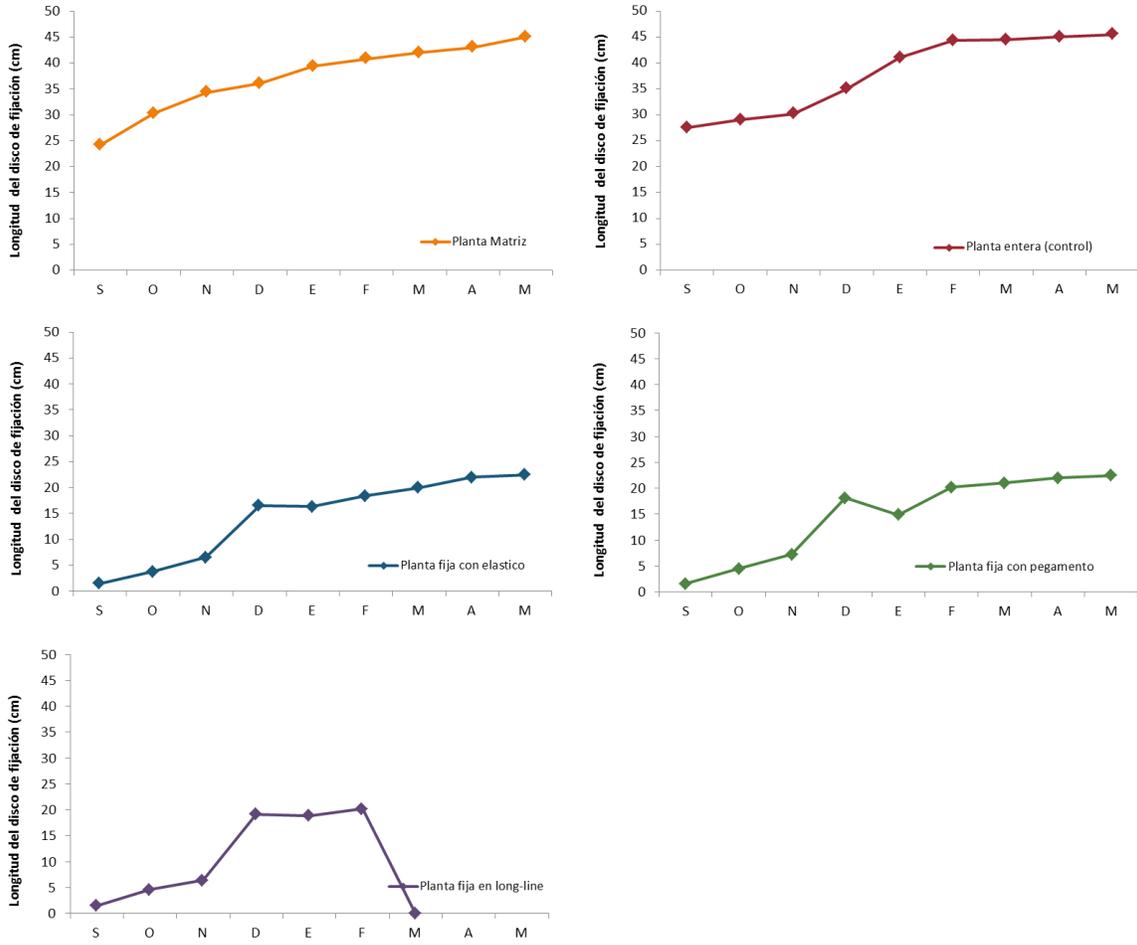


Fig. 15. Variación en la longitud del disco de *M. integrifolia* (fragmentos) sembrados bajo diferentes métodos de reemplantamiento. Siembra primavera.

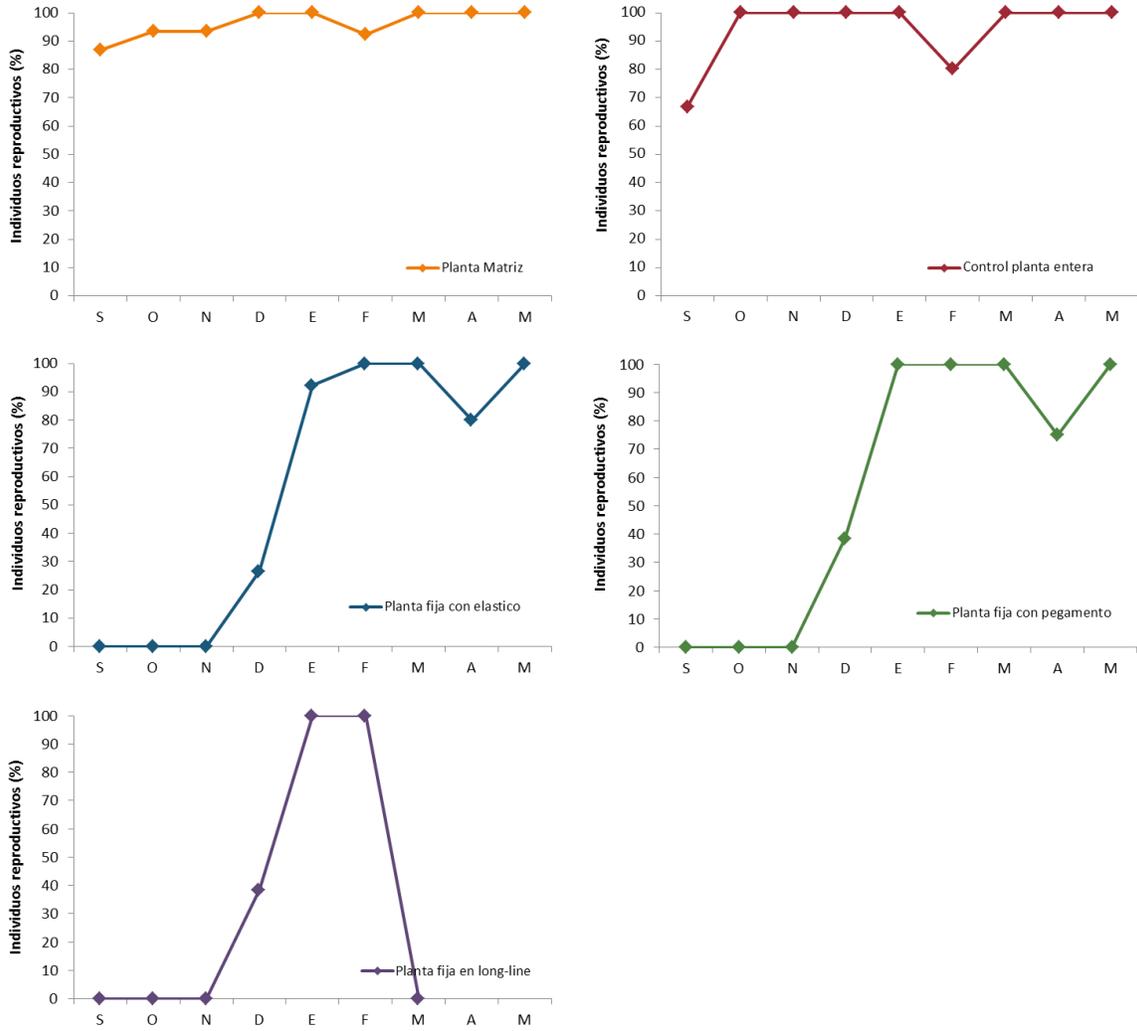


Fig. 16. Variación en la fenología reproductiva de *M. integrifolia* (fragmentos) sembrada bajo diferentes métodos de repoblamiento. Siembra primavera.

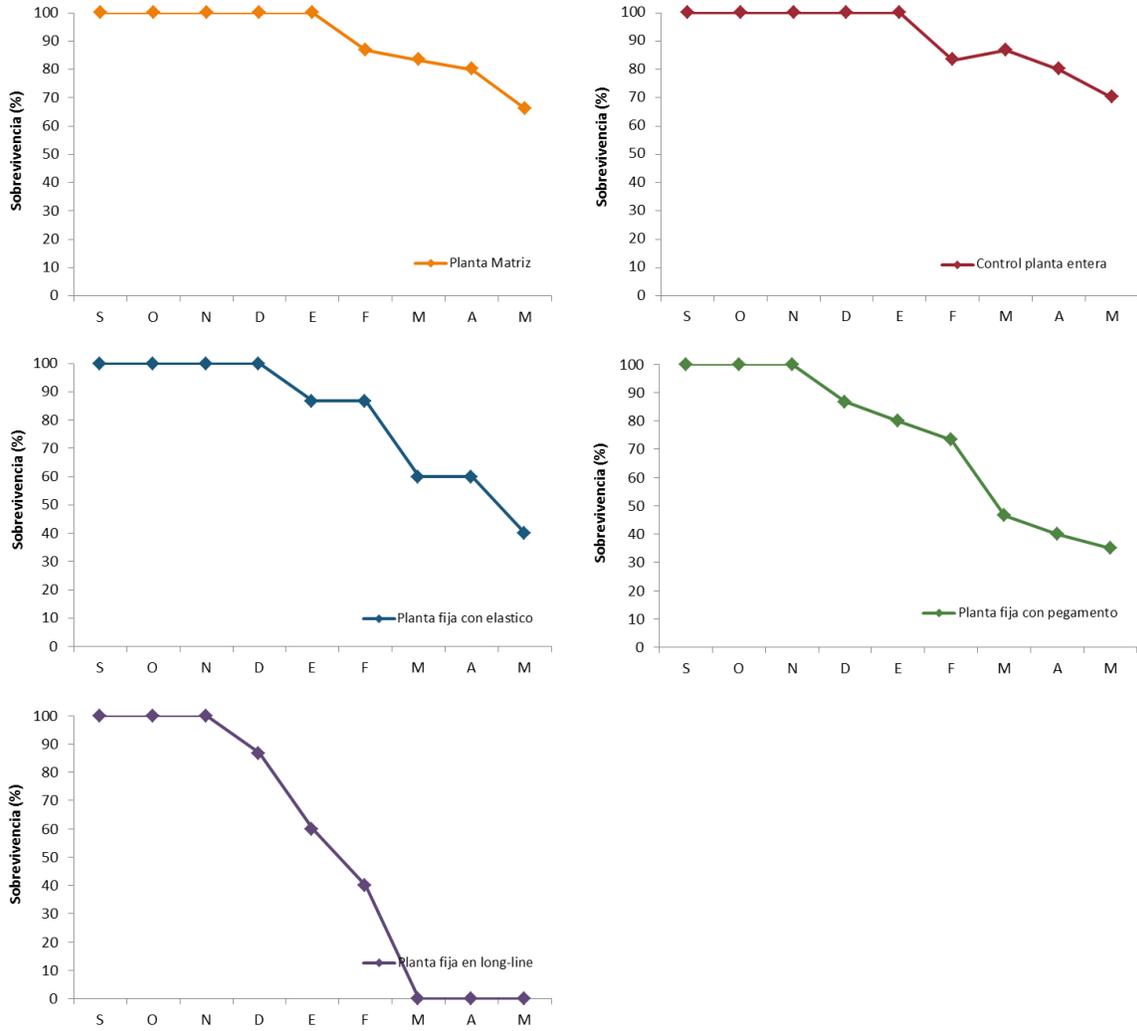


Fig. 17. Variación en la sobrevivencia de *M. integrifolia* (fragmentos) sembrada bajo diferentes métodos de repoblamiento. Siembra primavera.

d. **Siembra verano**

Tanto los fragmentos sembrados sobre bolones como en long - line exhibieron mortalidades masivas después de dos meses de sembrados, reflejando la incompatibilidad de la siembra en esta época. Las razones más probables que aparentemente influyeron en esta mortalidad fueron las condiciones ambientales en esta estación del año, como altas temperaturas, bajas dosis de luz y altas tasas de sedimentación (movimiento de arenas) producto de las corrientes marinas. Estas condiciones -las que regulan la variación estacional de *M. integrifolia* en Bahía Chasco y que usualmente hacen que las plantas disminuyan su biomasa y tamaño- deben haber impedido que las plantas se fijen a los sustratos ocasionando que se desprendan. De hecho, solo las plantas matrices y controles sobrevivieron, las que llegaron a tallas de 70 cm en marzo, de igual forma que todas las plantas de la pradera en esta época del año (ver seccion: **Estudios de dinámica poblacional de *M. integrifolia* en Bahía Chasco**).

4.3 Estudios de dinámica poblacional de *M. integrifolia* en Bahía Chasco

4.3.1 Dinámica poblacional de *M. integrifolia* en áreas sin intervenir

a. Reclutamiento

En general, el reclutamiento de *M. integrifolia* en el área sin intervenir de Bahía Chasco fue bajo (Fig. 18). Los primeros reclutas se detectaron a partir del Junio 2011, con 0-1 reclutas por metro cuadrado por mes (m⁻² mes⁻¹). En los meses de primavera del mismo año, estos aumentaron entre 1-2 reclutas m⁻² mes⁻¹, lo que significó un reclutamiento acumulado de 3,08 reclutas m⁻². En los meses siguientes, el reclutamiento fue escaso excepto durante Mayo de 2012, donde reclutaron 2 ind. m⁻² en promedio. El reclutamiento acumulado hasta esa fecha fue de 14 reclutas m⁻² en el periodo mayo 2011 - febrero 2012 (fig. 18). Posteriormente, en los meses de noviembre – diciembre de 2012 se observó la aparición de nuevos reclutas, cuya aparición fluctuó entre 1 - 2 reclutas m⁻², hasta enero de 2013, donde no se registró aparición de reclutas. En el mes de muestreo de marzo 2013 se observó un evento reclutamiento menor (2 reclutas m⁻²), al que le siguió un nuevo evento de reclutamiento el mes de Mayo 2013, alrededor de 5 reclutas m⁻² (uno de los más altos dentro del periodo de evaluación). A la fecha, reclutaron cerca de 22 ind m⁻² en dos años de estudio.

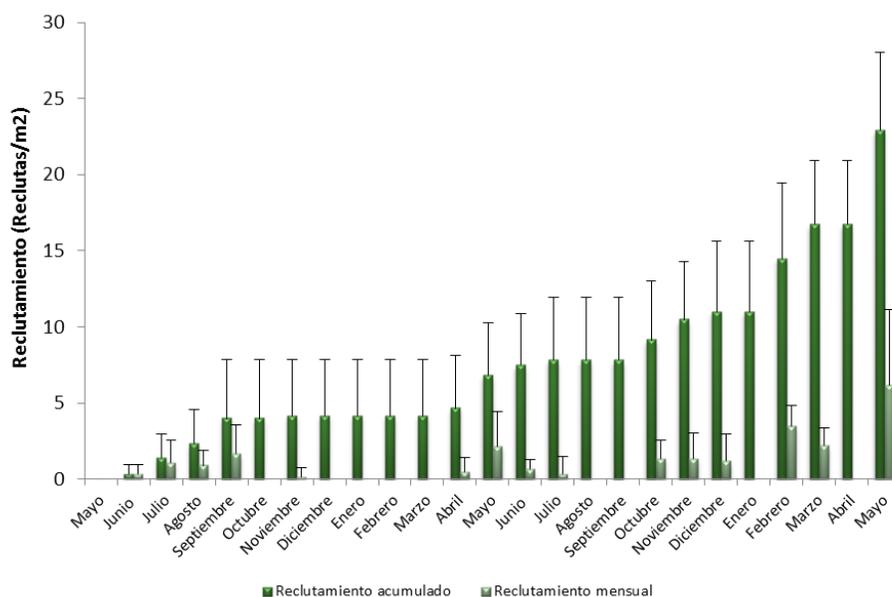


Fig. 18. Reclutamiento de *M. integrifolia* en Bahía Chasco, en un área sin intervenir

b. Crecimiento y fenología reproductiva

El crecimiento en la pradera de *Macrocystis integrifolia* de Bahía Chasco, y su tendencia estacional, es mostrado en la figura 19. En mayo del 2011 (otoño), se registraron los valores más bajos en talla, con valores de 72 cm de longitud. Hacia los meses estivales, estos valores se incrementaron significativamente, llegando a sobrepasar los 300 cm en promedio en el mes de diciembre 2011, cuando alcanzaron sus mayores tamaños. En enero, las tallas de *M. integrifolia* disminuyeron drásticamente un 50% de los valores alcanzados el mes de diciembre, y en febrero, otro 30%, donde los valores no excedieron los 100 cm de longitud. En el periodo marzo - noviembre del 2012 los individuos muestran un crecimiento sostenido en el transcurso de los meses superando, nuevamente, los 280 cm de longitud (noviembre 2012). Luego, las plantas comienzan a decrecer hacia los meses de otoño 2013, donde las longitudes no sobrepasan los 80 cm en mayo (fig. 19).

La fenología reproductiva (% individuos reproductivos) de *M. integrifolia* mostró una tendencia estacional con dos máximos en primer año (Fig. 19), con un aumento en invierno de 75% de individuos reproductivos en julio 2011 y otro en verano, con un 92% de los individuos reproductivos en febrero 2012. Posterior a esta fecha, la proporción de individuos reproductivos tiende a la baja hasta junio del 2012 donde alcanza su segundo valor más bajo dentro del periodo de estudio (40%). A partir de esa fecha los individuos reproductivos en la población comenzaron a aumentar, llegando por sobre el 90% hasta enero 2013, para luego experimentar una caída abrupta meses después, donde los individuos reproductivos no superaron el 35% en abril-mayo. De todas formas, esta población se encuentra reproductiva todo el año (fig. 19).

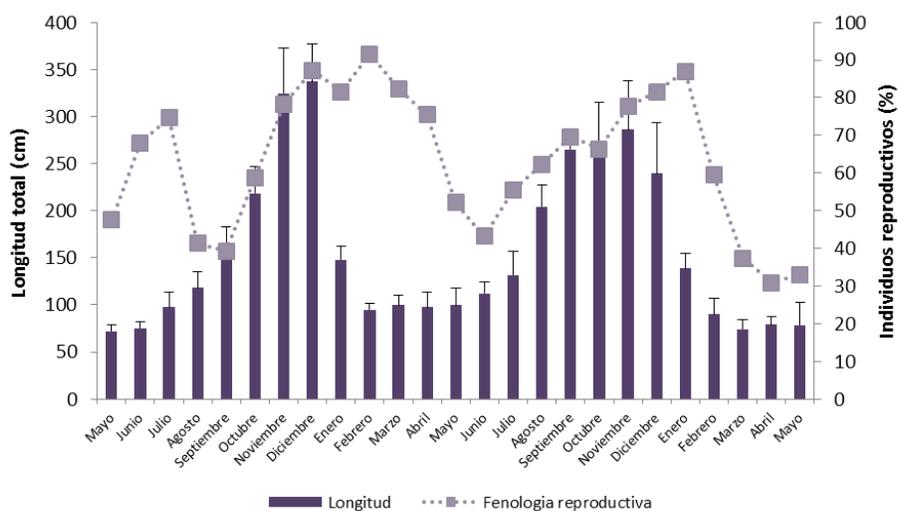


Fig. 19. Crecimiento y fenología de *M. integrifolia* en Bahía Chasco, en un área sin intervenir

c. Densidad de plantas

La densidad de plantas dentro de la pradera *M. integrifolia* en Bahía Chasco se muestra en la figura 20. Durante el mes de mayo de 2011 (comienzo del estudio), este indicador fue de 17 individuos m⁻² en promedio (fig. 20). Estos valores fueron los más altos para un área sin intervenir, pero hacen suponer que hubo una cosecha algunos meses anteriores a que nuestro grupo de investigación comience con los experimentos, lo que produjo una gran aparición de reclutas dentro del área de estudio. Estos altos valores sin embargo disminuyeron drásticamente al mes siguiente (junio 2011) a menos de 6 individuos m⁻² por efecto de las fuertes marejadas de la zona. A partir de ese mes se observó un incremento en la densidad de plantas hacia los meses de primavera (ca. 12 individuos m⁻² en septiembre 2011), valores que disminuyeron en los meses de verano y otoño temprano (ca. 5 individuos m⁻² en marzo y abril del 2012). En los meses de mayo y junio del 2012 se observó un incremento leve en los individuos reclutados de 7 a 8 individuos por m⁻², seguido por una baja leve entre Agosto y septiembre 2012, producto de marejadas y auto-raleo de plantas más grandes. En el mes de noviembre 2012 se observó un alza del 30% de la densidad de individuos debido a los reclutamientos, sin embargo acercándonos a enero disminuye nuevamente esta densidad a 4 individuos por m⁻². En el último muestreo de mayo 2013, la densidad de individuos aumenta dado los últimos reclutamientos en ese mismo mes, llegando a 14 ind m⁻² mes⁻¹ en el pasado mes de mayo (fig. 20).

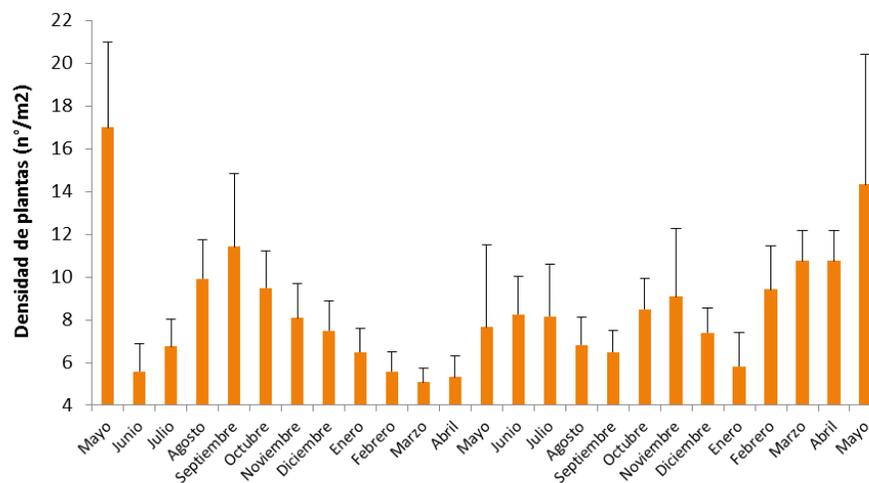


Fig. 20. Variación mensual de la densidad de plantas de un área sin intervenir.

4.3.2 Dinámica poblacional de *M. integrifolia* dentro áreas intervenidas en diferentes estaciones del año

La variación de variables poblaciones de reclutamiento acumulado (reclutas m-2), crecimiento (cm) y densidad (indiv m-2) en áreas intervenidas estacionalmente se muestran en las figuras 21 - 23. El reclutamiento fue positivamente afectado por las cosechas, donde se detectaron variaciones estacionales claras. Los mayores reclutamientos acumulados se obtuvieron después de las intervenciones en otoño e invierno, con valores sobre 30 y 60 reclutas m-2 respectivamente, mientras que las cosechas siguientes (primavera y verano) sólo alcanzaron 10 y 7 reclutas m-2 respectivamente en todo el periodo de estudio (fig. 21).

El crecimiento, además, también mostró marcadas diferencias estacionales. Los mayores crecimientos se obtuvieron en otoño, primavera y verano, con valores de 110 – 150 cm en 4 meses después de haber reclutado (fig. 22). Por otro lado, malos crecimientos se obtuvieron con la intervención en invierno, con plantas que constantemente se desprendían siendo muy jóvenes. Las tallas más altas fueron de 40 cm en promedio, también en el mismo periodo de tiempo.

La densidad de las plantas, también fueron altamente variables en este estudio. Siembras de otoño tuvieron lograron densidades entre 7,5 – 20 plantas m-2, las de invierno 2 – 33 plantas m-2 y las de primavera y verano entre 3 – 7,5 plantas m-2 (fig. 23). En general, las densidades sobre 10 plantas m-2 estuvieron asociadas a eventos de reclutamiento, las que a medida que las plantas creciendo iban disminuyendo gradualmente por competencia intra-específica de luz y sustrato.

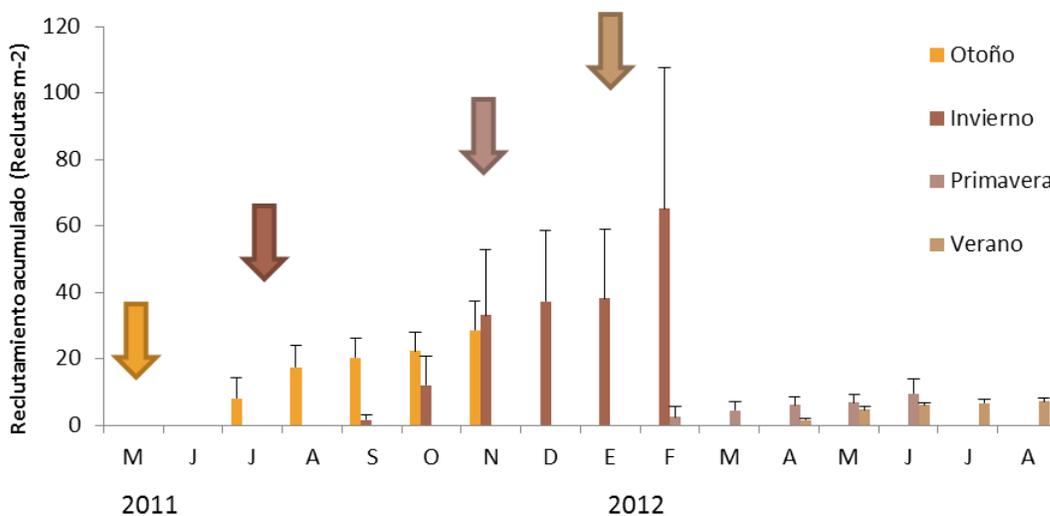


Fig. 21. Variación mensual del reclutamiento de *M. integrifolia* acumulado en áreas intervenidas estacionalmente. Las flechas indican el periodo de intervención.

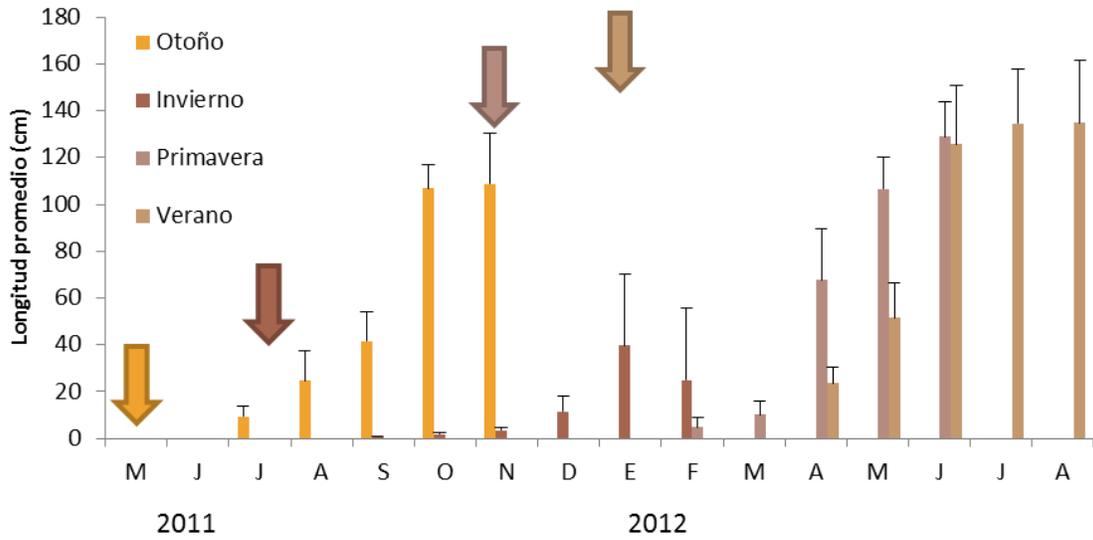


Fig. 22. Variación mensual del crecimiento de *M. integrifolia* en áreas intervenidas estacionalmente. Las flechas indican el periodo de intervención.

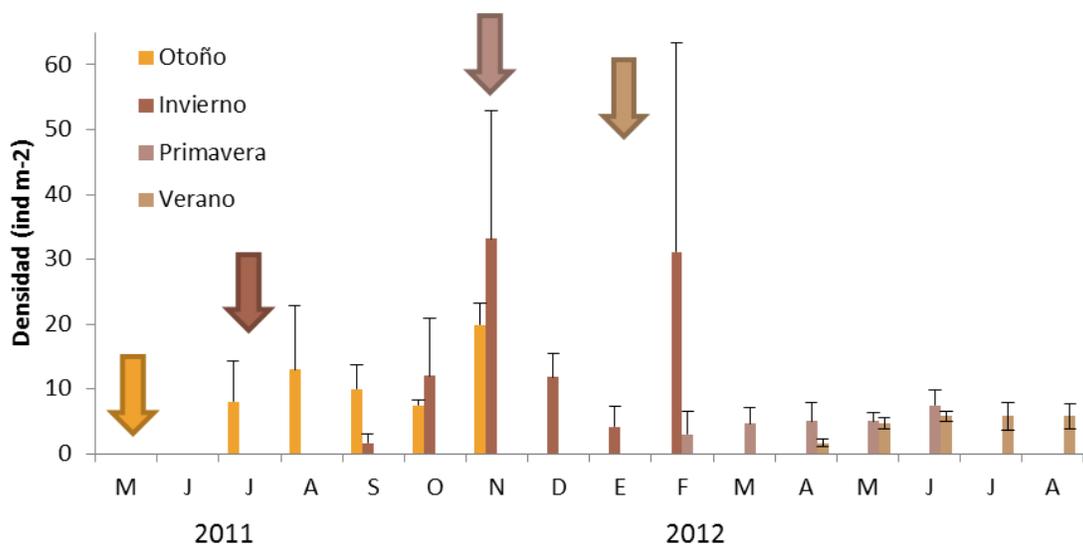


Fig. 23. Variación mensual de la densidad de *M. integrifolia* en áreas intervenidas estacionalmente. Las flechas indican el periodo de intervención.

4.4 Pruebas de manejo en Bahía Chasco

4.4.1 Manejo de *M. integrifolia* de Bahía Chasco a través de rotación de áreas

La tabla 5 muestra las cosechas realizadas entre los meses de octubre 2012 – Mayo 2013. Los resultados fueron similares a los obtenidos en la fase I de este proyecto, los que se hicieron a una menor escala. El valor mas altos se obtuvo en primavera (45, 75 ton ha⁻¹), el que disminuyó sustancialmente hacia los meses de verano y otoño a 2 y 6 ton ha⁻¹ respectivamente.

Tabla 5. Resumen de biomasa cosechada y horas hombre (hh) utilizadas a partir del mes de octubre de 2012, dentro de las areas parceladas

		Biomasa (ton area-1)		HH utilizadas				Biomasa (ton area-1)		HH utilizadas	
Octubre 12	Área 1	14	41	Febrero 13	Área 1	Descanso	0	total /ha	0	0	
	Área 2	14,75	44		Área 2	Descanso	0				
	Área 3	5	17		Área 3	Descanso	0				
	Área 4	12	36		Área 4	0,75*	10*				
	total /ha	45,75	138		total /ha	0	0				
		Biomasa (ton area-1)		HH utilizadas				Biomasa (ton area-1)		HH utilizadas	
Noviembre 12	Área 1	6,85	21	Marzo 13	Área 1	6	16	total /ha	0	16	
	Área 2	3,5	11		Área 2	Descanso	0				
	Área 3	7	21		Área 3	Descanso	0				
	Área 4	5	14		Área 4	Descanso	0				
	total /ha	22,35	67		total /ha	0	16				
		Biomasa (ton area-1)		HH utilizadas				Biomasa (ton area-1)		HH utilizadas	
Diciembre 12	Área 1	Descanso	0	Abril 13	Área 1	Descanso	0	total /ha	6	12	
	Área 2	6.85	21		Área 2	6	12				
	Área 3	Descanso	0		Área 3	Descanso	0				
	Área 4	Descanso	0		Área 4	Descanso	0				
	total /ha	0	0		total /ha	6	12				
		Biomasa (ton area-1)		HH utilizadas				Biomasa (ton area-1)		HH utilizadas	
Enero 13	Área 1	Descanso	0	Mayo 13	Área 1	Descanso	0	total /ha	2	10	
	Área 2	Descanso	0		Área 2	Descanso	0				
	Área 3	6	16		Área 3	Descanso	0				
	Área 4	Descanso	0		Área 4	2	10				
	total /ha	6	16		total /ha	2	10				

*valores referencial del area, que fue cosechada solo en una pequeña seccion dado su baja tallas

La figura 24 muestra, de acuerdo a estos resultados, el standing crop (o biomasa cosechable) de y su variación mensual dentro de las áreas delimitadas, mientras que la figura 25 muestra el área que debería ser cosechada para producir 40 ton diaria en cada mes, en base a este standing crop. La biomasa cosechable, al igual que en experiencias anteriores, tuvo una fuerte disminución hacia los meses de verano y otoño temprano, con valores que disminuyeron desde 4,5 a 0,3 kg m⁻² en febrero. Bajo estos indicadores, las áreas necesarias para lograr las biomásas requeridas para Bahía Chasco (ca. 40 ton diaria) son inversamente proporcionales, con valores de 30 - 50 ha mes⁻¹.

En febrero y mayo, fechas cuando el standing crop es de 0,5 y 0,8 kg m⁻² (fig. 24), el area requerida sobrepasaria las 400 y 150 ha respectivaente (fig. 25). En estas situaciones de baja productividad se sugiere dejar descansar las areas, probablemente por varios meses en algunos casos.

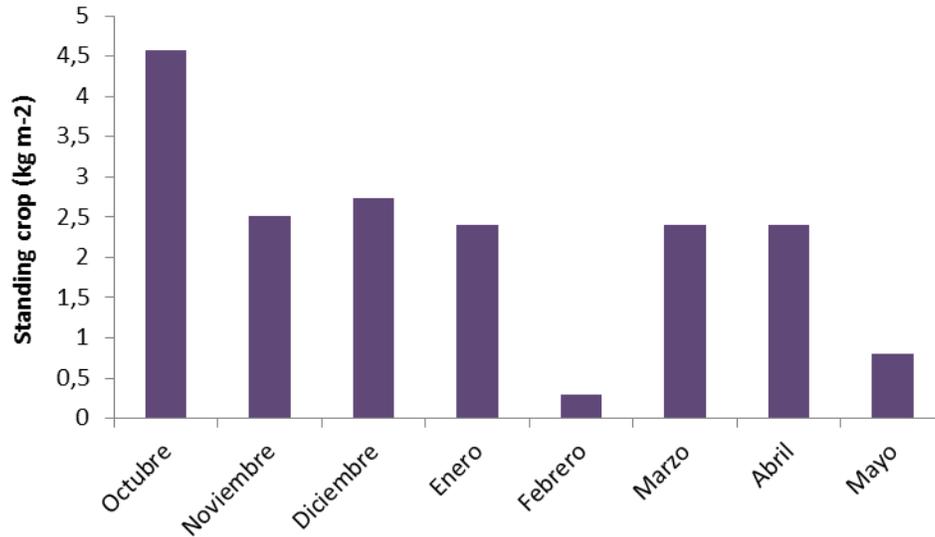


Fig. 24. Biomasa cosechable (standing crop) de las areas marcadas dentro de la pradera natural.

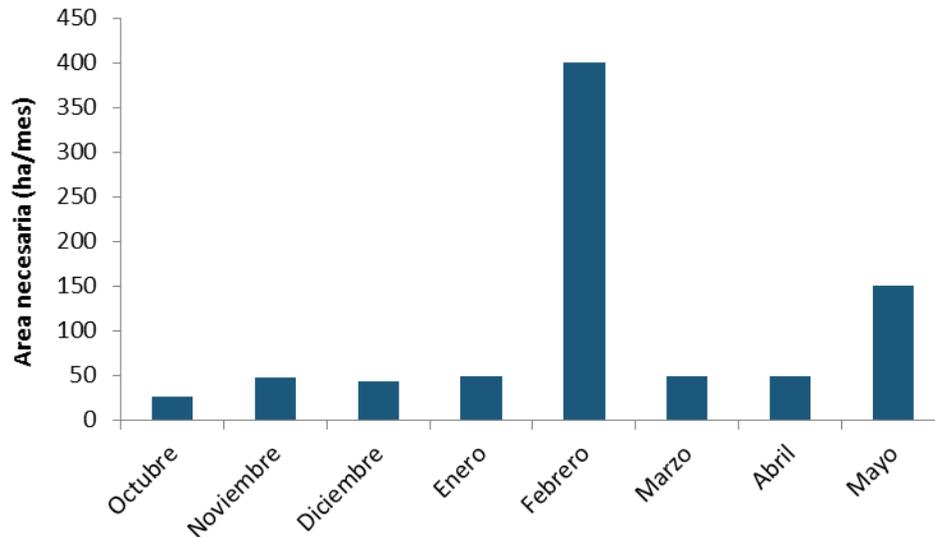


Fig. 25. Area necesaria (ha/mes) para obtener biomosas de 40 ton dia-1 (1200 ha mes-1)

La tasas de cosecha de los pescadores de Bahia Chasco se muestran en las figuras 26 y 27. Este indicador estuvo potentemente correlacionado con el mes del año en que se realizó,

disminuyendo gradualmente a medida que la primavera terminaba y comienzan las estaciones siguientes (fig. 26). Los valores oscilaron entre 200 y 360 kg hr-1, aunque excepcionalmente en febrero el area correspondiente logro baja productividades, por lo que la tasa de cosecha fue mucho menor (75 kg hr-1).

La razon de esta disminucion se debe al standing crop (o biomasa cosechable), el que vario con la misma tendencia esperada para la pradera de Bahia Chasco, altos valores en primavera los que disminuyeron hacia verano y otoño (fig. 27). Por la misma razón, ambas variables (tasa de cosecha y standing crop) se correlacionaron positivamente.

Con esta información, en conjunto con la información de las variables poblaciones después de diferentes frecuencias de cosechas (obtenidos en la fase 1 de este proyecto, ver tabla 6), se construyó un Cronograma de manejo para Bahía Chasco basado en la rotación de áreas de extracción.

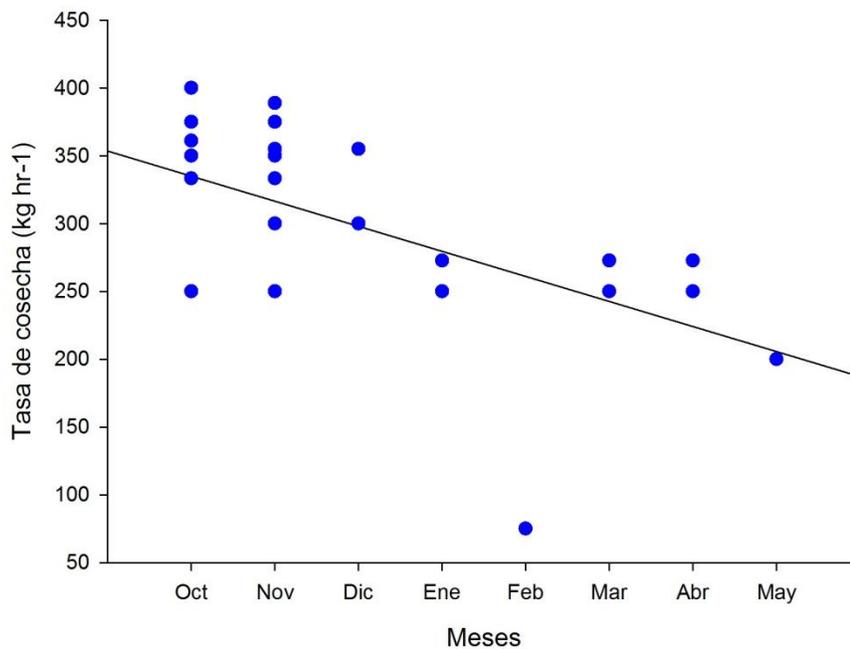


Fig. 26. Tasa de cosecha de los pescadores de Bahía Chasco, y su variación mensual.

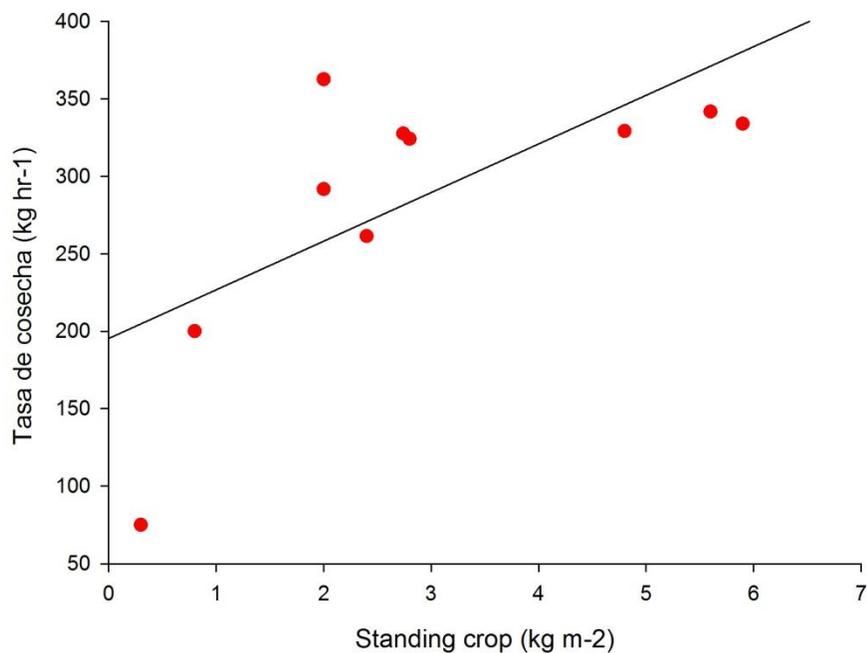


Fig. 27. Relación entre la tasa de cosecha de pescadores de Bahía Chasco con el standing crop (biomasa cosechable).

Tabla 6. Variación del standing crop (kg -2) mediante diferente frecuencias de cosecha (Resultados del proyecto en su fase I)

	Mensual	Bimensual	Trimestral	Cuatrimestral	Cada cinco meses	Semestral
Junio	0,41					
Julio	0,69	1,9				
Agosto	0,86	-	3,3			
Septiembre	4	6,57	-	5,52		
Octubre	6,69	-	-	-	10,52	
Noviembre	2,97	7,7	9,68	-	-	10,81
Diciembre	2,35	-	-	-	-	-
Enero	2,79	5,46	-	6,65	-	-
Febrero	1,94	-	5,8	-	-	-
Marzo	1,37	2,64	-	-	3,67	-
Abril	1,47	-	-	-	-	-
Mayo	2,05	2,8	4,2	3,4	-	4,6
Junio	2,35					
TOTAL	29,94	27,07	22,98	15,57	14,19	15,41

4.4.2 Cronograma de manejo del recurso *M. integrifolia* para Bahía Chasco

La productividad de *M. integrifolia* en Bahía Chasco, así como su dinámica poblacional, han mostrado ser altamente variables en los estudios realizados (interanual y espacialmente), incluso cuando se observaron tendencias estacionales marcadas. Asimismo, según los propios pescadores artesanales de esta localidad, el nivel de extracción también es variable (lo que también afecta la productividad de esta población natural), con un alto nivel de inserción de nuevos pescadores al sistema. Por lo tanto, y a la luz de los resultados obtenidos, el diseño de un cronograma de manejo y subsecuente plan de manejo debiese ser también elástico, y que le permita adaptarse a estos cambios constantes en la productividad de *M. integrifolia*.

En consecuencia, se diseñó un cronograma de manejo basado en las productividades frecuencia de cosechas (resultados de la fase 1 de este proyecto) y la rotación de áreas (esta fase) a un año, y que debiese modificarse año tras año. Para ello, se debiesen realizar las siguientes actividades.

Actividades

a. Dimensionamiento de las áreas de cosecha.

Este procedimiento se debe realizar en base a la siguiente fórmula:

$$Area (m^2) = \frac{Biomasa\ requerida\ (ton)}{Standing\ crop\ (\frac{ton}{m^2})}, \text{ donde}$$

Biomasa requerida: corresponde a la biomasa que se demanda en un periodo de tiempo. Esta biomasa se calcula multiplicando la cantidad de pescadores presentes en el sistema por la biomasa que cada uno debe sacar en un tiempo determinado (día, quincena o mes). En términos prácticos, esta biomasa debiese estar en biomasa mes⁻¹ (las 40 ton día que diariamente se extraen de Chasco serían 1200 ton mes⁻¹), ya que es en esta frecuencia de cosecha en la que mayormente está basada la rotación de áreas.

Standing crop: también llamada biomasa cosechable, corresponde la biomasa factible de cosechada en cada mes una determinada área. Esta se calcula a través de:

Muestreo directo: se cosechan aleatoriamente aproximadamente unos 30 m² representativos de la pradera natural, a través de la metodología más común de cosecha que estén empleando los pescadores, y se establece la relación entre biomasa y área cosechada.

Cabe destacar que este dimensionamiento debe ser calculado mes a mes, hasta obtener un total de entre 3 – 4 áreas marcadas (ya que según nuestros estudios la pradera tendría una tasa de

recuperación que oscilaría en 30 días en primavera temprana y varios meses en verano, otoño e invierno).

b. Método de cosecha

El método de cosecha empleado debe ser el que actualmente utilizan los pescadores de Bahía Chasco, es decir, un raleo de plantas viejas y débiles. Con las plantas jóvenes ocurre la misma actividad de raleo, a veces sin embargo se produce un corte natural de estas plantas por las fuerzas que ejerce el pescador en el raleo. Bajo este sistema se produce un efecto de renovación constante de la pradera y un crecimiento sostenido el tiempo, probablemente debido al incentivo del reclutamiento y de la propagación vegetativa de las plantas a través del disco de fijación.

c. Frecuencia de cosechas y rotación

Tanto la frecuencia de cosecha en cada área y la rotación de las mismas se ira determinado mes a mes de acuerdo a los muestreos de standing crop (biomasa cosechable) en cada área. De acuerdo a nuestros estudios, la frecuencia de cosecha debiese ser cada 3 meses, lo que haría necesaria al menos 3 áreas para cosechar. Excepcionalmente, se pudiese necesitar una cuarta área en épocas donde la recuperación sea baja en la pradera (por ejemplo invierno).

d. Ejemplo

A continuación, la siguiente tabla (tabla 7) resume como se debería comportar una sección de la pradera de Bahía Chasco. Los standing crop fueron calculados acorde a los resultados contenidos en este proyecto y a la fase I del mismo, pero en el caso de los pescadores artesanales esta información de biomasa debiese ser tomada desde la pradera natural por ellos mismos. Esto es una extrapolación de los datos obtenidos de la fase I (tabla 6) y de la fase 2 (tabla 5).

Establecer un cronograma de manejo en Bahía Chasco a través de rotación de áreas bajo el siguiente contexto:

- Se requieren cosechar 40 ton diarias (1200 ton mes- en un mes de referencia de 30 días)
- Se desea comenzar con las cosechas el mes de Octubre
- Se determinó un standing crop inicial (biomasa cosechable) de un promedio de 6,69 kg m⁻² (0,669 ton ha⁻¹) en el mes de octubre, de 7,68 kg m⁻² en noviembre, de 6,18 kg m⁻² en diciembre y de 5,8 kg m⁻² en enero.

Tabla 7. Resumen de un comportamiento simulado de las cosechas en Bahía Chasco, basado en los resultados productivos obtenidos dentro del proyecto (fase I y II), de una pradera manejada con rotación de áreas. En amarillo el standing crop.

	Área 1	Area 2	Area 3	Area 4
Biomasa requerida (ton mes)	1200			
Standing crop (kg m-2)	6,69	7,68	6,18	5,8
Extensión área (ha)	17,93721973	15,625	19,41747573	20,68965517
Pescadores artesanales (n°)	20			
Octubre				
Standing crop (kg m-2)	6,69	-	-	-
Standing crop total (ton area-1)	1200	-	-	-
Observación	Cosechar	-	-	-
Noviembre				
Standing crop (kg m-2)	2,97	7,68	-	-
Standing crop total (ton area-1)	532,735426	1200	-	-
Observación	Descanso	Cosechar	-	-
Diciembre				
Standing crop (kg m-2)	5,26	2,35	6,18	-
Standing crop total (ton area-1)	943,4977578	367,1875	1200	-
Observación	Descanso	Descanso	Cosechar	-
Enero				
Standing crop (kg m-2)	8,11	5,14	1,94	-
Standing crop total (ton area-1)	1454,70852	803,125	376,6990291	-
Observación	Cosecha	Descanso	Descanso	-
Febrero				
Standing crop (kg m-2)	1,94	5,4	2,79	5,8
Standing crop total (ton area-1)	347,9820628	843,75	541,7475728	1200
Observación	Descanso	Descanso	Descanso	Cosecha
Marzo				
Standing crop (kg m-2)	3,31	8,15	5,65	1,37
Standing crop total (ton area-1)	593,7219731	1273,4375	1097,087379	283,4482759
Observación	Descanso	Cosecha	Descanso	Descanso
Abril				
Standing crop (kg m-2)	4,78	1,47	7,12	2,84
Standing crop total (ton area-1)	857,3991031	229,6875	1382,524272	587,5862069
Observación	Descanso	Descanso	Cosecha	Descanso
Mayo				
Standing crop (kg m-2)	6,83	3,27	2,05	3,4
Standing crop total (ton area-1)	1225,112108	510,9375	398,0582524	703,4482759
Observación	Cosecha	Descanso	Descanso	Descanso

4.5 Composición química de *M. integrifolia* de Bahía Chasco

4.5.1 Composición proximal de *M. integrifolia*

Las figuras 28 - 31 muestran la composición proximal de *M. integrifolia* en Bahía Chasco, y su variación estacional. Los valores de energía no mostraron grandes diferencias ni temporales ni entre las diferentes partes del talo, excepto para el disco de fijación donde los valores más bajos fueron detectados en otoño (<150 kcal/100gr de alga seca). El resto de los órganos varió levemente en torno a las 200 kcal/100gr de alga seca (Fig. 28). De igual forma, los niveles de ceniza fueron constantes en el tiempo, y en las tres secciones del talo evaluadas variaron de forma similar entre 30 – 50% (Fig. 29). La composición proteica mostró una tendencia con valores más altos en el disco de fijación (13.2%) (Fig. 30). Sin embargo, a diferencia de otras especies de Laminariales chilenas los valores fueron más bajos, y no se detectaron tendencias estacionales marcadas con valores que no superaron el 30% de variación a lo largo del año. Los lípidos, en cambio, mostraron diferencias entre las partes del talo y a nivel estacional. Los valores en fronda fluctuaron entre 2.5 y 3% (Fig. 31), valores significativamente más altos que los de disco de fijación y cauloide, e incluso mucho mayores que valores en frondas encontradas para *Macrocystis* de otras latitudes de Chile (Westermeyer et al. 2012).

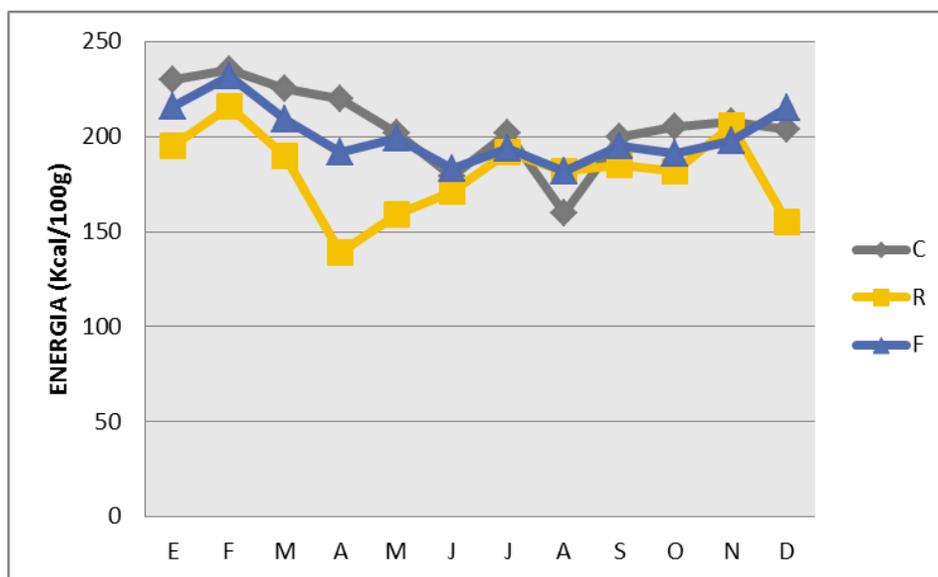


Fig. 28. Variación mensual de los contenidos de energía (Kcal/100 g) presentes en las diferentes partes del talo en *M. integrifolia*. R: rizoide (disco de fijación); C: cauloide (estipes), F: filoide (frondas).

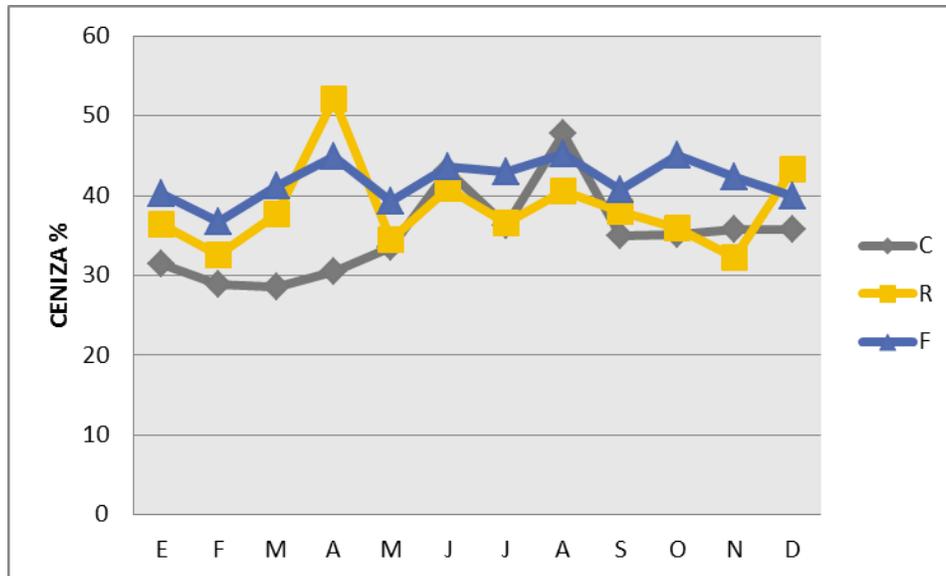


Fig. 29. Variación mensual de cenizas (% DW) presentes en las diferentes partes del talo en *M. integrifolia*. R: rizoide (disco de fijación); C: cauloide (estipes), F: filoide (frondas).

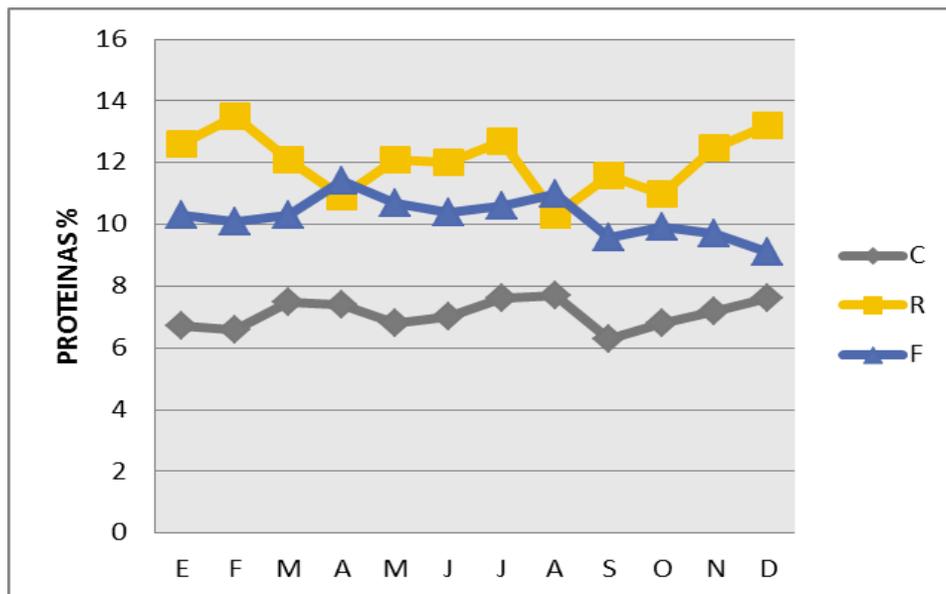


Fig. 30. Variación mensual del porcentaje de proteínas (% DW) presentes en las diferentes partes del talo en *M. integrifolia*. R: rizoide (disco de fijación); C: cauloide (estipes), F: filoide (frondas).

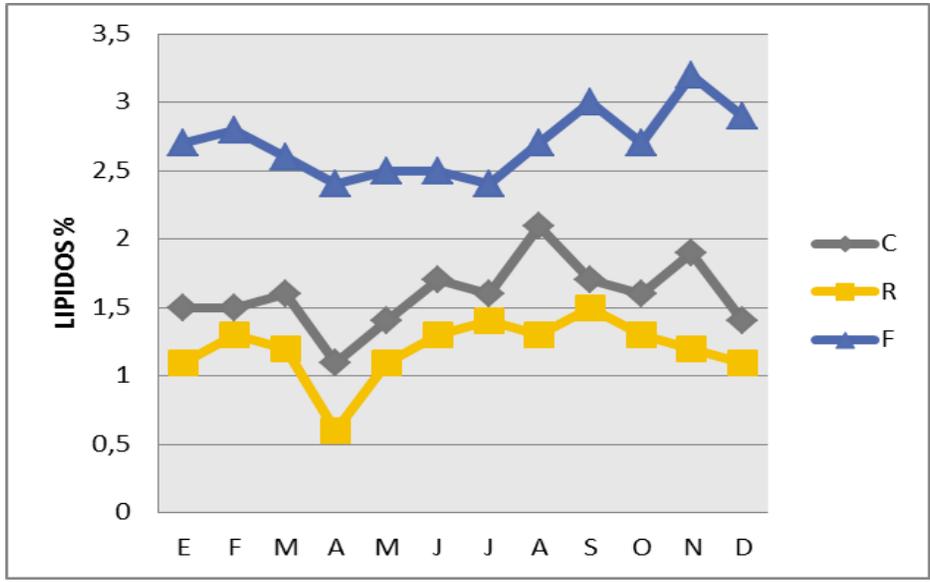


Fig. 31. Variación mensual del porcentaje de lípidos (% DW) presentes en las diferentes partes del talo en *M. integrifolia*. R: rizoide (disco de fijación); C: cauloide (estipes), F: filoide (frondas).

4.5.2 Composición aminoacídica y de ácidos grasos de *M. integrifolia*

La tabla 8 y 9 muestra la composición de aminoácidos y de ácidos grasos en *M. integrifolia* de Bahía Chasco, y su variación estacional. Mediante el método descrito por AOAC (1995) fue posible detectar 17 aminoácidos en *M. integrifolia*. Los aminoácidos Acido glutámico y Alanina, fueron los más abundantes, alcanzando entre 888 – 820 mg/100g, aunque la Lisina y el Alanina en la fronda alcanzaron valores interesantes de 902, y 820 mg/100g respectivamente (Tabla 8). Los niveles de los aminoácidos restantes permanecieron constantes entre las diferentes secciones del talo analizadas, aunque una tendencia muestra que la mayor proporción de estos están distribuidos en los discos de fijación y luego las frondas.

Los aminoácidos arginina, cisteína e Histidina fueron los de menor presencia, con valores que no superaron los 260. Cisteína no fue detectada en secciones del talo como el cauloides en algunas estaciones del año.

Tabla 8. Variación estacional de la composición aminoacídica (mg en 100 gr. de alga seca) de *M. integrifolia* de Bahía Chasco, en tres órganos de la planta.

Nombre	Código	VERANO			OTOÑO			INVIERNO			VERANO		
		Estipe	Disco	Fronda	Estipe	Disco	Fronda	Estipe	Disco	Fronda	Estipe	Disco	Fronda
Ácido aspártico	ap	339	283	293	261,6	196,2	350,5	337	305	435	282	106	488
ácido glutámico	glu	496	378	656	464,6	248,7	834,5	549	470	806	502	154	888
Serina	ser	234	395	233	218,7	225,2	290	233	425	282	217	141	312
Glicina	gly	211	378	292	214,2	285,8	358,3	225	391	359	203	207	362
Histidina	his	56	110	83	49,6	77,8	93,6	63	114	94	56	56	105
Arginina	arg	117	232	200	90,3	150,1	213,8	111	261	223	125	134	268
Treonina	thy	227	317	205	209,8	155	246,9	220	378	238	202	123	267
Alanina	ala	313	436	488	337,9	268,9	619,6	450	626	820	429	299	684
Prolina	pro	224	462	236	252,9	372,3	365,8	227	461	340	217	172	355
Tirosina	tyr	151	250	147	135,5	193	160,1	133	285	142	132	124	163
Valina	val	273	412	329	257,7	253	398,6	278	468	446	254	221	497
Metionina	met	46	63	396	120,3	305,5	480,7	335	92	101	307	36	598
Cisteína	cys	0	77	0	0	9,3	40,2	56	17	36	30	0	20
Isoleucina	lleu	159	248	238	147,7	176,1	307,2	172	290	291	148	144	314
Leucina	leu	299	391	390	288,2	231,2	514,1	301	477	613	277	216	654
Fenilalanina	phe	222	261	272	204,1	159,5	328,6	222	338	324	203	149	356
Lisina	lys	379	902	321	395,9	399,9	360,3	265	583	375	384	355	431

En total se reconocieron 14 ácidos grasos por el método descrito en AOAC (1995). En general, estas distintas secciones mostraron altas cantidades de ácidos grasos saturados (SFA), especialmente ácidos Palmítico y Oleico, los cuales excedieron el 34 % de la fracción lipídica (tabla 9). Ácidos grasos Erucico, Pentadecanoico y Meristoleico estuvieron en bajas concentraciones (< 0,7%) o inclusive no fueron detectados en algunas secciones del talo. Por otro lado, los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) fueron menos abundantes. Los ácidos grasos monoinsaturados presentaron valores altos en rizoide y en fronda (39% y 48%), y bajos en estipes (37%).

Tabla 9. Variación estacional de la composición de ácidos grasos (% de esteres metílicos) de *M. integrifolia* de Bahía Chasco, en tres órganos de la planta.

Nombre	Codigo	VERANO			OTOÑO			INVIERNO			VERANO		
		Estipe	Disco	Fronda	Estipe	Disco	Fronda	Estipe	Disco	Fronda	Estipe	Disco	Fronda
Laurico	C12:0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4
Mirístico	C14:0	9,9	11,5	8,8	11,7	12,3	10,8	10,2	10,1	10,7	12,3	9,3	10,2
Meristoleico	C14:1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
Pentadecanoico	C15:0	0	0	0,3	0	0	0,4	0	0	0,5	0	0	0,4
Palmitico	C16:0	22	20,9	23,7	22,3	21,8	28,7	20,3	28,3	34,1	18	19,7	25,7
Palmitoleico	C16:1	1,5	3,5	1,1	1,5	3,2	1,5	1,4	2,3	1	1,3	2,5	3,3
Heptadecanoico	C17:0	0	2	0,4	0	1,9	0	0,6	0	0	0,5	1,3	0
Estearico	C17:1	2,2	3,1	0,8	2	3,3	1,3	1,9	1,5	2,9	2	3,5	1,3
Oleico	C18:0	29,6	28,8	16,9	31,9	29,2	23	28,8	22,4	20,1	29	28,7	16,7
Linoleico	C18:2	4,1	4,8	7,1	5,3	5,4	8,2	4,6	6,8	5,4	4,6	6,5	6,1
Linolenico	C18:3	5,1	3,3	10	5,3	2,9	7,5	4,1	6,2	7,1	4,4	2,6	9,1
Erucico	C22:1	0	0	0	0	1,3	0	0,6	0	0	0	1,6	
Homogamma linoleico	C20:3	21	17,1	20,7	16,1	15,1	13,3	22	15,9	11,7	22,5	19,4	16,6
Nervónico	C24:1	5,6	5	10,2	4,1	3,7	5,2	5,4	6,7	6,6	5,4	4,9	10,1
Saturados	SFAs	34,2	37,5	34	35,9	39,2	41,3	33,1	39,9	48,1	32,8	33,8	39
Monoinsaturados	MUFAs	35,6	37,4	28,1	37,4	37,5	29,7	36,2	31,3	27,7	35,7	37,7	30,6
Poliinsaturados	PUFAs	30,2	25,1	37,9	26,6	23,3	29,1	30,7	28,8	24,2	31,5	28,5	31,8

4.5.3 Composición de azúcares de *M. integrifolia*

La variación estacional de la composición de alginatos, laminarano y manitol de *M. integrifolia* colectada en Bahía Chasco son ilustradas en la tabla 10. El alginato de sodio fluctuó entre 12,9 – 19,1%, con los mayores valores en épocas frías. El laminarano y el manitol, dos azúcares ampliamente utilizados como energía inmediata en momentos de estrés, mostró tendencias con bastantes fluctuaciones, variando entre 0,3 – 7,4% y 2,8 – 9,1 respectivamente (tabla 10). Los carbohidratos solubles variaron fuertemente a nivel estacional, y los valores más altos fueron encontrados los cauloides en verano (5.5%) (Tabla 10).

Tabla 10. Variación de azúcares (polisacáridos) de *M. integrifolia* de Bahía Chasco en tres órganos de la planta

Tipo de polisacárido	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Alginato de sodio (%)	17,5	19,1	12,9	13,1
Laminarano (%)	7,4	1	0,3	0,3
Manitol (%)	7	2,8	9,1	3,6
Carbohidratos solubles (%)	2,5	2,8	3,9	2,7

4.6 Actividades de difusión de resultados

Actividad: Presentación del proyecto al Gobierno Regional de Atacama

Se realizó la presentación del proyecto y sus objetivos a representantes del Gobierno Regional de Atacama, el día jueves 12 de abril de 2012 (foto 12).



Foto. 12. El Director de proyecto, Dr. Renato Westermeier H., presentando la iniciativa "Replamamiento de *Macrocystis integrifolia* en la region de Atacama. Fase II" al Gobierno Regional de Atacama

Actividad: Ceremonia de finalización del proyecto FIC “Replamiento de *Macrocystis integrifolia* en la Región de Atacama”, y lanzamiento de su continuidad (Fase II).

El seminario de inauguración del proyecto fue realizado el día 15 de Mayo del 2012, y contó con la presencia de representantes del Gobierno Regional, de los sindicatos de pescadores artesanales y de empresas relacionadas con el recurso huiro (tabla 11). En este seminario se dieron a conocer los principales resultados del proyecto y los objetivos de la segunda etapa (fotos 13, 14 y 15).

Tabla 11. Listado de participantes de la ceremonia de finalización del proyecto “Replamiento de *Macrocystis integrifolia* en la Región de Atacama”, y el lanzamiento de su Fase II

Asistente	Institución	Asistente	Institución
1 María Soledad Lingüa	Ministerio de Hacienda	21 Leonilda Conotea	STI Pajonales
2 Rodrigo Villavicencio	Gobernación Chañaral	22 Víctor Valencia	STI Pajonales
3 Nibaldo Guaita	Gobierno Regional Atacama	23 Carmen Peuquen	Sicapul
4 Sofía Cid	Seremi de Economía	24 George Rohdis	STI N°2 Puerto Viejo
5 Paulina Veliz	Gobierno Regional Atacama	25 Jovino Contreras	STI Chasco
6 Néstor Lloyd	Servicio Nacional de Pesca	26 Claudio Soza	STI Chasco
7 José Abarca	Carabineros de Chile	27 Jorge Grenett	Federación Pescadores Chañaral
8 Carlos Cabrera	Hidrocultivos S.A.	28 Tomas Freres	STI Algueros Chañaral
9 Paulina Ramos	Hidrocultivos S.A.	29 Ricardo Araya	Sitimar Chasco
10 Eric Canto	Hidrocultivos S.A.	30 Luis Palacios	STI Mariscadores Punta Frodden
11 Patricia Echeverría	Camanchaca S.A.	31 Ondina Arancibia	STI Sical
12 Luis Morales	Camanchaca S.A.	32 Jorge Valenzuela	STI Sical
13 Cristóbal Thompson	Cultivos Marinos San Cristóbal S.A.	33 Marcia Cortes	STI Chasco
14 Sergio Ubillo	Cultivos Marinos San Cristóbal S.A.	34 Oscar Mora	Universidad de Los Lagos
15 Rafael Thomas	Cultivos Marinos San Cristóbal S.A.	35 Dieter Konow	Universidad de Los Lagos
16 Rene Salinas	Camanchaca S.A.	36 Evelyn Araya	Servicio Nacional de Pesca
17 Ximena Bravo	ASIPEC	37 José Andaur	Servicio Agrícola Ganadero
18 Víctor Cortés	STI Barranquilla	38 Vivian Sotomayor	Carabineros de Chile
19 Oscar Lenz	SIBUCAL	39 Mauricio Leiva	Carabineros de Chile
20 José Astudillo	STI Artesanos del Mar	40 Marco Hernández	Carabineros de Chile



Foto 13. El director del proyecto, Dr. Renato Westermeier, introduce a los asistentes al proyecto FIC “Replamiento de *Macrocystis integrifolia* en la Región de Atacama”



Foto 14. Representantes del Gobierno Regional de la III Región de Atacama



Foto 15. Representantes de la pesca artesanal de la III Región de Atacama

Actividad: Taller informativo para pescadores de Bahía Chasco

Se realizó un taller con los pescadores artesanales de Bahía Chasco el mes de agosto del 2012 donde se expusieron los principales resultados del proyecto de repoblamiento recién finalizado, y se analizaron diferentes propuestas de manejo a nivel piloto en Bahía Chasco. Se acordó para el próximo mes de Septiembre comenzar con esta experiencia, que tendrá una participación activa de los pescadores de Bahía Chasco (foto 16).



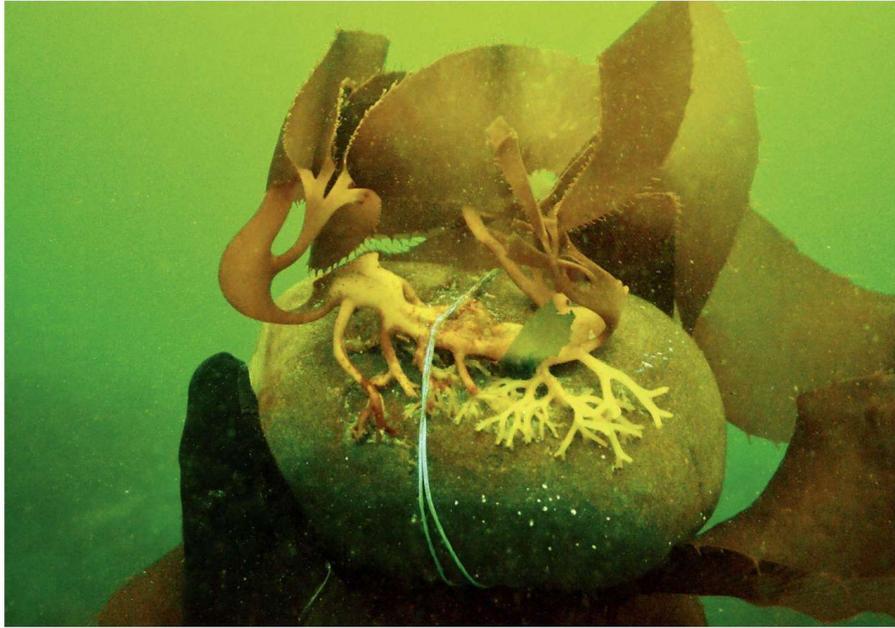
Foto 16. Taller informativo: “Propuesta de parcelación y rotación de áreas como alternativa de manejo de huero «*Macrocystis integrifolia*» en Bahía Chasco”. Dr. Westermeier planificando con pescadores de Bahía Chasco actividades que contempla el proyecto en su segunda fase.

Actividad: notas de prensa

En el mes de octubre se publicó en el **Diario Regional Atacama** para la difusión del proyecto y del manual de cultivo recién publicado.

36 | Reportaje

domingo | EL DIARIO DE ATACAMA | Domingo 28 de octubre de 2012



LAS ALGAS PARDAS PUEDE LLEGAR A CRECER HASTA LOS 2 METROS.

Algas pardas están **repoblando** la costa de Atacama

La Universidad Austral de Chile (UACh) sede Puerto Montt, lidera una serie de proyectos de repoblamiento de esta especie en la región, las que ya cuentan con financiamiento gubernamental, del Fondef perteneciente al Conicyt y empresas.

Redacción
reportajes@diarioatacama.cl

Hace más de 10 años que la Universidad Austral de Chile (Sede Puerto Montt), y específicamente el Laboratorio de algas de dicha casa de estudios, marcan presencia en la Región de Atacama. Dicha presencia comenzó con visitas esporádicas a centros de cultivo de abalón, cuyos gerentes atentos a los resultados mostrados en proyectos de cultivo en algas pardas dirigidos por el Dr. Renato Westermeyer, deseaban implementar dichas tecnologías de cultivo. Al menos en tres empresas ubicadas en Caldera, se ha replicado esta tecnología, desarrollada en esta Universidad del sur de Chile. La credibilidad mostrada permitió perdurar en la región con fondos nacionales y regionales. Así es como hasta la fecha son 5 los proyectos desarrollados con fondos de FONDEF de CONICYT, de Empresas de la Región y de los FIC del Gobierno Regional de Atacama, los que implican estudios desde acuicultura, biología, ecología y por su-

puesto repoblamiento de algas. Actualmente, son dos iniciativas que la Universidad Austral de Chile desarrolla en el contexto de repoblamiento de algas pardas en la región de Atacama, ambos liderados por el Dr. Renato Westermeyer H, y financiados por convocatorias FIC del año 2011 del Gobierno Regional de Atacama. El primero, y que corresponde a un proyecto de continuidad, se denomina "Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la Región de Atacama: Fase II", proyecto desarrollado en Bahía Chasco, y cuyos principales objetivos corresponden escalar a mayores dimensiones los excelentes resultados en manejo y repoblamiento de huirón obtenidos en la experiencia anterior con este recurso. Basándose también en dichos resultados en repoblamiento, nace la idea de repoblar con algas de interés comercial los alrededores de Bahía Chañaral, un área fuertemente afectada por relaves mineros en el pasado a través de la iniciativa "Uso de Algas pardas de cultivo para la bioremediación del ambiente costero en la Bahía de Chañaral", es-

te último con algas *Lessonia nigrescens* (chascón, huirón negro) y *Macrocystis integrifolia* (huirón norte, canutillo).

REPOBLAMIENTO

Según el propio Westermeyer "los estudios en el primer proyecto de repoblamiento (fase I) desarrollados en Bahía Chasco nos permitieron sentar las bases técnicas y biológicas para el repoblamiento del huirón norte a través de diferentes tecnologías para incrementar el reclutamiento y la fijación de esporofitos, que corresponde a la planta macrosfópica, de cultivo sobre los sustratos que ofrece el ambiente natural. De forma adicional, estudiamos la dinámica poblacional y su variación bajo diferentes grados de intervención antrópica (frecuencias cosecha). Todo este conocimiento nos permite, en esta segunda etapa, intentar masificar los sistemas de repoblamiento utilizados a una mayor escala, así como también tratar de planificar un cronograma de cosecha que permita un mayor ordenamiento y manejo de

estas poblaciones de algas en Bahía Chasco".

Es este mismo conocimiento el que puede ser empleado para el repoblamiento de otras especies de algas pardas, aplicando obviamente algunas modificaciones acorde a las diferencias morfológicas y biológicas entre cada especie en cuestión. "Con el desarrollo de ambos proyectos, nos hemos dado cuenta que las especies de algas pardas con las que trabajamos tienen mucho en común, lo que permite predecir algunos comportamientos en cuanto a sobrevivencia y crecimiento de ellas. Por lo mismo, tenemos mucha confianza de la calidad de resultados que ambos proyectos podrían dar, así como de las implicancias que podrían tener tanto para las localidades afectas como para la Región en general". Afirma el Dr. Westermeyer.

CONOCIENDO EL PROCESO

Los resultados reportados en diversos informes al Gobierno Regional de Atacama, son también discutidos y analizados con pescadores artesanales de la Bahía de Chasco, donde se realiza el

proyecto de repoblamiento, quienes al mismo tiempo de comprender como ocurren estos procesos biológicos, nos entregan su conocimiento y su experiencia de los que ellos observan en su diario vivir, cosechando estos huiros (*Macrocystis integrifolia*), que son utilizados en la alimentación de abalones no solo en Caldera, sino que también por cultivadores de estos moluscos en la región de Coquimbo.

Los resultados obtenidos que han sido publicados en revistas científicas de impacto ISI a nivel internacional, como también el Manual de Repoblamiento para *Macrocystis integrifolia* son de fácil implementación y de bajos costos para que pescadores artesanales puedan implementarlos en sus áreas de manejo, concesiones y centros de cultivo. Esta metodología desarrollada con fondos FIC del Gobierno Regional de Atacama, permitirá además, instalar el concepto de manejo en forma científica y con ello desarrollar la agronomía marina en esta área geográfica del norte de Chile.

Para Westermeier, estos últimos proyectos representan un reconocimiento por parte de quienes han evaluado los proyectos en la Región de Atacama, "los que sin duda deben conocer el trabajo que se ha estado desarrollando en maricultura de *Macrocystis* estos últimos años en la región". Todo este avance ha

llevado a consolidar la investigación ficológica de la UACH en la región de Atacama, lo que constituye sin duda un excelente desafío para nuestro grupo de trabajo", indicó finalmente el Dr. Westermeier. CS

5

Son los proyectos financiados con recursos del Fondo de COMICYT, empresas de la Región de Atacama y de los FIC del gobierno regional.



PESCADORES ARTESANALES FUERON INFORMADOS DE LOS PROYECTOS.

MANUAL DE REPOBLAMIENTO DEL GUIRO NORTE EN LA COSTA DE ATACAMA

● En el marco del término del proyecto FIC "Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la región de Atacama", financiado por el Gobierno Regional de Atacama en su convocatoria 2010, el Laboratorio de Macroalgas de la Universidad Austral de Chile (Sede Puerto Montt) publicó en Junio el manual titulado "Ma-

nual de repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la región de Atacama". Este manual -el cual está dirigido a pescadores artesanales (especialmente algueros), autoridades y personal de Instituciones gubernamentales y privadas, estudiantes de educación media, técnico y superior y mundo académico en

general- resume los principales resultados de un año de investigación en estudios de la biología poblacional, manejo y repoblamiento de este importante recurso. En total, son 44 páginas ilustradas que reúnen la más diversa información técnica y biológica de protocolos de siembra de

algas para repoblamiento y cosecha, así como el grado de efectividad que diferentes técnicas tienen dentro de la población natural. Según palabras del propio director del proyecto y autor principal del manual, el doctor Renato Westermeier: "Este manual no sólo será una excelente herramienta para que pesca-

dores artesanales puedan entender la dinámica de sus praderas y explotarla de forma productiva, sino que trasciende a autoridades locales, quienes podrán tomar decisiones en base al conocimiento generado en esta experiencia. Más aun, fue pensada para enseñarle a las futuras generaciones.

Además, durante los primeros días de enero salió en la revista “Visión Acuícola” el reportaje “En Puerto Montt se juega el futuro del huiro norte”, donde se publican los principales resultados obtenidos en la primera Fase de este proyecto.

Actividad: Publicación en revista *Vision Acuicola*

reportaje

Investigación busca dar sustentabilidad al uso del alga parda

En Puerto Montt se juega el futuro del huiro norte



Si bien es en el norte de Chile donde esta especie es explotada comercialmente para diversos usos, en nuestra Región de Los Lagos es donde se desarrollan importantes iniciativas científicas para permitir que la extracción del huiro siga siendo una de las actividades pesqueras más importante de la macrozona norte, donde da empleo a aproximadamente 1.000 recolectores de orilla.

LORETO APPEL STEFONI

Son muchas las especies que en algún momento de su ciclo de vida dependen de los huiros, ya sea como alimento, sustrato o como refugio. Esta alga parda, agrupada en huiroles en el norte de Chile, alberga una de las más diversas comunidades biológicas marinas y, como productores primarios, sustentan la cadena trófica de varios organismos. Los huiros son un tipo de alga parda que crece tanto en el intermareal rocoso como en el submareal, hasta los 30 metros de profundidad. Usando la luz solar y los nutrientes del mar, forman densos bosques submareales que se extienden por la columna de agua verticalmente hacia la superficie. En el norte de nuestro país, principal-

mente entre las regiones de Antofagasta y Coquimbo, se ha desarrollado una intensa actividad extractiva de macroalgas pardas, correspondientes a las especies *Macrocystis integrifolia*, *Lessonia nigrescens* y *L. trabeculata*. “Ello porque es ampliamente utilizada como materia prima en la producción de ficocoloides y como alimento de abalones”, señala Renato Westermeier, vicerrector del Campus Puerto Montt de la UACH e investigador responsable de este proyecto. Estas dos actividades, la producción de ficocoloides para la industria cosmética y alimentaria, además de destinarse para alimentar abalones, podrían producir el deterioro de estas poblaciones de algas, lo que constituye una amenaza para la actividad económica de las zonas mencionadas. La recolección de algas en esta área geográfica se ha transformado en la tercera actividad pesquera más importante de esta macrozona, con más de 275 mil toneladas, dando empleo a

aproximadamente 1.000 recolectores de orilla. La industria del abalón ha aumentado los volúmenes de desembarques doce veces en los últimos diez años y varias empresas abalonerías están demandando una mayor biomasa de algas con el propósito de crecer en esta actividad. Si a ello se le suma el uso de estas macroalgas en la industria del alginato se hace necesario el desarrollo de cultivos y, por otro lado, conocer sus dinámicas poblacionales, incluyendo allí estudio de cómo repoblar áreas que en algún momento puedan someterse a una explotación intensa. Actualmente toda esta biomasa proviene de poblaciones naturales, por lo que se hace necesario desarrollar técnicas de repoblamiento en Chile que permitan tanto desarrollar sistemas de repoblamiento como dar sustentabilidad económica en el tiempo al recurso, a través de un manejo racional de las poblaciones.

VISIÓN ACUÍCOLA / ENERO / 2013 / 21

reportaje

EL PROYECTO

El Laboratorio de Macroalgas de la Universidad Austral de Chile - sede Puerto Montt-, junto con el financiamiento del Fondo de Innovación para la Competitividad FIC 2010 del Gobierno Regional de Atacama, puso en marcha el proyecto "Replombamiento de *Macrocystis integrifolia* en la Región de Atacama".

"El área de trabajo fue la localidad de Bahía Chasco, ubicada 60 km. al sur de Caldera, donde se realizaron los estudios de dinámica poblacional y donde se procedió con la instalación de los sistemas experimentales de replombamiento. Parte de la operación se llevó a cabo en el Laboratorio de Macroalgas en Puerto Montt de la UACH, realizándose allí la siembra de esporas sobre sustratos, producción de plántulas de *Macrocystis integrifolia* para los sistemas de replombamiento, y se realizaron los ensayos para los estudios de viabilidad de esporas", indica el vicerrector de la UACH.

Además, en el centro de investigación puertomontino se evaluaron técnicas para repoblar las praderas naturales de huiro que aporten reclutas al sistema natural, generando las bases científicas de la dinámica poblacional de praderas y reclutamiento, claves para un manejo sustentable de estas algas. "Con ello, le entregamos herramientas y conocimiento de replombamiento a 40 pescadores artesanales de este sector para su posterior implementación y perdurabilidad en el tiempo", señala Westermeier.

En los últimos diez años, el grupo de algas de la sede Puerto Montt de la Universidad Austral de Chile ha entregado sus mejores esfuerzos al estudio del cultivo de las algas pardas en Chile, transformándose en referente mundial del cultivo de *Macrocystis pyrifera*, *Macrocystis integrifolia*, *Lessonia nigrescens* y *Lessonia trabeculata*. Gracias al proyecto "Replombamiento de *Macrocystis integrifolia* en la región de Atacama", financiado por el Gobierno Regional de Atacama, se entregaron los resultados de un año de investigación, que marcarán un hito trascendente en la forma de cómo el replombamiento de recursos marinos en Chile debe estudiarse.

De acuerdo a los especialistas de la UACH, los resultados son concretos, sorprendentes y sobresalientes, rompiendo incluso con enunciados que hacen alusión a la imposibilidad de replombamiento por propagación vegetativa de *Macrocystis*. Estos resultados fueron entregados a las autoridades del Gobierno Regional de Atacama, quienes preocupados por el manejo sustentable de este recurso hicieron posible el desarrollo de este proyecto. El propósito final es que los pescadores artesanales y los algueiros puedan, con estos experimentos de replombamiento simples, replicarlos en sus áreas de manejo y en ambientes dedicados a esta actividad extractiva.

PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE MACROCYSTIS INTEGRIFOLIA

El cultivo se inicia con la colecta de frondas reproductivas de bancos naturales de *Macrocystis integrifolia*, las cuales son claramente distinguibles del resto de las frondas vegetativas por un oscurecimiento característico de la lámina. Una vez en laboratorio, las frondas son lavadas con agua dulce, secadas con toalla o género absorbente, depositadas en bolsas plásticas en un refrigerador y sometidas a un shock osmótico para iniciar la esporulación.

PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE MACROCYSTIS INTEGRIFOLIA

El cultivo se inicia con la colecta de frondas reproductivas de bancos naturales de *Macrocystis integrifolia*, las cuales son claramente distinguibles del resto de las frondas vegetativas por un oscurecimiento característico de la lámina. Una vez en laboratorio, las frondas son lavadas con agua dulce, secadas con toalla o género absorbente, depositadas en bolsas plásticas en un refrigerador y sometidas a un shock osmótico para iniciar la esporulación.

BOLONES CON PEGAMENTO

La utilización de bolones con pegamento, fue al igual que el método con elásticos, exitosa. La totalidad de individuos reproductivos se logró en 6 meses, así como también altas tallas sobre los 2 mts. de longitud. Sin embargo, este sistema, a diferencia de los elásticos, dañó parte de la sección del disco de fijación donde se aplicó, ocasionando un poco más de mortalidad y menor crecimiento. No obstante, el alto grado de regeneración del disco de fijación de *M. integrifolia* permitió que una sección del disco de fijación crezca y se adhiera sobre la roca.

SIEMBRA DE ESPOROFITAS SOBRE SUSTRATO ROCOSO

Dado el éxito del método de replombamiento sobre bolones utilizando pegamento, durante el mes de Septiembre se sembraron sobre roca maciza 30 m² de plantas de *M. integrifolia* a una densidad de 4 plantas m² (a) (b). Los resultados de esta experiencia experimental fueron bastantes buenos en tamaño de las plantas (cerca de 2 m en 4 meses) y porcentaje de individuos reproductivos (80% en 5 meses como demuestra la figura (c) y (d)). Ello sugiere la posibilidad de repoblar grandes extensiones de sustratos rocosos de gran área con *M. integrifolia*, utilizando pegamento para la siembra. El método conlleva un mayor trabajo considerando que debe ser realizado por buzos, sin embargo es de una fácil implementación y de bajos costos.

PLÁNTULAS SEMBRADAS SOBRE BOLONES

Plántulas procedentes del laboratorio de Algas UACH, en Puerto Montt, fueron sembradas sobre bolones utilizando amarra elásticas. El tratamiento de bolones con elástico de billete fue uno de los más exitosos métodos empleados en este estudio. Las plantas, en 5 meses, crecen más de 5 veces su tamaño, y la totalidad de las plantas se vuelven reproductivas en ese mismo periodo de tiempo.

Participantes del proyecto: Renato Westermeier H., David Patiño A., Pedro Murúa A., Liliana Muñoz M., Ailin Ruiz G., Carlos Atero G., Lucía Barros C., Claudio Soza C., Pescadores artesanales Bahía Chasco e Instituto de Acuicultura de la Universidad Austral de Chile

Monto Total del proyecto Transferido hasta el 30/06/2012: \$86.642.009

SIEMBRA DE "ESPOROFITAS" EN BOLONES.

Este sistema consistió en colocar esporofilas (frondas reproductivas) sobre rocas provenientes del fondo marino y rocas limpias de la orilla usando mallas de algodón como un guante, que hacen que las esporofilas se mantengan fijas al bolón. De esa forma las esporas podrán fijarse a él. Las mallas de algodón, después de un tiempo bajo el mar se degradan, dejando que las esporofilas en descomposición salgan del sistema, liberando espacio para que las esporas recién asentadas germinen y no se descompongan sobre las esporas recién asentadas. Estas se desarrollan formando nuevos individuos (reclutas).

FRECUENCIA DE COSECHAS

En este proyecto se evaluó en un periodo de diez meses, el efecto de diferentes frecuencias de cosecha sobre parámetros de la dinámica poblacional. Se estimó la productividad (biomasa y longitud) en áreas bajo regímenes de cosecha mensual, bimestral y trimestral. Para ello se utilizó la forma empleada por el pescador artesanal: cosechar individuos sobre 40 centímetros. Se evaluó también la densidad de plantas en cada una de estas áreas. También se realizaron cosechas cada 4, 5 y 6 meses, sin resultados productivos destacables. Las mayores productividades por mes fueron detectadas para la cosecha trimestral, donde en 3 cosechas al año se obtuvieron 18 kg m². Las cosechas mensuales y bimensuales generaron un total de 23 y 24 kg m², durante 10 y 5 cosechas respectivamente.

SIEMBRA DE PORCIONES DE DISCO CORTADO DE PLANTAS ADULTAS EN LONG-LINE.

Una variante de usar reclutas o plántulas de cultivo para repoblamiento fue utilizar porciones del disco de plantas adultas de *M. integrifolia*. El método consiste en cortar porciones del disco, trasplantándolos al sustrato deseado. De un solo ejemplar se pueden generar varios individuos, los cuales al tener una mayor edad, se volverán reproductivos más rápidamente que una plántula de cultivo o un recluta.

También hubo un efecto de la estación del año sobre las cosechas. Valores máximos de biomasa y longitud promedio fueron registrados en primavera, independiente de la frecuencia de cosecha. Los menores valores de estos índices fueron registrados en otoño, tendencia que fue coincidente con los de dinámica poblacional (área sin intervenir), pero más bajos por el claro efecto de la cosecha constante. En la fase 2 de este proyecto a realizar durante el periodo 2012 - 2013 se propone un manejo de la población con los pescadores artesanales, según la estación del año, cosechas mensuales, bimensuales en áreas de amplia extensión.

Referencias: Westermeier R., Patino D., Murúa P., Muñoz L., Ruiz A., Atero C. 2012, Manual de Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la Región de Atacama. Proyecto FIC FNDR2010 Región de Atacama. Universidad Austral de Chile, 44 pp.





"Desde siempre trabajando juntos, para la Industria Acuícola"

Ven por tus productos:



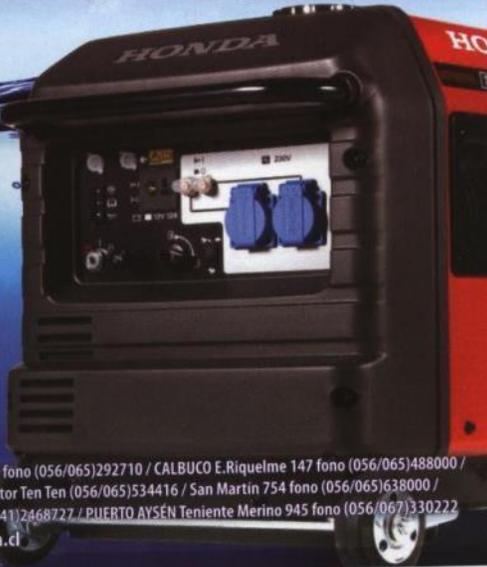
MOTOR GX 690



MOTOBOMBA WB 20XTDI



GENERADOR EG 3600CLG



PUERTO MONTT Los Olivillos 268 fono(056/065)292701 / PUERTO VARAS Av. Gramado 570 fono (056/065)292710 / CALBUCO E.Riquelme 147 fono (056/065)488000 / ANCUD Libertad 605 fono (056/065)628045 / CASTRO Panamericana Norte 1772, Sector Ten Ten (056/065)534416 / San Martín 754 fono (056/065)638000 / QUELLÓN Ladrilleros 247 fono (056/065)683290 / CONCEPCIÓN Paicavi 1801 fono (056/041)2468727 / PUERTO AYSÉN Teniente Merino 945 fono (056/067)330222
www.dimarsa.cl

Actividad: conferencia en la 21st International Seaweed Symposium

Los resultados del trabajo realizado en Bahía Chasco con el recurso *Macrocystis integrifolia* fueron presentados en el 21avo Congreso internacional de algas (fig. 29) El trabajo titulado llamado “Pesquería de *Macrocystis* en Atacama: efecto de la cosecha sobre su dinámica poblacional”, compara la biología poblacional de esta especie en Bahía Chasco, Atacama, de zonas sin intervención y zonas cosechadas completamente en distintas épocas del año, cuantificando la capacidad de recuperación de esta pradera natural. La noticia fue publicada en mundo acuícola, aqua-noticias y diarios regionales.

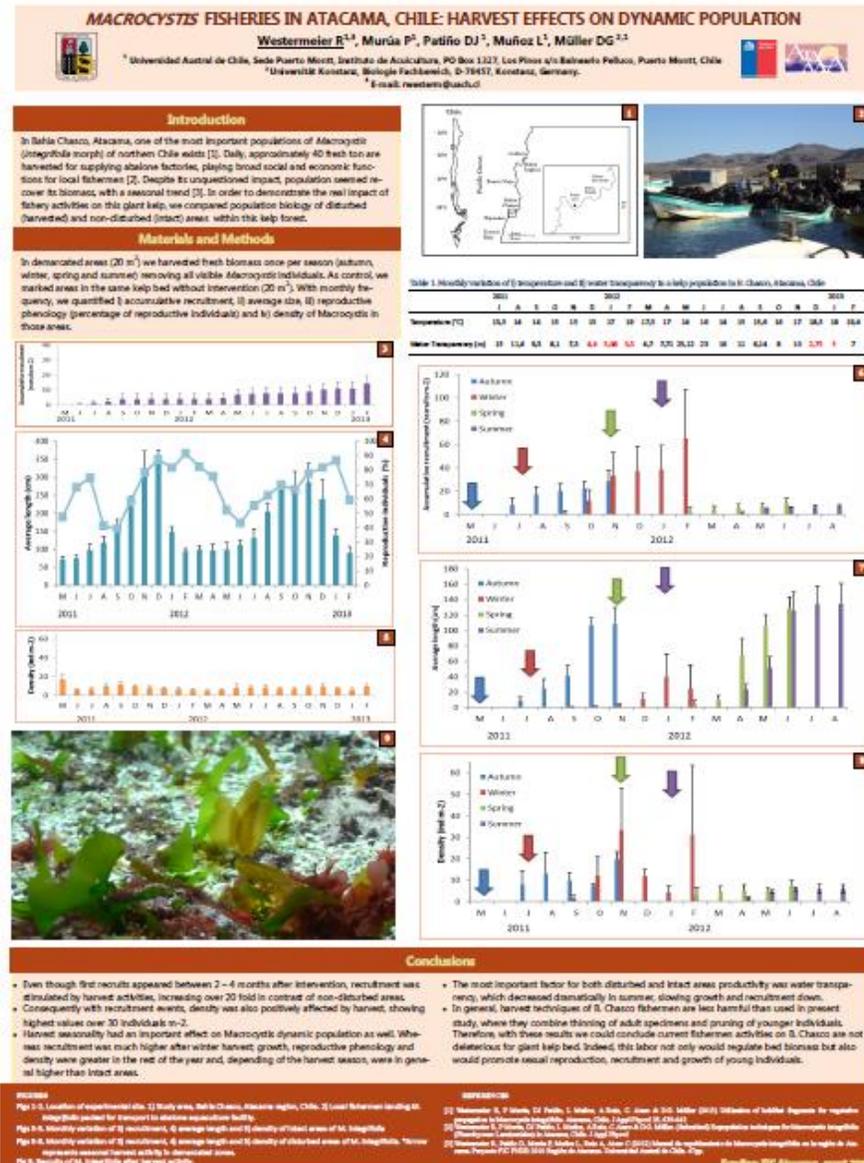


Fig. 29. Trabajo presentado en el 21st international Seaweed Symposium

Recientemente fue publicado en la revista *Journal of Applied Phycology* los resultados mas importantes de las tecnicas de repoblamiento logradas en los estudios en Bahia Chasco, producto de los proyectos en su Fase I y II.

J Appl Phycol (2013) 25:639–642
DOI 10.1007/s10811-012-9898-x

Utilization of holdfast fragments for vegetative propagation of *Macrocystis integrifolia* in Atacama, Northern Chile

Renato Westermeier · Pedro Murúa · David J. Patiño ·
Liliana Muñoz · Ailin Ruiz · Carlos Atero · Dieter G. Müller

Received: 6 June 2012 / Revised and accepted: 22 August 2012 / Published online: 5 September 2012
© Springer Science+Business Media B.V. 2012

Abstract We attempted to propagate *Macrocystis integrifolia* (giant kelp) by fragmentation and regeneration of holdfasts, which consist of creeping stolons with lateral haptera. Stolons from a natural kelp population in Bahia Chasco (Atacama, North Chile) were cut into fragments, each containing one or more lateral stipe and frond initials. Fragments were attached to longlines with elastic bands. We used two additional types of inoculants as controls: (1) natural recruits from the local parent population and (2) laboratory-cultured young sporophytes. Length, reproductive phenology, and mortality were determined monthly. Our results confirmed the feasibility of *M. integrifolia* propagation by reattachment of stolon fragments, and we obtained up to eight new individuals from one parent holdfast. Individuals from holdfast regeneration formed sporangial sori 3 months earlier than control specimens from recruits and laboratory culture, while all three types gave similar values for mortality. Holdfast morphology of regenerates differed strongly depending on their origin: stolon fragments continued growth and developed new haptera except in the cut surfaces, natural recruits formed typical *M. integrifolia* holdfast morphs, and sporophytes originating from laboratory culture produced minor stolons with many haptera. Implications of our results on ecology, repopulation, and aquaculture are discussed.

Keywords *Macrocystis integrifolia* · Vegetative propagation · Holdfast fragments · Haptera · Stolons · Growth · Reproductive phenology · Mortality

Introduction

Two processes are known for multiplication of macroalgal biomass in nature: (1) reproduction, which uses spores and gametes to produce new thalli, and (2) vegetative propagation, by which somatic tissue of a parent thallus gives rise to new individuals. Reproduction, typically combined with sexual recombination, is a universal process, enhancing genetic diversity, dispersal, and natural population dynamics (Santelices 1990). Thallus fragmentation has been described in red and green seaweeds, mostly as a secondary mechanism for population dispersion and preservation (Pacheco-Ruiz et al. 2005; Smith and Walters 1999). In some cases, thallus fragmentation has been applied in mariculture and population management as a strategy offering faster and less expensive results than traditional spore-based methods (Correa et al. 1999; Gómez and Westermeier 1991; Macchiavello et al. 2003; Westermeier et al. 1993, 2012a).

The life history of *Macrocystis* includes sexuality: microscopic gametophytes produce diploid zygotes by sexual fusion. These grow up to the dominating kelp sporophyte, which forms meiospores on sporophylls to complete the cycle (North 1971).

According to Westermeier et al. (2012b), the *Macrocystis integrifolia* beds of Bahia Chasco, Atacama are quasi-perennial. Adult specimens release their meiospores in spring to summer. Subsequently, thalli erode and partly die off. In parallel, new thalli emerge from the perennial holdfast. Spore germination, gametophyte development, gametogenesis, and fertilization presumably occur during autumn

R. Westermeier (✉) · P. Murúa · D. J. Patiño · L. Muñoz ·
A. Ruiz · C. Atero
Instituto de Acuicultura, Universidad Austral de Chile,
Sede Puerto Montt, Casilla 1327,
Puerto Montt, Chile
e-mail: rwester@uaach.cl

D. G. Müller
Fachbereich Biologie der Universität Konstanz,
78457 Konstanz, Germany

Repopulation techniques for *Macrocystis integrifolia* (Phaeophyceae: Laminariales) in Atacama, Chile

Renato Westermeier · Pedro Murúa · David J. Patiño · Liliana Muñoz · Carlos Atero · Dieter G. Müller

Received: 20 March 2013 / Revised and accepted: 7 June 2013
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2013

Abstract The giant kelp *Macrocystis integrifolia* has been intensely harvested in northern Chile for several years. In order to prevent a future disaster, we developed two different techniques for restoration of damaged *Macrocystis integrifolia* beds in the Atacama region of Chile. (1) Explantation: Laboratory-grown juvenile sporophytes were fixed to different substrata (plastic grids, ceramic plates, or boulders) by elastic bands or fast-drying glue (cyanoacrylate). Explants reached 150–200 cm in length within 5 months (relative growth rate $\approx 1.3\text{--}1.7\%$ day⁻¹), and reproductive maturity in 5–7 months. (2) Seeding of spores: Mature sporophylls were placed at 8 m depth on the sea bottom, supported by cotton gauze sleeves attached to boulders of different origin. Sixty percent of clean boulders collected on the beach produced up to seven recruits per boulder. In contrast, 20 % of the boulders from the sea bottom, colonized by epibionts, showed up to two recruits. Relative growth rates, however, were similar ($\approx 2.4\text{--}2.6\%$ day⁻¹). Practical applications of our findings are: laboratory-produced juvenile sporophytes fixed to various substrata by elastic bands or cyanoacrylate glue can be used to colonize rocks or artificial reefs. In cases, where laboratory-grown seedlings are unavailable, mature sporophylls from nearby *Macrocystis* beds can be used to establish new recruits on rocky substrata.

Keywords Atacama · Chile · Cotton gauze sleeve · Cyanoacrylate glue · Elastic band · *Macrocystis integrifolia* · Repopulation · Sporophyll

R. Westermeier (✉) · P. Murúa · D. J. Patiño · L. Muñoz · C. Atero
Instituto de Acuicultura, Universidad Austral de Chile,
Sede Puerto Montt, Casilla, 1327 Puerto Montt, Chile
e-mail: rwesterme@uach.cl

D. G. Müller
Fachbereich Biologie der Universität Konstanz,
Konstanz 78457, Germany

Introduction

Macrocystis integrifolia, commonly known as giant kelp, is an important natural resource in northern Chile. It is intensely harvested for abalone feed and alginate manufacture in the Atacama region (Westermeier et al. 2012a). Furthermore, *Macrocystis* has been suggested as marine biomass for ethanol production (García et al. 2011), promoting expectations for kelp fisheries and mariculture along the coast of Chile.

Currently, *M. integrifolia* in northern Chile is likely to face unfavorable prospects.

1. Growing demand and decreasing availability of natural stocks are reported for recent years (Semapesca 2011), which are likely to lead to resource depletion in the near future.
2. *M. integrifolia* is especially fragile under external stress factors such as El Niño, anthropogenic pollution, and overexploitation (North 1971; Westermeier et al. 2012b).
3. Although *M. integrifolia* dominates kelp forests of northern Chile in coverage and biomass, natural beds are discontinuous, and a damaged area has low chances for natural recovery from adjacent kelp stands.

In consequence, studies on population dynamics, management, and restoration techniques are not only important for ecological aspects, but also crucial for future legal and administrative actions. Recent reports indicate great potential for natural repopulation of *M. integrifolia* from Bahia Chasco, especially after harvesting campaigns. Natural recruitment depends mainly on season of the year and substratum availability (Westermeier et al. 2012b). In addition, Westermeier et al. (2013a) found that *M. integrifolia* holdfast fragments easily regenerate and the authors suggested a technique on this basis for recovery projects of kelp beds. Only few reports describe repopulation experiments with the intertidal kelp *Lessonia nigrescens* in Chile (Vásquez and Tala 1995;

Adicionalmente, un nuevo trabajo científico (“**Macrocystis fishery in Atacama, Chile: the harvesting effects on its population dynamic**”) asociado a la dinamica poblacional de *M. integrifolia* de Bahía Chasco fue enviado para su revision a la revista internacional Journal of Applied Phycology. En este trabajo –que fue presentado en el marco del congreso internacional antes mencionado- se discute *in extenso* las ventajas y desventajas de las cosecha por pescadores artesanales en Bahía Chasco. Se esta a la espera de su aprobacion dentro de los proximos meses.

1
2
3 **Macrocystis fishery in Atacama, Chile: harvesting effects on its population dynamic**
4
5
6 Renato Westermeier, Pedro María, David J. Patiño, Liliana Muñoz & Dieter G. Müller
7
8
9 R. Westermeier, corresponding author
10 P. María
11 D.J. Patiño
12 L. Muñoz
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

22 **Abstract**
23 In Bahía Chasco, Atacama, *integrifolia* morph of *Macrocystis* forms one of the most
24 important kelp forests in northern Chile. In order to determine effects of local fishermen
25 harvests, we evaluated the population dynamic of this resource in intact and seasonally
26 disturbed (harvested) areas. Accumulative recruitment, length, reproductive phenology and
27 density were monthly assessed under these treatments. Furthermore, environmental
28 parameters of this habitat were also measured. In intact areas, length and reproductive
29 individuals were higher, but densities were lower and recruitments non-stimulated. On the
30 other hand, harvest seasonality had an important effect on *Macrocystis* dynamic population
31 as well. Whereas recruitment was much higher after winter harvest, growth, reproductive
32 phenology and density were greater in the rest of the year and, depending of the harvest
33 season, in some cases were higher even than intact areas. The most important factor for
34 both disturbed and intact areas productivity was likely the water transparency, which
35 decreased dramatically in summer, slowing down both growth and recruitment. Since
36 harvest techniques used by Bahía Chasco fishermen are less harmful than by present study,
37 with these results we could conclude current exploitation levels in this location not only are
38 not deleterious for giant kelp bed, but also would be renewing this population, through the
39 stimulation of sexual reproduction, recruitment and growth of young individuals.
40
41 **Keywords:** *Macrocystis*, *integrifolia* morph, population dynamic, intact areas, disturbed
42 areas, recruitment, length, reproductive phenology, harvesting, Bahía Chasco.
43



www.diarioatacama.cl

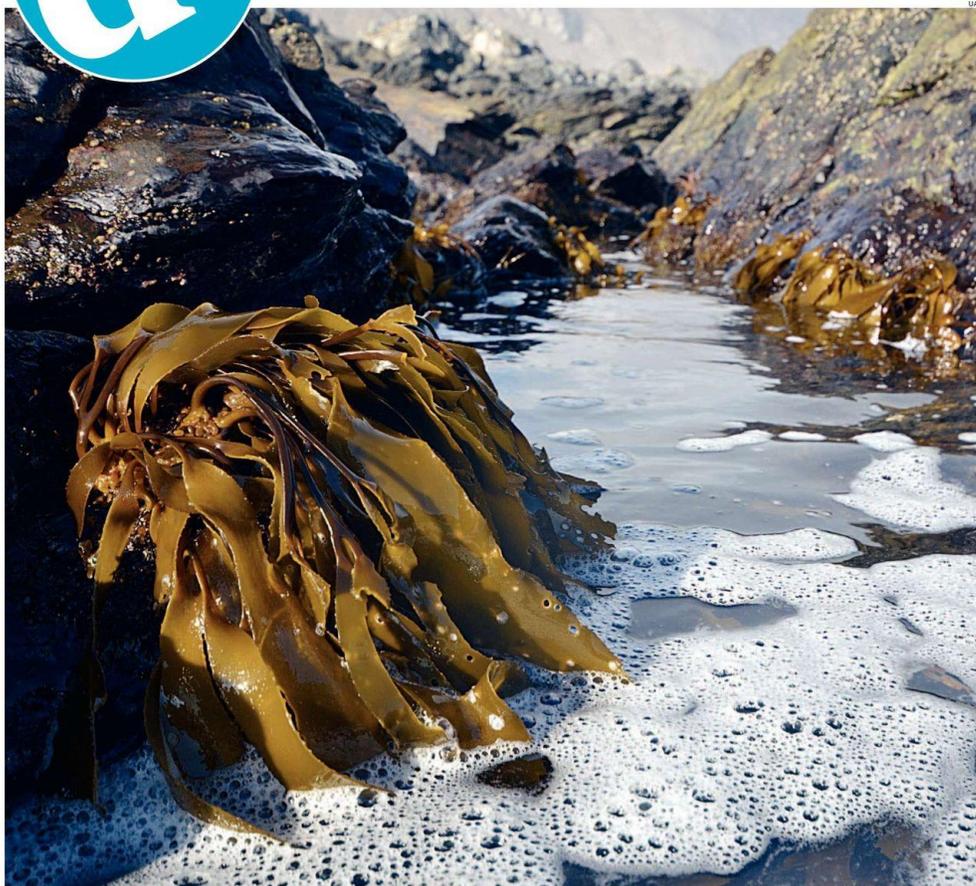
BLUR EN CHILE

La banda que se reunió en 2009 ahora le canta al desamor. Pág. 7



TENDENCIAS

Ocho siglos de arte en alta resolución y que se pueden explotar en la web. Pág. 6



Investigación de algas de Atacama fue expuesta en **Indonesia**

La Universidad Austral de Chile expuso dos proyectos ejecutados en la costa de Chañaral, en la que se demostró el repoblamiento del huiro. Págs. 4 y 5



TIMOTHY TAFFE

El presidente de la Apeco adelantó lo que serán sus principales tareas. Pág. 3

LITERATURA

Patricio Jara habla de su libro "Geología de un planeta desierto". Pág. 8



EL HUIRO NEGRO HA LOGRADO UN REPOBLAMIENTO EN LA BAHÍA DE CHAÑARAL.

Investigación de algas en Atacama fue expuesta en **Indonesia**

La Universidad Austral de Chile expuso iniciativas chilenas financiadas por fondos FIC Atacama, que vinculan la investigación de la agronomía marina, la ecología y el repoblamiento de algas en sinergia con alqueros de la región.

R.W.H.
reportajes@diarioatacama.cl

El investigador del Instituto de Acuicultura y vicerrector de la Universidad Austral de Chile Sede Puerto Montt doctor Renato Westermeier participó en abril pasado en el "21st International Seaweed Symposium" (Simposio Internacional de Algas - ISS) que se desarrolló en la ciudad de Bali, Indonesia. En este contexto, el investigador presentó en dos ponencias los resultados de tres proyectos de investigación sobre ecología y repoblamiento de las macroalgas pardas huiro norte (*Macrocystis integrifolia*) y huiro negro (*Lessonia nigrescens*) en la Región de Atacama. El primer trabajo, titulado "Patrones de crecimiento del disco de fijación de macroalgas pardas chilenas después de su fragmentación: una novedosa aproximación para el repoblamiento" muestra mediante pruebas en terreno la posibilidad empírica de repoblar a través de multiplicación vegetativa las especies de

algas antes nombradas, discutiendo las implicancias ecológicas de estos métodos. El segundo trabajo, llamado "Pesquería de *Macrocystis* en Atacama: efecto de la cosecha sobre su dinámica poblacional",

compara la biología poblacional de esta especie en Bahía Chasco, Atacama, de zonas sin intervención y zonas cosechadas completamente en distintas épocas del año, cuantificando la capacidad de recuperación de esta pradera natural.

"La información que aquí se presentó, es el resultado de más de dos años de investigación en el repoblamiento de algas pardas. Corresponde a un esfuerzo enorme de nuestro grupo de in-



ALGUNOS DE LOS PRODUCTOS EN BASE A ALGAS PRESENTADOS EN INDONESIA.



LOS PESCADORES DE BAHÍA CHASCO A DIARIO LABORAN Y CENTRAN SU ACTIVIDAD EN LA EXTRACCIÓN DE ALGAS.

Alzas en precios de los terrenos

● En diciembre de 2011 el equipo de investigación del Laboratorio de Algas de la Universidad Austral de Chile Sede Puerto Montt comenzó a ejecutar dos proyectos en la Región de Atacama. La primera iniciativa se llama "Uso de algas pardas para la biorremediación del ambiente costero en la bahía de Chañaral". El encargado del proyecto, el doctor Renato Westermeyer, explicó aquella vez que "la localidad de Chañaral ha sido fuertemente perturbada por el relave de cobre en el pasado, producto de la actividad minera. Esto ha disminuido la presencia de especies marinas en el sector. Por lo anterior, en este proyecto se experimentará con técnicas de repoblamiento de las especies algales *Lessonia nigrescens* y *Macrocystis integrifolia*, así como también con el cultivo *M. integrifolia*". El proyecto espera repoblar un área sur y norte del litoral de Chañaral. A largo plazo se podrían manifestar consecuencias positivas de este trabajo, como aumento de la diversidad de especies algales y de herbívoros y al mismo tiempo se evaluará la presencia de metales pesados en el sustrato y columna de agua. Esto se correlacionará con los valores de acumulación que alcanzan las macroalgas que se utilizaron en esta experiencia de repoblamiento y cultivo. El otro proyecto que fue aprobado por el concurso del Fondo de Innovación para la Competitividad, fue "Repoblamiento de *Macrocystis integrifolia* en la Región de Atacama", el cual comenzó su segunda etapa el año 2012. Sobre esta iniciativa, el doctor Westermeyer recalca que "en estos meses de trabajo hemos avanzado considerablemente en conocer las bases científicas-tecnológicas para el repoblamiento y manejo en la pradera de Bahía Chasco. Hemos establecido métodos de repoblamiento altamente efectivos". Es así como la meta principal de la segunda parte del proyecto es escalar a nivel masivo en los dos mejores sistemas de repoblamiento desarrollados en la convocatoria anterior. Adicionalmente se intentará desarrollar un programa de manejo para *Macrocystis integrifolia* en la localidad de Bahía Chasco, utilizando la frecuencia óptima de cosecha para cada estación del año a través de un sistema de rotación de áreas parceladas. Todo lo anterior se traducirá en una mejora para las prácticas actuales empleadas por pescadores artesanales de la zona.

vestigación, algos de las localidades de Bahía Chasco y Chañaral y por supuesto del gobierno regional de Atacama, los que a través de fondos FIC confiaron en estas iniciativas y en su potencial en el mediano plazo", señaló el investigador.

"Creemos que los descubrimientos aquí realizados son una potente herramienta para los al-

gueros, instituciones públicas y privadas y por supuesto para la academia, los que sin duda lo utilizarán en el marco de pesquería y ecología de algas marinas", agregó Westermeyer.

SIMPOSIO INTERNACIONAL

Este evento, que se realiza cada tres años, está enfocado a personas y organizaciones invo-

2

Fueron los proyectos que en 2011 comenzó a ejecutar el Laboratorio de Algas de la UACH, ambos en la Bahía de Chañaral.

350

Fueron los trabajos expuestos en Indonesia durante el desarrollo del Simposio Internacional de Algas.



EL LLAMADO "HIURO PATO" TAMBIÉN SE HA VISTO REAPARECER EN LA COSTA.

lucradas con la utilización e investigación de algas, proporcionando un foro para los científicos, tecnólogos, administradores de recursos y representantes de empresas para presentar sus últimos resultados en investigación, intercambiar ideas y desarrollar sinergias. La pasada convocatoria realizada en la ciudad indonesia reunió a más de 350 trabajos y 400 asistentes de todo el globo, contando con más de 45 instituciones patrocinantes.

EN LA U.AUSTRAL

Un Congreso de esta naturaleza fue organizado en el año 1995 en Valdivia por el Dr. Renato Westermeyer H. en ese entonces director y académico del Instituto de Botánica de la UACH en Isla Teja, Valdivia. El "15th Congreso internacional de algas", es considerado uno de los mejores eventos desarrollado en algas en Chile hasta ese momento. Participó también en su realización el

"Creemos que los descubrimientos aquí realizados son una potente herramienta para los algos"

Renato Westermeyer
Vicerector de la Universidad Austral de Chile sede Puerto Montt

académico de la Universidad Católica de Chile y Premio Nacional de Ciencias 2012, Dr. Bernabé Santelices.

DESDE 2010 INVESTIGANDO

El equipo de investigación en algas liderado por Westermeyer desde 2010 que está ejecutando una serie de investigaciones en la costa atacameña.

Aquel proyecto inicial tuvo como finalidad desarrollar una

metodología para repoblar áreas que han sido y estaban siendo fuertemente sobreexplotadas en esta zona, donde, según destacó el Dr. Westermeyer "es conocido que el estado actual de estas poblaciones es de colapso por el fuerte impacto que se ejerce en la extracción de este recurso, que se usa como alimento de abalones y para la industria química de los alginatos.

La *Macrocystis integrifolia*, llamado comúnmente "huiro norte" o "huiro pato" crece desde el intermareal hasta los 30 metros de profundidad y se distribuye en ambos hemisferios. Los estudios realizados hasta la fecha con esta especie indican que es necesario tomar medidas urgentes ante la frágil situación de estas praderas marinas en el norte de Chile, ya que su disponibilidad para el consumo de abalón y de la industria química ha decaído dramáticamente.

Actividad: diseño de una página web

En estos momentos está en diseño una página web para difundir de forma masiva, y a través de internet, los resultados obtenidos en este proyecto a las diferentes instituciones o personas naturales. La página web servirá como un foco de encuentro entre el laboratorio y los actores de la industria de las algas que funcionara para asesorar de forma directa a la comunidad así como actualizar de las actividades en la región.



UCh Sede Puerto Montt Cultivará Algas para Proyecto de Biocombustibles

El Laboratorio de Algas de la Universidad Austral de Chile Sede Puerto Montt, dirigido por el vicerrector de esta institución académica, el doctor Renato Westemeier, será el encargado de un cultivo de algas que serán utilizadas para el proyecto de biocombustibles que está desarrollando la empresa Bal Chile. Lo anterior gracias a la firma de un convenio en que la universidad pasa a ser el ejecutor del cultivo de *Macrocystis pyrifera*, más conocido como "huliro", en las 7,5 hectáreas pertenecientes a la empresa en el sector Metrencué, de la comuna de Calbuco.

Los profesionales de la UACH realizarán cuatro siembras de una hectárea cada una, cultivándose 45 mil plantas por hectárea durante el segundo semestre de este año y enero de 2012. Lo que se pretende con estas variedades mejoradas es obtener 40 toneladas secas por hectárea al año.

[ver más...](#)



Actividad: diseño de un manual de repoblamiento a través de fragmentos de disco.

En estos momentos está en edición un Manual de repoblamiento de las especies *Macrocystis integrifolia* y *Lessonia nigrescens*, basado en los resultados de este proyecto y del proyecto FIC Atacama “*Uso de algas de cultivo para la biorremediación de la Bahía de Chañaral*”. En este manual se resumen las principales consideración para una siembra exitosa y sostenible de estas algas pardas utilizando fragmentos originados del disco de fijación, en conjunto con una serie de resultados de respaldan estas consideraciones. Este segundo manual está destinado a pescadores artesanales, organizaciones públicas y privadas, mundo científico y académico y personas naturales que estén interesados en el repoblamiento de algas, otorgando herramientas y conocimiento de una tecnología de repoblamiento de bajo costo y fácil implementación.



5. Conclusiones

- El repoblamiento masivo de *M. integrifolia* en Bahía Chasco fue factible. Con las técnicas empleadas fue posible formar un “arrecife” artificial de esta especie en una extensión de 1500 m². Esto último tiene gran valor, ya que no solo áreas sobreexplotadas podrían ser repobladas, sino también zonas donde esta alga no tiene posibilidades de crecer (como suelos arenosos), lo que abre nuevas expectativas para su cultivo por pescadores artesanales a través de sustratos artificiales.
- No obstante, es importante considerar las variables ambientales que pudiesen afectar este repoblamiento. Corrientes muy fuertes, por ejemplo, pueden desplazar los bolones o hacer que las plantas se deprendan o se estrangulen con la misma piedra. En este sentido una solución alternativa a este bolón pudiesen ser bloques de concreto con formas ensamblables (de “L” o T, por ejemplo) los que ofrecerían mayor resistencia hidrodinámica a las corrientes, y con ello mayor estabilidad.
- Asimismo, la falta de luz solar o de nutrientes también puede hacer que las plantas crezcan lentamente y que no se logren fijar al sustrato. Según los resultados de este proyecto la mejor época de siembra es la de primavera (cuando las condiciones ambientales favorecen el crecimiento), donde las plantas se fijan y crecen más rápidamente. Por otro lado, en verano los resultados de la siembra suelen ser malos, con un alto nivel de desprendimiento.
- En una comparación entre los diferentes tratamientos de repoblamiento, las diferencias fueron también elocuentes. Los fragmentos de disco de fijación sembrado sobre bolones (usando elásticos o pegamentos) lograron grandes longitudes cercanas a las plantas matrices (plantas madres que los originaron) y las

plantas enteras (controles sin intervenir). Sin duda alguna, este sistema de repoblamiento es uno de los más efectivos para esta especie, ya que su amplio rango de aplicabilidad, bajo costo y fácil obtención e implementación lo hacen útil para pescadores artesanales e instituciones que deseen repoblar.

- Una excepción a la regla fueron las siembras de estos fragmentos de disco sobre long-lines, los que escasamente lograron sobrevivir (solo en invierno). Aparentemente, la escasa superficie y alta flexibilidad del sustrato en comparación a la morfología del fragmento de disco impidieron una fijación exitosa, y con ello que sean altamente inestables en esta superficie.
- En este estudio se reconfirmaron las variables poblaciones encontradas para *M. integrifolia* de Bahía Chasco. El reclutamiento 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 donde se lograron altos reclutamiento en pocos meses. Claramente este indicador se ve afectado positivamente por las actividades de cosecha, relación que debe ser considerada como una ventaja de las pesquerías de *Macrocystis* en su ecología poblacional.
- La longitud de *M. integrifolia* mostró una tendencia cíclica durante el periodo de estudio, con valores máximos a fines de primavera y mínimos en otoño, comportamiento el cual se repitió al año siguiente en las mismas épocas del año. Las condiciones para el crecimiento son óptimas en primavera en cuanto a luz, temperatura y nutrientes por lo que la productividad de la pradera aumenta. En verano, la temperatura y la turbidez del agua aumentan (producto del aumento de la productividad primaria superficial), lo que genera una erosión de las frondas y

desprendimiento de sus sustratos en el caso de las plantas más viejas o débiles. 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, comenzando el ciclo.

- La fenología de *M. integrifolia* en Bahía Chasco también mostró una tendencia cíclica durante este proyecto. En otoño y primavera se detectaron los valores más bajos, los que correspondieron básicamente a la presencia de juveniles no maduros o reclutas en estos periodos. El alto grado de individuos reproductivos encontrados durante esta época explica además los reclutamientos observados en las áreas intervenidas en otoño y primavera.
- La técnica de manejo elegida para Bahía Chasco fue un cronograma de rotación de áreas, alternando la frecuencia de cosechas. Esta técnica permitirá de forma mensual ir cosechando áreas parceladas de acuerdo a su standing crop (biomasa cosechable), dejando descansar otras áreas con menor biomasa. El sistema propuesto además es flexible, y se debe rediseñar año a año de acuerdo a la variación interanual de este standing crop.
- La composición química de *M. integrifolia* mostró resultados interesantes de proteína, lípidos, aminoácidos y ácidos grasos. Estos resultados abren nuevas dimensiones de uso para esta especie, además de la ya conocidas. Esta biomasa puede además ser empleada en la industria de alimentación humana, alimentación de ganado, fertilizantes y biocombustibles, industrias que demandan una gran cantidad de biomasa de alta calidad.
- En este proyecto se entregan los resultados de dos años de estudio, involucrados en dos proyectos financiados por el Gobierno Regional de Atacama, información

que marca un hito importante para la pesquería, ecología y manejo de este recurso en el norte del país.

6. Literatura consultada

- 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.
- AOAC (1995) Official method of analysis of AOAC international. 300 p.
- 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.
- Dawson Foster (1982) seashore plants of California. California natural history guides: 47. University of California Press, Ltd.
- 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 For. The Arts Since, Canada. 93pp.
- Dubois M, Guilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem* 28:350

- 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
- Gonzalez, S. A, Edding, M. E. 1990. Extension of the range of *Heterozostera tasmanica* (Martens ex Aschers) den Hartog in Chile. Aquatic Botany 38:391-95.
- 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
- Mian & Percilal (1973) Carbohydrates of the Brown seaweeds *Himantalia lorea* *Bifurcaria bifurcate* and *Padina pavonia*. 26, 133 – 146. Carbohydrate research
- 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.
- Roughan PG (1985) Phosphatidylglycerol and chilling sensitivity in plants. *Plant Physiol* 77:740–746
- 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
- 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 (1982) Zonierung, Biomasse, Energiehaltund Schwermetallakkumulation marinen algen aus Chile, Helgoland und Spanien. Ph.D. thesis, Justus-Liebig Universität, Giessen, 160 pp
- 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 antarctica* 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 D00I1144. 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
- Westermeier R, Murúa P, Patiño DJ, Muñoz L, Ruiz A, Müller DG (2012) of chemical composition and energy content in natural and genetically defined cultivars of *Macrocystis* from Chile. *J Appl Phycol* 24, 1191–1201.
- Westermeier R, Murúa P, Patiño DJ, Muñoz L, Ruiz A, Atero C, Müller DG (2013) Utilization of holdfast fragments for vegetative propagation of *Macrocystis integrifolia*, in Atacama, northern Chile. *J Appl Phycol* 25, 639 – 642.
- Westermeier R, Murúa P, Patiño DJ, Muñoz L, Ruiz A, Atero C, Müller DG (2013b) Repopulation techniques for *Macrocystis integrifolia* (Phaeophyceae: Laminariales) in Atacama. *J Appl Phycol* DOI 10.1007/s10811-013-0069-5.