

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y GEOGRAFÍA
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Rendimientos de cultivo de *Macrocystis integrifolia* según método de siembra en long-line, a partir de bastidores con esporas, en la localidad de Bahía Inglesa, III Región.

Proyecto para optar al título de Ingeniero Pesquero
por
Jennifer Alejandra Orellana Bonilla

Valparaíso
2015

Comisión del Proyecto de Título:

Profesor Guía : Dr. Dante Queirolo P.

Profesor : Dr. Felipe Hurtado F.

Profesor : Dr. Jaime Orellana H.

AUTORIZACIÓN DE USO

Al presentar este proyecto como último requisito para la obtención del título de Ingeniero Pesquero, autorizo a la biblioteca de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, para que disponga libremente de ella. Autorizo además reproducciones parciales o totales de este Proyecto sólo con fines académicos.

Sin mi consentimiento escrito, no se permitirán reproducciones con propósitos comerciales o con fines de lucro.

Jennifer Alejandra Orellana Bonilla

DEDICATORIA

A Esteban, Joaquín y mi familia, por su apoyo incondicional y por darme luz en los momentos más oscuros, los amo.

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a mi profesor guía, señor Dante Queirolo, por haber confiado en esta idea y en mi trabajo, teniendo siempre la mejor disposición, entrega y paciencia.

A los profesores de la Escuela de Ciencias del Mar, PUCV; de los que mantengo mi mejores recuerdos, a los que aún están y a los que ya partieron, en especial al señor Rodolfo Olivari, quien me apoyó en la decisión de realizar mi práctica profesional en la ciudad de Caldera, lugar donde formé mi familia y donde espero quedarme por mucho tiempo más.

A mis compañeros; Cristina Jiménez y Ricardo Guzmán, que más que amigos fueron mis hermanos y mi apoyo en tantos momentos difíciles. A M. Eastman, J. Orellana, J. Olmos, L. Saavedra, C. Aravena y P. Solís por la amistad, las noches de estudio para pruebas o realización de trabajos interminables y las risas que nunca faltaron.

A mi grupo de trabajo, equipo de Reflote y Mantenición en Mar de la Cía. Pesquera Camanchaca S.A., especialmente a Santiago Alvarado y Matías Hernández, quienes entendieron lo importante que estos resultados eran para mí y siempre tuvieron la mejor disposición extendiendo su jornada laboral e ingresando a trabajar a las 5 de la mañana para poder realizar la cosecha de algas “sin afectar la tan anhelada producción de ostiones”.

A mi Abuelita Cristy y Coca, a mi tío J.C. y Verónica por ser los mejores papás, a Leslie y Kim por ser las hermanas chicas que siempre parecen ser las mayores, y por último, a Walter y Cristina por haberme dado una infancia llena de amor y las herramientas necesarias para buscar siempre la felicidad.

A mis amores, Joaquín y Esteban que me entregan todos los días ese cariño que no tiene límites y que me han permitido compartir los tiempos con mis preparaciones de clases, mis estudios y este proyecto de título.

RESUMEN

En los últimos años, se ha producido un incremento en la actividad pesquera extractiva de algas pardas, intensificando el esfuerzo de pesca y disminuyendo los stocks de las praderas naturales, es por esto, que se genera la necesidad de cultivar estas algas y así, preservar el recurso en el tiempo. Se recopiló información del cultivo de *Macrocystis integrifolia* ubicado en Bahía Inglesa, III región y se analizó estadísticamente. En el estudio, se identificaron diferentes métodos de siembra y se realizó un cuadro comparativo de crecimiento de longitud, crecimiento en peso, biomasa y rendimiento por tiempo total de siembra y por día de vida. Se determinó que el crecimiento en relación a peso, longitud de las plantas y rendimiento es relativamente mayor al aplicar el método helicoidal en sus dos materiales de fijación. Sin embargo, se obtienen mayores retornos de biomasa cuando la disposición del cabo es lineal, aunque con alta dispersión en los datos. Finalmente, se concluyó que no existe evidencia significativa para determinar el método de siembra que entrega los mejores rendimientos en esta localidad.

ABSTRACT

In recent years, there has been an increase in extractive fishing for brown algae, intensifying fishing effort and declining stocks of natural grassland, which is why, you need to grow these algae is generated and thus preserve the appeal in time. Information culture *Macrocystis integrifolia* located in Bahia Inglesa III region and statistically analyzed was collected. In the study, different planting methods were identified and a comparative table of growth in length, weight growth, biomass and yield per total time of planting and daily life was done. It was determined that the growth in relation to weight, length and yield of plants is relatively higher when applying the method helical fixing two materials. However, higher yields are obtained when biomass layout out is linear but with high scatter in the data. Finally, it was concluded that there is no significant evidence for the planting method that delivers the best performance in this location.

CONTENIDO

Comisión del Proyecto de Título:	ii
AUTORIZACIÓN DE USO.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
3. ANTECEDENTES.....	3
3.1. Especie.....	3
3.2. Pesquerías	4
3.3. Mercado	6
3.3.1. Mercado nacional.....	6
3.3.2. Mercado internacional	6
3.4. Cultivo de algas pardas.....	7
3.4.1. Liberación de esporas	7
3.4.2. Pre cultivo en bastidores	7
3.4.3. Pre cultivo en suspensión.....	8
3.4.4. Cultivo en mar	10
3.4.5. Cosecha	11
3.5. Repoblamiento y manejo	12
3.6. Legales.....	12
4. MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1. Área y período de estudio	14
4.2. Metodología de cultivo.....	14
4.2.1. Etapa de pre cultivo	14
4.2.2. Cultivo en mar	15
4.2.3. Cosecha	16
4.3. Cálculo de crecimiento.....	17
4.4. Cálculo de biomasa por línea de cultivo.....	17
4.5. Cálculo de rendimiento.....	18

4.6.	Análisis de datos	18
5.	RESULTADOS.....	20
5.1.	Crecimiento en longitud	20
5.2.	Crecimiento en peso	22
5.3.	Biomasa por línea de cultivo	24
5.4.	Rendimiento en peso por metro lineal.....	26
5.5.	Rendimiento en peso por metro lineal por día de vida.....	28
6.	DISCUSIÓN.....	30
7.	CONCLUSIONES	33
8.	BIBLIOGRAFÍA	34
9.	ANEXOS	36

1. INTRODUCCIÓN

Las macroalgas se pueden clasificar en tres grandes grupos: las algas verdes (División Chlorophyta), las algas pardas (División Phaeophyta) y las algas rojas (División Rhodophyta). Dentro de las algas pardas, existen numerosas especies de los órdenes Fucales, Laminariales y Durvilleales que son utilizadas como materia prima para la extracción de alginatos a nivel mundial. En Sudamérica, la extracción de alginatos está sustentada principalmente por *Lessonia sp* y *Macrocystis sp*, cuyas reservas naturales, las mayores del mundo, se encuentran en las costas de Chile y sur de Argentina, países que han sido proveedores de materia prima para industrias de alginatos en otras partes del mundo (Vásquez & Fonk, 1994).

En la Región de Atacama, las extracciones de estas algas se realizan en forma manual desde praderas naturales por medio de buceo o recolecciones de varazones en playas expuestas. Su utilización, es principalmente para la extracción de alginatos y como alimento para moluscos herbívoros. Debido al aumento de interés por comercializar estas algas, se ha producido la sobreexplotación de las praderas naturales a tal punto, que el Comité de Manejo de Algas Pardas de la III región, ha debido recomendar una veda extractiva como medida de protección para las especies *Lessonia trabeculata*, *Lessonia nigrescens* y *Macrocystis sp*.

El aumento en la demanda de algas pardas y la disminución del stock, provocan la necesidad de desarrollar actividades de cultivo, es por esto, que dos empresas ubicadas en la localidad de Caldera, específicamente en Bahía Inglesa, han desarrollado cultivos en mar con plántulas de *Macrocystis pyrifera*, Cultivos Marinos San Cristóbal S.A. e Hidrocultivos S.A. En relación a la especie *Macrocystis integrifolia*, sólo la empresa Cía. Pesquera Camanchaca S.A. ha desarrollado su cultivo en la región, utilizando el método de pre cultivo de esporas en cuerdas y posterior cultivo en mar en carretes o bastidores en su concesión marina ubicada en Bahía Inglesa.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Comparar los rendimientos de producción de *Macrocystis integrifolia* según el método de siembra usado para su cultivo en long-line, a partir de bastidores con esporas, en la localidad de Bahía Inglesa, III Región.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar el crecimiento de las algas, en longitud y peso, según el método de siembra utilizado.
- Determinar la biomasa de cultivo obtenida de acuerdo al método de siembra utilizado.
- Determinar y comparar el rendimiento de cultivo alcanzado según el método de siembra y el tiempo de cultivo en long-line.

3. ANTECEDENTES

3.1. Especie

La especie *Macrocystis integrifolia* es un alga parda feófito, de la familia Lessoniaceae que se distribuye en nuestro país desde Arica (18°LS) hasta Concepción (36°LS). Habita en la parte más baja de la zona intermareal, en sustrato rocoso y en aguas submareales desde 7 a 30 metros de profundidad (Santelices, 1989). En Chile, se conoce con diversos nombres comunes, tales como Huiro norte, Huiro Pato, Huiro Canutillo, Huiro macro y Alga Gigante.

Macrocystis integrifolia es una alga de gran tamaño, de color marrón oscuro y puede alcanzar sobre los 5 metros de longitud. Presenta un disco adhesivo rastreado alargado con el cual se fija al sustrato y está formado por hapterios ramificados no fusionados de hasta 4 m de longitud en talos adultos. De este disco, surgen numerosos cauloides, los cuales terminan en numerosas frondas laterales de hasta 40 cm de largo, provistos de un aerocisto periforme basal, para la flotabilidad (Hoffman & Santelices, 1997).

Las algas pardas laminariales poseen un ciclo de vida bifásico heteromórfico, donde se alternan gametofitos masculinos y femeninos microscópicos con esporofitos macroscópicos. Las plantas que se observan en las poblaciones naturales corresponden al esporofito. Tras alcanzar la madurez sexual, este esporofito forma zoosporas dentro de frondas especializadas (esporofilas o frondas reproductivas), los cuales son fácilmente reconocibles por el obscurecimiento del tejido. Dichas esporas son liberadas al mar, los que forman un 50% de gametofitos masculinos y 50% de gametofitos femeninos. Estas estructuras sexuales son microscópicas y crecen de forma independiente al esporofito. Tras ponerse reproductivos, estos gametofitos son capaces de formar espermatozoides (machos), los que son atraídos por las células huevos (producidas por las hembras) a través de hormonas. Se forman en consecuencia, cigotos, los que a través de sucesivas divisiones crecen y generan un recluta (pequeña plántula de pocos milímetros de diámetro) y posteriormente al individuo adulto completándose el ciclo (Westermeier *et al.*, 2005). (Fig. 1)

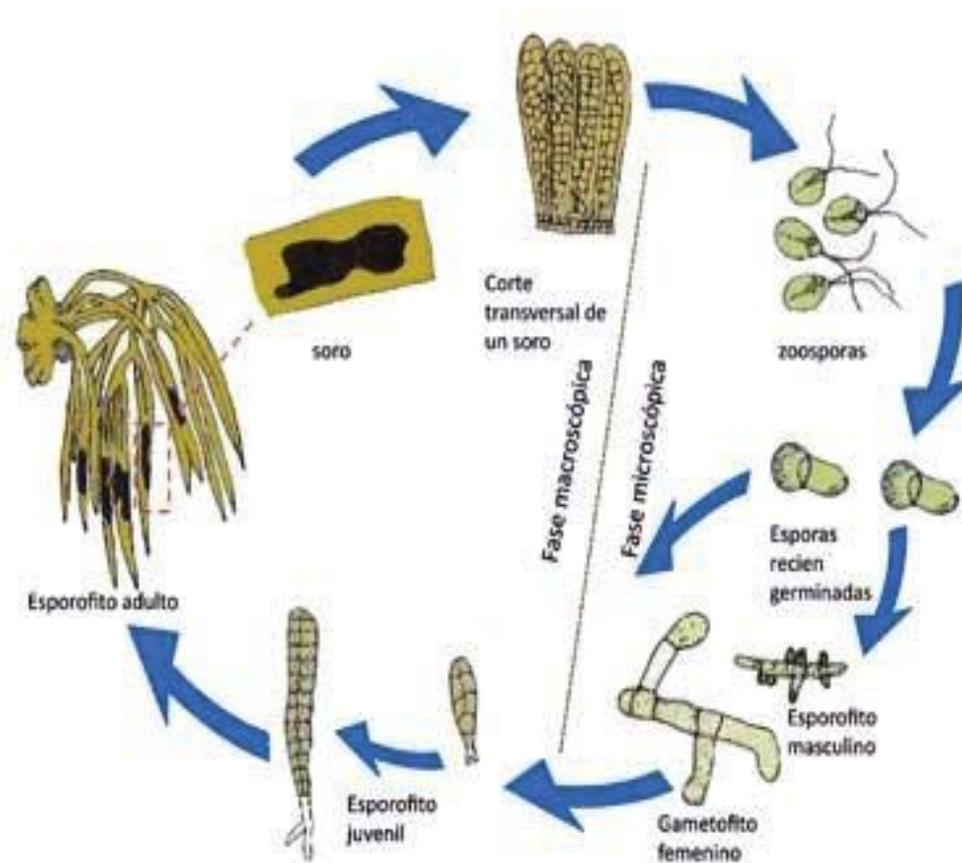


Figura 1. Ciclo de vida algas pardas. Fuente: Piel (2003).

3.2. Pesquerías

La pesquería de algas pardas es de tipo multiespecífica, involucrando a 5 especies: 2 del género *Macrocystis* (*M. pyrifera* y *M. integrifolia*), 2 del género *Lessonia* (*L. nigrescens* y *L. trabeculata*) y 1 del género *Durvillaea* (*D. antártica*). La pesquería de estas algas, se realiza específicamente recolectando algas varadas o cortando las algas que encuentran en sectores intermareales, lo cual permite que ésta, sea una actividad que no requiere de implementación (bajos costos de operación), ni de habilidades específicas. Además, dado el aislamiento geográfico de los sectores donde se desarrolla esta actividad y sumado a la dificultad de su fiscalización, un pescador o incluso un individuo no dedicado al rubro puede participar de la recolección o extracción directa, facilitando la sobreexplotación del recurso.

En relación a la pesquería de *Macrocystis sp* (Huiro macro), en el periodo comprendido entre los años 2002 y 2012 se puede observar un crecimiento de los desembarques desde 9.774 toneladas a 25.943 toneladas al final de este periodo a nivel nacional (Fig. 2).

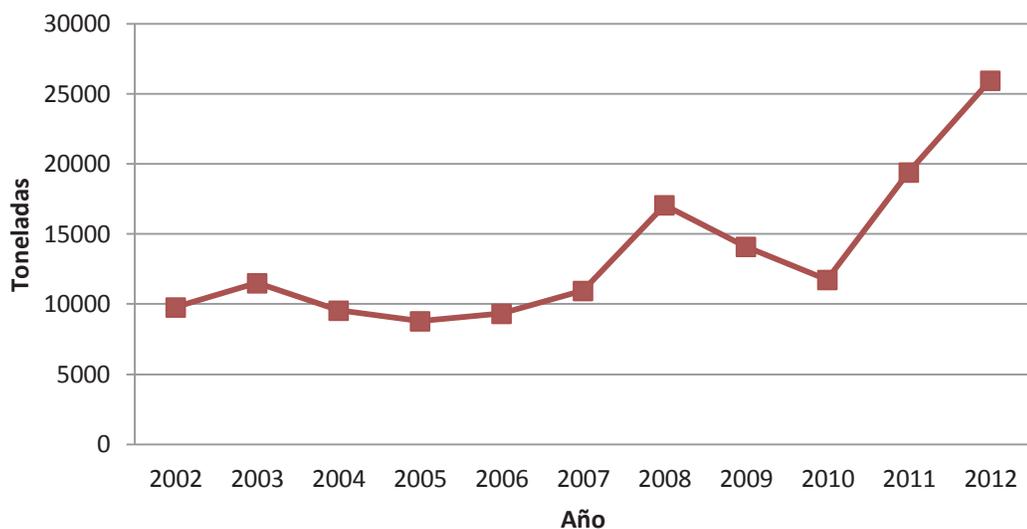


Figura 2. Desembarque nacional de *Macrocyctis sp.* (2002-2012). Fuente: SERNAPESCA (2012).

En cuanto a la localización de la pesquería, podemos observar, que la III y IV región son las que presentan los mayores desembarques en este periodo de tiempo, sin embargo, en el año 2012 en la X Región se produce un alza considerable, presentando los mayores desembarques a nivel nacional (Fig. 3).

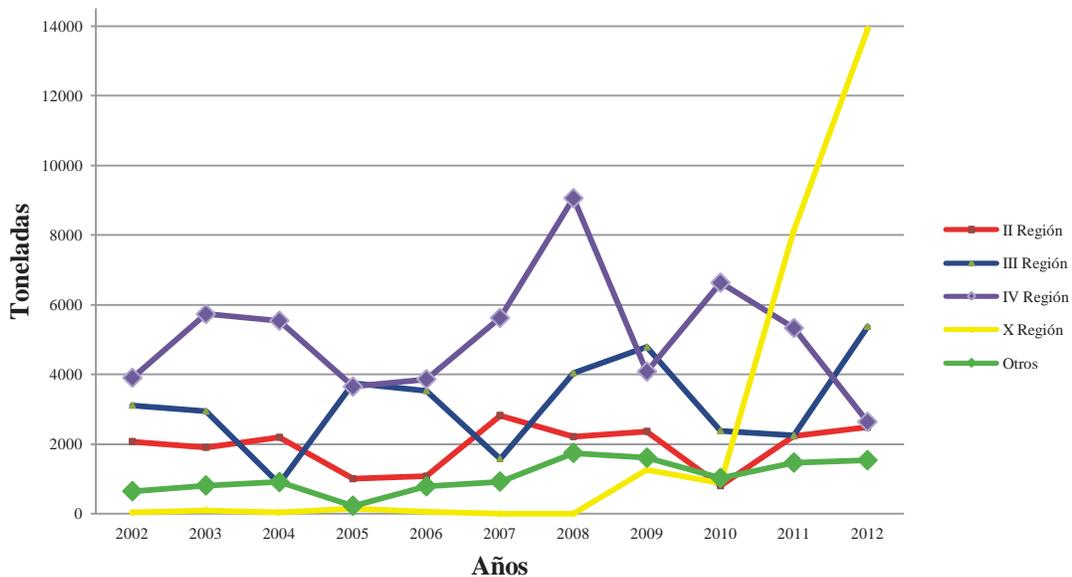


Figura 3. Desembarque de *Macrocyctis sp.* por región y año (2002-2012). Fuente: SERNAPESCA (2012).

3.3. Mercado

3.3.1. Mercado nacional

Las algas pardas se comercializan en el mercado nacional preferentemente como alga fresca y son utilizadas comúnmente como alimento de moluscos de cultivo, como es el caso del abalón. Este gastrópodo marino, posee hábitos herbívoros y, en su vida de juvenil y adulta, se alimenta naturalmente de macroalgas en orden del 10 al 30% de su peso corporal por día. Debido a esto, es necesario disponer de grandes cantidades de este alimento para mantener un cultivo (Muñoz, 2009).

Según la información que genera la administración del Registro Nacional de Acuicultura (RNA) y los datos de la actividad sectorial proporcionada por los propios usuarios a SERNAPESCA, en la III región, hasta septiembre del año 2013 se registran 57 centros de cultivo, de los cuales, 9 se dedican exclusivamente al abalón (SERNAPESCA, 2012).

En los últimos años, el requerimiento de algas pardas frescas por parte de los centros de cultivo se ha centrado en las regiones III, IV, V, XIV y X, siendo hasta diciembre del año 2012, la III región, la que presenta mayores requerimientos debido al número de centros dedicados a este rubro, así como también al gran tamaño de producción de éstos (Anexo I) (www.subpesca.cl).

Cabe destacar, que dentro de las empresas productoras y exportadoras de abalón y por consecuencia principales compradoras de algas ubicadas en la III región, se encuentran Cía. Pesquera Camanchaca S.A. y Cultivos Marinos San Cristóbal S.A., los cuales, son los mayores productores de abalón en Chile y en conjunto exportan el 39,41% de la producción nacional. (Anexo II)

3.3.2. Mercado internacional

Entre los años 2001 y 2011 las cantidades exportadas de algas pardas presentan una tendencia creciente alcanzando 56.136 toneladas (t) en el año 2011. Las algas pardas fueron exportadas como alga seca y subproductos como: ácido algínico, alginato y polímero natural. Entre éstos, el alga seca fue el producto que presentó el mayor volumen de exportación, concentrando el 97% del total exportado. El polímero natural y los alginatos tuvieron un 1,9% y 1% de incidencia respectivamente, en tanto que el ácido algínico fue marginal en el volumen exportado. En términos generales, los precios FOB mantienen la tendencia al alza, se observó un precio promedio de 953 US\$/t para alga seca, mejorando un 5% respecto del año 2010, los otros productos presentan un precio mayor observándose en el año 2011 un precio FOB de 10.660 US\$/t para ácido algínico, 18.500 US\$/t para polímero natural y 15.200 US\$/ton para alginatos.

En los últimos años el alga seca fue destinada a 7 países. El mercado más importante en volumen de exportación corresponde a China, concentrando el 75% de la cantidad total. Le

siguen en importancia Japón (12%), Noruega (8%) y Francia (5%), además de México e India (www.bcentral.cl).

3.4. Cultivo de algas pardas

El cultivo de algas pardas en Chile se desarrolló gracias a proyectos de estudios encabezados por el Dr. Renato Westermeier en la Universidad Austral de Chile, luego se comenzaron a realizar variaciones en el diseño de cultivo y actualmente se realiza en cuatro etapas: liberación de esporas, pre-cultivo en cuerdas o suspensión, cultivo en mar y cosecha.

3.4.1. Liberación de esporas

Para inducir a la esporulación, se requiere disponer de material biológico reproductivo maduro, el cual se recolecta mediante buceo y se almacena bajo condiciones de humedad, oscuridad y a una temperatura inferior a 10°C. El transporte debe ser rápido y evitando la exposición al aire y al sol.

Las frondas reproductivas se distinguen con facilidad ya que sobre la superficie de la hoja aparecen sectores de mayor pigmentación, las cuales presentan las zonas de concentración de esporas (soros). Luego, en el laboratorio, se deben seleccionar las frondas con mejor aspecto reproductivo y se deben lavar con bastante agua dulce, retirando los epífitos adheridos sobre estas superficies.

Posteriormente, los trozos de frondas lavados, se enjuagan dos o tres veces con agua de mar estéril filtrada a 0,45 µm, se secan y se dejan sobre un trozo de papel absorbente por 12 horas en oscuridad. Transcurrido este tiempo, se cortan las frondas con un bisturí en fragmentos de 2 por 2 cm y se depositan en una cubeta que contiene agua de mar estéril y enriquecida con medio nutritivo (solución provasoli).

La liberación de esporas ocurre después de la rehidratación de las frondas y se evidencia por la aparición de coloración en el agua (amarillo verdoso) alrededor de los fragmentos de fronda. Una vez que ha ocurrido una suficiente liberación de zoosporas, se procede a retirar los fragmentos desde el recipiente. La suspensión de zoosporas colectadas se vierte en volúmenes conocidos en bolsas plásticas estériles.

3.4.2. Pre cultivo en bastidores

En esta etapa, se utilizan cabos de variados diámetros y materiales como sustrato de fijación. El cabo se enrolla ordenadamente sobre un bastidor construido con un tubo de PVC. El bastidor se sumerge en un recipiente que contiene agua de mar fresca, estéril y enriquecida con medio nutritivo. Posteriormente, se vierte la suspensión acuosa de zoosporas sobre la superficie del bastidor y el sistema se deja en reposo sin realizar mayor manejo por un periodo

de 10 días, con fotoperiodo de 16:8 (luz : oscuridad), a 17°C y entre 1800 y 2000 lm/cm² de iluminación. Al cabo de este periodo las zoosporas han evolucionado a gametofitos (masculinos y femeninos), los cuales por fecundación han dado origen a esporofitos que se adhieren a las cuerdas. Después de este lapso, se renueva el agua con una frecuencia de 7 días (Fig. 4).



Figura 4. Pre-cultivo en cuerdas. Fuente: Piel *et al.* (2011)

3.4.3. Pre cultivo en suspensión

En este método de cultivo, las zoosporas colectadas, se mantienen en bolsas plásticas quedando inmóviles por un periodo de 7 a 10 días a la espera que germinen y los gametofitos se fijen a las paredes de la bolsa plástica. Durante esta fase las condiciones ambientales que deben brindarse son: fotoperiodo 16:8; entre 15 y 17°C; 2000 lm/cm².

Transcurridos los primeros 10 días, se vacía el agua de cada bolsa y se desprenden los gametofitos recién germinados que se han fijado a la pared de la bolsa, realizando movimientos suaves que permitan desprender pero sin dañar. Los gametofitos recolectados, se transfieren por medio de una pipeta a otra bolsa nueva conteniendo agua de mar fresca, estéril y enriquecida con medio nutritivo. El sistema se mantiene realizando renovación de agua y nutrientes cada 7 días hasta que se comprueba la presencia de esporofitos de aproximadamente 300 micras de longitud. Una vez asegurada la presencia de esporofitos por observación microscópica, el cultivo se transfiere a matraces o botellas de 2 litros dotadas de agitación constante mediante inyección de aire (Fig. 5).



Figura 5. Pre-cultivo en suspensión. Fuente: Piel *et al.* (2011).

El proceso de pre cultivo se puede realizar en volúmenes mayores en estanques de fibra de vidrio cilíndricos. Sin embargo, la densidad de cultivo debe ser vigilada constantemente dado que la absorción de nutrientes ocurre a una tasa bastante rápida por lo cual se puede afectar el crecimiento. Esta etapa de pre cultivo, termina en el momento en que las plántulas tienen la longitud adecuada para ser sembradas (Fig. 6).

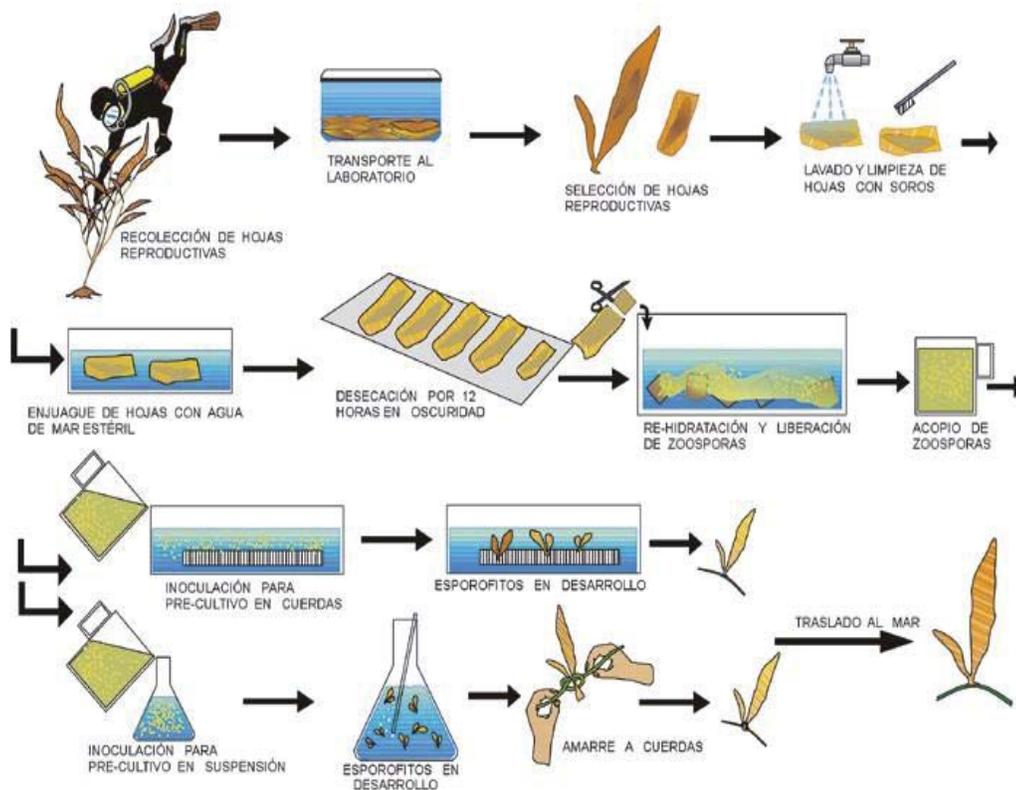


Figura 6. Resumen esquemático del procedimiento de producción de macroalgas pardas en laboratorio. Fuente: Piel *et al.* (2011).

3.4.4. Cultivo en mar

Los cultivos de macroalgas en mar, se realizan en long line y está compuesto por: dos o cuatro orinques (cabos de propileno) con anclaje, boyas de superficie, estabilizadores y línea madre, todos estos elementos, otorgan estabilidad al sistema de cultivo (Fig. 7). El anclaje o fondeo consiste en un cubo de concreto, que tiene en su parte superior un anillo central del cual se amarra el orinque y dos laterales que se utilizan para posicionar el fondeo o para realizar la labor de tensado de la línea en caso que se requiera.

El peso del cubo de concreto, se estima según el área en el cual se desarrolle el cultivo, teniendo en cuenta como principal factor las corrientes marinas presentes en el sector. En los cultivos realizados en Bahía Inglesa se utilizan de 250 kg de peso.

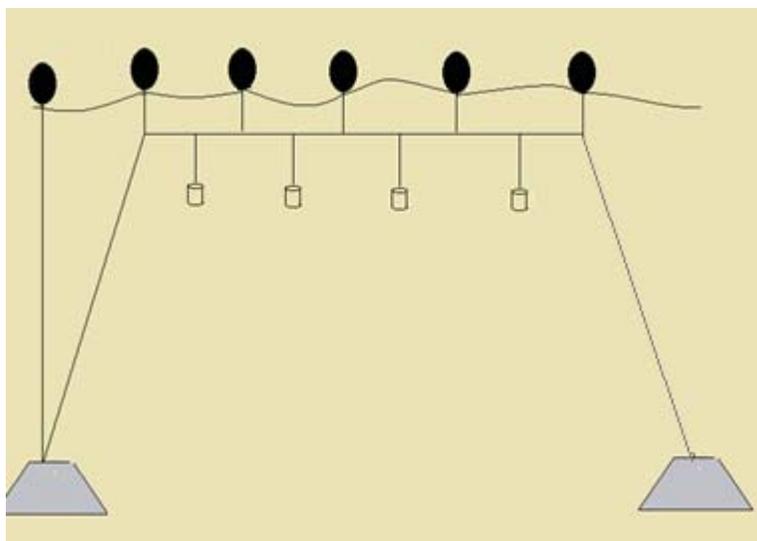


Figura 7. Sistema de cultivo long line. Fuente: Rojas & Jiménez (1987).

El método de cultivo en mar de algas se define principalmente en base a la modalidad que se trabaja en la etapa de pre-cultivo, por lo tanto diferenciamos el cultivo en mar proveniente de un pre-cultivo en cuerdas y el cultivo en mar proveniente de un pre cultivo en suspensión.

El cultivo en mar proveniente de pre cultivo en cuerdas se realiza una vez que se comprueba la fijación de las zoosporas en los cordeles de los bastidores y se llevan al mar en cajas de plumavit, cubiertas con esponjas húmedas, evitando el roce entre ellos para que no ocurran desprendimientos. El número de bastidores a trasladar dependerán del largo de la línea madre y de la longitud del cordel enrollado en el bastidor.

El cultivo en mar proveniente de pre cultivo en suspensión se realiza cuando las plántulas obtenidas en el laboratorio, alcanzan la longitud a la cual queremos realizar la siembra (de 2 a 10 cm), se comienzan a encordar individualmente en trozos de cuerdas (más o

menos 5 cm), los cuales a su vez se amarran a un cabo de mayor diámetro con abrazaderas plásticas y se trasladan al mar para ser instalados en líneas madres del tipo long line (Fig. 8).



Figura 8. Plántulas encordadas en laboratorio. Fuente: Piel *et al.* (2011).

3.4.5. Cosecha

La cosecha se lleva a cabo durante todo el año, desde que se obtienen plantas con la longitud deseada o desde que se cumple con el tiempo estimado de cultivo. La forma de cosecha, es el levantamiento de la línea madre, desprendiendo las algas en forma manual y luego transportando en chinguillos hacia el centro de cultivo (Fig. 9).



Figura 9. Cosecha de algas de cultivo. Fuente: www.seia.sea.gob.cl.

3.5. Repoblamiento y manejo

En la III región se han desarrollado planes de manejo y repoblamiento, específicamente en Bahía Chasco, aproximadamente 60 km hacia el sur de la ciudad de Caldera. Dentro de los métodos con mejores resultados se encuentran:

- Siembra de fragmentos de disco que contienen al menos un estipe y varias frondas en bolones de rocas, los cuales se fijan a los bolones de rocas con pegamento o elásticos.
- Siembra masiva de esporofilas (frondas productivas) en mallas de algodón sobre bolones en fondo marino. Estas mallas se degradan al poco tiempo de su inmersión en el agua de mar, con lo cual el disco de la planta queda fijado a los bolones.

3.6. Legales

Desde el año 2012 y a partir de la Resolución N°2684/2012 se formó el Comité de manejo de Algas Pardas III Región, el cual está conformado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Secretaría Regional Ministerial de Economía, Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, y todos los Sindicatos de Pescadores Artesanales y Buzos Mariscadores que operan en la III Región. Este comité se constituyó, debido a que era necesario adoptar medidas de administración que tendieran hacia un ordenamiento de la actividad y a evitar que se pusieran en peligro los stocks de los recursos algales en la región.

En Diciembre del año 2012, se aplican las siguientes medidas de administración propuestas por el comité de manejo de algas pardas para los recursos algales denominados “huiros”:

- Suspensión transitoria de la inscripción en el RPA en la III Región de Atacama y IV Región de Coquimbo (Res. Ex. N°894/2009), en la categoría correspondiente, por parte de los pescadores artesanales. Además, los pescadores artesanales deben demostrar habitualidad de explotación en forma anual al menos una vez al mes durante los tres meses declarados entre Abril y Noviembre.
- Recomendación de criterios de explotación, exclusivamente en áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB) para las cuales una o más de las especies que componen el recurso objetivo constituyen especies principales de sus planes de manejo.
- El comité propone establecer una cuota de extracción y sólo pudiendo extraer y comercializar el alga desprendida naturalmente en varaderos y pozones.

- En relación a la talla mínima de extracción de la especie *Macrocystis sp.* se permite la poda del dosel a 1,5 m de la superficie, dado que las estructuras reproductivas del recurso se ubican en frondas específicas de las porciones inferiores de la planta lo que permite que se continúe reproduciendo.
- Con la finalidad de limitar la extracción activa que desarrollan usuarios ocasionales en la pesquería de algas pardas, se establece una prohibición de extracción activa para los recursos *Lessonia nigrescens* y *Macrocystis sp* en el área marítima de la región de Atacama. Para esta última, se prohíbe la remoción completa, ya sea por extracción con barra u otro medio. Dicha restricción temporal de la actividad se aplicará desde el día 1 de Enero hasta el día 28 de Febrero en periodo estival y desde el 1 al 31 de Julio en periodo invernal.

Luego de varias sesiones realizadas por el comité de plan de manejo y el comité asesor científico, el día 16 de Octubre del año 2013 a través del Decreto Exento N°1081, se establece veda extractiva sobre los recursos Huiro Negro, Huiro Palo y Huiro Macro en el área marítima de la III Región desde esta fecha hasta el 31 de Diciembre del año 2013. Posterior a este decreto, el día 31 de Diciembre del año 2013, se promulga el Decreto Exento N°1499 el cual establece veda extractiva para estos tres recursos a partir de esta fecha hasta el día 28 de Febrero del 2014.

El día 17 de Enero del 2014, se promulga el Decreto Exento N°12 y se establece cuota anual de captura en el área marítima de la III Región de 64.000 toneladas para *Lessonia nigrescens*, 13.696 toneladas para *Lessonia trabeculata* y 5.600 toneladas para *Macrocystis sp.* La cuota asignada para este último recurso, se distribuye temporal y espacialmente de la siguiente manera: 5,7 toneladas para la provincia de Chañaral, 4006,4 toneladas para la provincia de Copiapó y 1587,9 toneladas para Huasco.

El día 24 de Abril del año 2014, posterior a la entrega del informe técnico N°072/2014, se establece el Decreto Exento N°199, el cual modifica la distribución de cuota anual para el recurso *Macrocystis sp.* y la redistribuye otorgando 3966,3 toneladas a Bahía Chasco y 1633,7 toneladas a repartir en las tres provincias.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área y período de estudio

La localidad donde se realizó este estudio corresponde a Bahía Inglesa ($27^{\circ}7'S$ $70^{\circ}52'W$), aproximadamente a 6 kilómetros de la ciudad de Caldera. El periodo de estudio comprendió la liberación de esporas (20 de Junio de 2012), el periodo de siembras (entre Julio y Septiembre de 2012) y el periodo de cosecha de algas (entre Noviembre de 2012 hasta Abril de 2013).

4.2. Metodología de cultivo

La primera etapa de cultivo, se realizó en hatchery y consistió en pre cultivo con bastidores, luego, en la segunda etapa, los bastidores fueron sembrados en mar y finalmente las algas fueron cosechadas (Fig. 10).

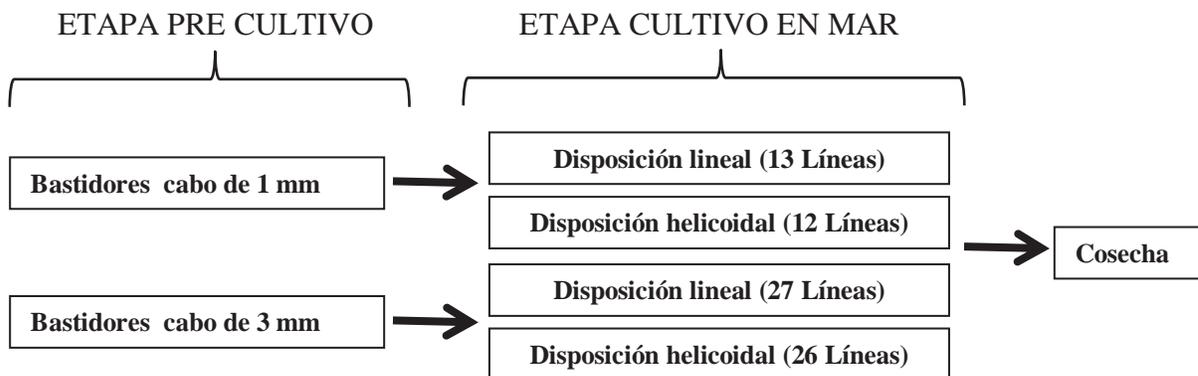


Figura 10. Esquema representativo de experiencias de cultivo realizadas en este trabajo según etapa de cultivo, diámetro del cabo y disposición del cabo en las líneas.

4.2.1. Etapa de pre cultivo

En esta etapa, se utilizaron como bastidores, tubos de PVC de 45 cm de largo y 5 cm de diámetro. Se dispusieron para la fijación de esporas, 137 bastidores con 40 metros de cabo algodón de 1 mm de diámetro y 344 bastidores con 32 metros de cabo 3 mm de diámetro.

Luego de 40 días aproximadamente, se realizó el envío de bastidores al mar, una determinada la fijación de las esporas en estos cabos.

4.2.2. Cultivo en mar

Las siembras se realizaron en long line de 200 metros y 24 mm de diámetro y el sistema fue estabilizado a 3 metros de profundidad.

Se realizaron 4 métodos de siembra, combinando la disposición del cabo en la línea madre, es decir, en forma lineal o helicoidal y el diámetro del material utilizado para la fijación de las esporas. Las siembras de algas se realizaron de la siguiente manera:

- 13 líneas con disposición lineal y con material de fijación de diámetro 1 mm (65 bastidores).
- 27 líneas con disposición lineal y con material de fijación de diámetro 3 mm (162 bastidores).
- 12 líneas con disposición helicoidal y con material de fijación de diámetro 1 mm (72 bastidores).
- 26 líneas con disposición helicoidal y con material de fijación de diámetro 3 mm (182 bastidores).

Para realizar las siembras con disposición del cabo lineal u horizontal en material de 1 y 3 mm se desarrolló el procedimiento que se detalla a continuación. Se levantó la línea madre y se anudó al comienzo de ésta, un extremo del cordel enrollado en el bastidor, luego se dispuso en forma paralela a la línea madre el cordel con las esporas fijadas, afirmándolo con abrazaderas plásticas más o menos a 50 cm de distancia (Fig. 11).



Figura 11. Disposición del cabo lineal en línea madre.

En una línea de 200 metros se instalan 5 bastidores, 5 boyas de superficie y 12 estabilizadores de 1 kg (uno al comienzo del long line y uno al final, los 10 restantes se ubican cada 20 metros, es decir, se deben ubicar 2 por cada bastidor sembrado).

Para realizar las siembras con disposición del cabo helicoidal en material de 1 y 3 mm, se desarrolló el siguiente procedimiento. Se levantó la línea madre y se anudó al comienzo de ésta un extremo del cordel, luego, se comenzó a enrollar el cabo alrededor de la línea madre en forma helicoidal. Cada 30 cm aproximadamente se ubicaron abrazaderas plásticas para evitar que se soltara el cordel. El número de boyas y de estabilizadores se ubicaron de modo que la línea madre se mantuviera sumergida más o menos a 3 metros de profundidad, igual que en la siembra lineal (Fig. 12).



Figura 12. Disposición del cabo helicoidal en línea madre.

En una línea de 200 metros se pueden sembrar más o menos 7 bastidores, debido que al ir enrollando el cabo en un metro de línea, se debe ubicar más de un metro de cordel por la pérdida que se produce entre vuelta y vuelta. Se instalan 7 boyas de superficie y 16 estabilizadores de 1 kg cada uno, al igual que en el método anterior.

4.2.3. Cosecha

Esta etapa, se realiza después de 100 días de siembra en mar y al amanecer, el método consiste en levantar la línea madre, desprender los discos de las algas de la línea madre en forma manual y depositarlos dentro de chinguillos y finalmente se transportan hacia el centro de cultivo.

La cosecha de una línea de algas demora aproximadamente una hora y el tiempo de traslado desde la línea hasta el centro de cultivo no demora más de 20 minutos, por lo tanto, el tiempo desde que son cosechadas hasta que llegan al centro de cultivo, no supera una hora veinte minutos.

Las algas cosechadas, se disponen en chinguillos y son tapadas para evitar la acción del sol sobre ellas. Una vez que llegan los chinguillos a las instalaciones en tierra, se realiza medición y pesaje de muestras, además, del pesaje de los chinguillos por línea cosechada.

A medida que se va cosechando la línea, se van tomando 10 muestras de plantas al azar por línea de cultivo. Para medir las plantas, se utiliza una huincha metálica de 10 m y para el pesaje, se utiliza una balanza electrónica con capacidad de 6 Kg. Para el pesaje de la totalidad de las algas cosechadas por línea en chinguillos, se utiliza una balanza de reloj colgante con capacidad de 100 kg.

4.3. Cálculo de crecimiento

- Crecimiento en longitud por día de vida

Por medio del muestreo aleatorio realizado, se estima la longitud promedio de las algas cosechadas. Con este valor, se determina el crecimiento en longitud (mm) por día de cada línea cosechada.

$$\text{Crecimiento en longitud} = \left(\frac{\text{Longitud promedio alga cosechada}}{\text{Días hatchery} + \text{Días mar}} \right)$$

- Crecimiento en peso por día de vida

Por medio de un muestreo aleatorio que se realiza a cada una de las líneas cosechadas, se estima el peso promedio (g) de las algas cosechadas. Con este valor, se determina el crecimiento en peso por día de cada línea cosechada.

$$\text{Crecimiento en peso} = \left(\frac{\text{Peso promedio de alga cosechada}}{\text{Días hatchery} + \text{Días mar}} \right)$$

4.4. Cálculo de biomasa por línea de cultivo

Se determina la biomasa de cada línea, sumando el valor de todos los chinguillos de algas cosechadas por línea y se resta 1,2 kilogramos por cada chinguillo utilizado en la cosecha, de esta forma no se considera el peso del chinguillo en el peso total de algas cosechadas.

$$\text{Biomasa} = (\text{Peso total de chinguillos} - (\text{N}^\circ \text{ de chinguillos} * 1,2))$$

4.5. Cálculo de rendimiento

- Rendimiento por metro lineal

Para calcular el rendimiento por metro lineal, se debe considerar el rendimiento obtenido por cada línea en gramos y el número de metros de la línea que fue sembrada.

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{\text{Peso total de la línea cosechada}}{\text{Número de metros de línea sembrada}} \right)$$

- Rendimiento por metro lineal por día de vida

Para realizar el cálculo de rendimiento por metro lineal por día de vida, se utiliza el rendimiento por metro lineal y este valor es dividido por el número de días de vida de las algas que fueron sembradas en esa línea. Para obtener el número de días de vida, se debe sumar el número de días en etapa hatchery y el número de días en etapa mar.

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{\text{Rendimiento}}{\text{Días hatchery} + \text{Días mar}} \right)$$

4.6. Análisis de datos

Una vez obtenidos los datos de crecimiento en peso, longitud y rendimiento, con la información de 78 líneas de algas sembradas, provenientes de la misma esporulación, se elaboró una base de datos y se construyó una planilla de cálculo en Microsoft Excel.

También, se construyeron diagramas de cajón con bigotes o box plot mediante Grapher 3 de Golden Software, visualizando y comparando características importantes de las muestras en estudio, tales como dispersión y simetría de los datos, debido a que representa el recorrido intercuartílico, indica la mediana y los valores mínimos y máximos.

Con respecto al análisis estadístico, se utilizó el programa SSPS Statistics de IBM para realizar un análisis integral de los datos. En primera instancia, para obtener un análisis de estadística descriptiva, el cual permitió determinar medias y desviaciones estándar, reflejando la dispersión de los datos.

A continuación, se utilizó el mismo software y se realizó el Test de Levene, el cual es uno de los pasos previos al análisis de varianza, ya que determina si las varianzas en tales muestras son iguales, es decir, determina si se cumple la condición de homogeneidad de varianza o homoscedasticidad, una vez descartado este principio, y con la utilización del programa SSPS Statistics, se realizó un análisis de varianza multifactorial para determinar si

existían diferencias entre las medias, con un intervalo de confianza $\alpha = 0,5$. Para este estudio, se analizó si el rendimiento de las líneas de cultivo se explicaba por el diámetro del material de fijación, la disposición del cabo en la línea madre o una combinación de ambos.

5. RESULTADOS

5.1. Crecimiento en longitud

Los mayores crecimientos en cuanto a incremento de longitud por día, se observan en las siembras realizadas con el método helicoidal en ambos diámetros del material de fijación, alcanzando valores superiores a 7 mm por día. Las siembras con el método lineal, presentan crecimientos cercanos a 6 mm por día en cabo de 1 y 3 mm (Tabla 1).

En relación a la desviación estándar, se obtuvo el mayor valor en la disposición del cabo helicoidal y diámetro 3 mm (2,70 mm por día) y el menor valor en la disposición lineal y diámetro del cabo igual a 1 mm (1,22 mm por día) (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación del crecimiento en longitud (mm día⁻¹) según el material de fijación utilizado y su disposición en la línea de cultivo.

Diámetro del cabo	Disposición del cabo	Crecimiento medio (mm día ⁻¹)	Desviación estándar (mm día ⁻¹)	Nº de líneas
3 mm	Helicoidal	7,56	2,70	26
	Lineal	6,16	1,24	27
	Total	6,84	2,19	53
1 mm	Helicoidal	7,07	1,65	12
	Lineal	6,26	1,22	13
	Total	6,65	1,47	25
Total	Helicoidal	7,40	2,41	38
	Lineal	6,19	1,22	40
	Total	6,78	1,98	78

En la Figura 13 se puede observar que el crecimiento de longitud en mm por día, tiene medianas entre 6 y 8 mm por día para los métodos de siembra utilizados, obteniéndose las mayores desviaciones de los datos en la disposición del cabo helicoidal de 3 mm y la disposición lineal de 1 mm.

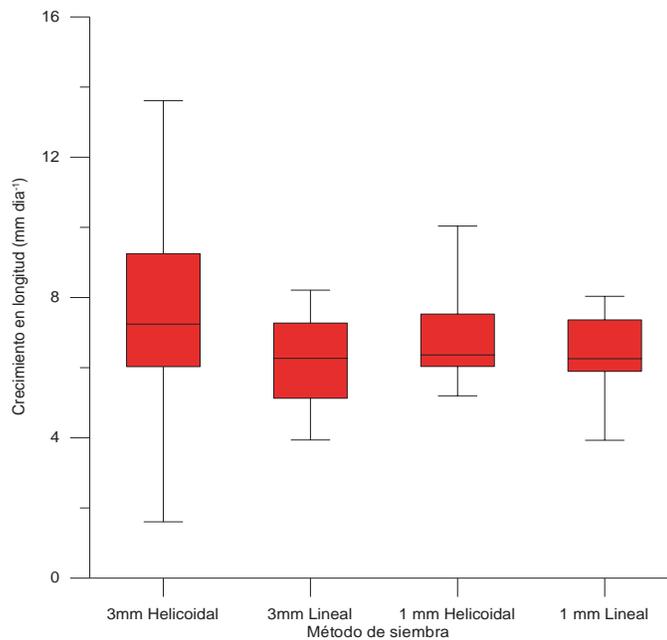


Figura 13. Crecimiento en longitud (mm día⁻¹) según el método de siembra utilizado.

Al realizar el análisis factorial de la varianza, se observa que la hipótesis de nulidad es rechazada para la variable ‘Disposición del cabo’ (valor $p=0,02$), lo cual indica que la diferencias de crecimiento diario del alga dependen de esta variable (Tabla 2). Por su parte, tanto el ‘Material de fijación’ como el efecto combinado de las variables anteriores no producen un efecto significativo sobre el crecimiento diario del alga en longitud ($p=0,176$ y $p=0,522$, respectivamente).

Tabla 2. Cuadro resumen ANOVA multifactorial entre grupos, variable dependiente crecimiento en longitud (mm día⁻¹) y factores fijos material de fijación y disposición del cabo.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	30,832 ^a	3	10,277	2,801	0,046
Material de Fijación	0,646	1	0,646	0,176	0,676
Disposición del cabo	20,722	1	20,722	5,647	0,020
Material de Fijación * Disposición del cabo	1,515	1	1,515	0,413	0,522

5.2. Crecimiento en peso

Los resultados muestran que existe un promedio del crecimiento en peso entre 3,85 y 4,97 gramos por día utilizando como material de fijación cabo de 3 mm y un promedio de crecimiento de 3,90 y 4,69 gramos por día en cabo de 1 mm (Tabla 3).

En la Tabla 3, se puede observar que en las dos disposiciones del cabo en la línea madre, las menores desviaciones se producen en cabo de 3 mm, siendo la disposición del cabo lineal la que registra el menor valor de 2,25 gramos por día.

Tabla 3. Comparación del crecimiento en peso (g día^{-1}) según el material de fijación utilizado y su disposición en la línea de cultivo.

Diámetro del cabo	Disposición del cabo	Crecimiento medio (g día^{-1})	Desviación estándar (g día^{-1})	N° de líneas
3 mm	Helicoidal	4,97	2,57	26
	Lineal	3,85	2,25	27
	Total	4,40	2,46	53
1 mm	Helicoidal	4,69	3,20	12
	Lineal	3,90	3,50	13
	Total	4,28	3,31	25
Total	Helicoidal	4,88	2,74	38
	Lineal	3,87	2,67	40
	Total	4,36	2,74	78

En la Figura 14 se puede observar que el crecimiento en peso, tiene medianas entre 3 y 5 gramos por día para los métodos de siembra utilizados, obteniéndose las mayores amplitudes de los rangos intercuartiles en la disposición del cabo helicoidal en ambos diámetros de cabo.

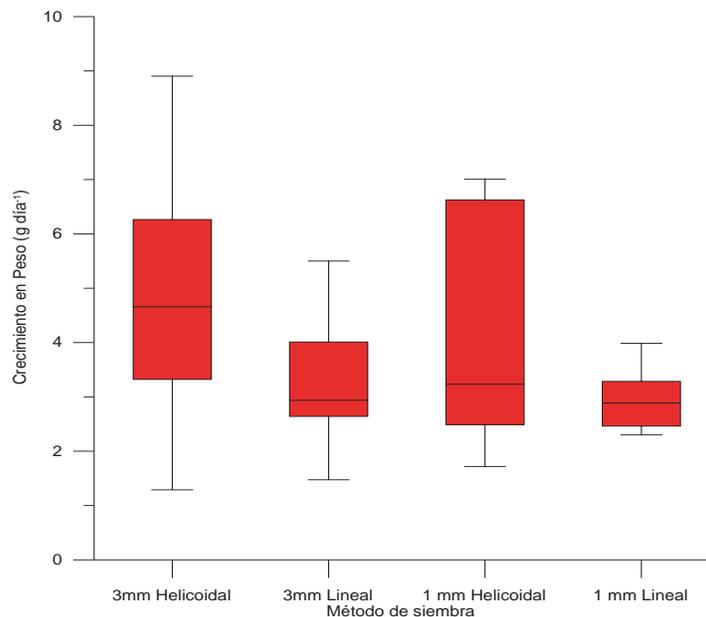


Figura 14. Crecimiento en peso (g día^{-1}) según el método de siembra utilizado.

Al realizar el análisis multifactorial, se observa que no existen diferencias significativas en las medias, por lo tanto las variables ‘Material de fijación’, ‘Disposición del cabo’ o el efecto combinado de estas variables, no producen un efecto significativo sobre el crecimiento diario del alga en peso ($p = 0,859$, $p = 0,156$ y $p = 0,808$, respectivamente).

Tabla 4. Cuadro resumen ANOVA multifactorial entre grupos, variable dependiente crecimiento en peso (g día^{-1}) y factores fijos material de fijación y disposición del cabo.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	20,738 ^a	3	6,913	0,915	0,438
Material de Fijación	0,240	1	0,240	0,032	0,859
Disposición del cabo	15,484	1	15,484	2,050	0,156
Material de Fijación * Disposición del cabo	0,449	1	0,449	0,059	0,808

5.3. Biomasa por línea de cultivo

En relación a los resultados obtenidos de biomasa por línea de cultivo, se puede indicar que la disposición en forma lineal en sus dos diámetros de cabos, alcanza mayores promedios de retorno que la disposición del cabo helicoidal y estos valores van entre 573 y 622 kilogramos (Tabla 5).

Al realizar una comparación entre ambas disposiciones de siembra, en cuanto a la desviación estándar de sus datos, se observa que los menores valores se dan en la disposición helicoidal en cabo de 1 y 3 mm, específicamente en cabo de 1 mm con 199 kilogramos.

Tabla 5. Comparación de biomasa producida por línea de cultivo (kg) según el material de fijación utilizado y su disposición en la línea de cultivo.

Diámetro del cabo	Disposición del cabo	Biomasa media (kg)	Desviación estándar (kg)	N° de líneas
3 mm	Helicoidal	308,96	265,80	26
	Lineal	573,18	290,84	27
	Total	443,56	306,66	53
1 mm	Helicoidal	205,83	199,11	12
	Lineal	622,00	288,35	13
	Total	422,24	323,69	25
Total	Helicoidal	276,39	248,76	38
	Lineal	589,05	287,24	40
	Total	436,73	310,27	78

En la Figura 15 se observa que con respecto a la biomasa producida por la línea de cultivo, se obtienen medianas entre 300 y 500 kilogramos, obteniéndose las mayores amplitudes de los rangos intercuartiles en el cabo de 3 mm en ambas disposiciones del cabo.

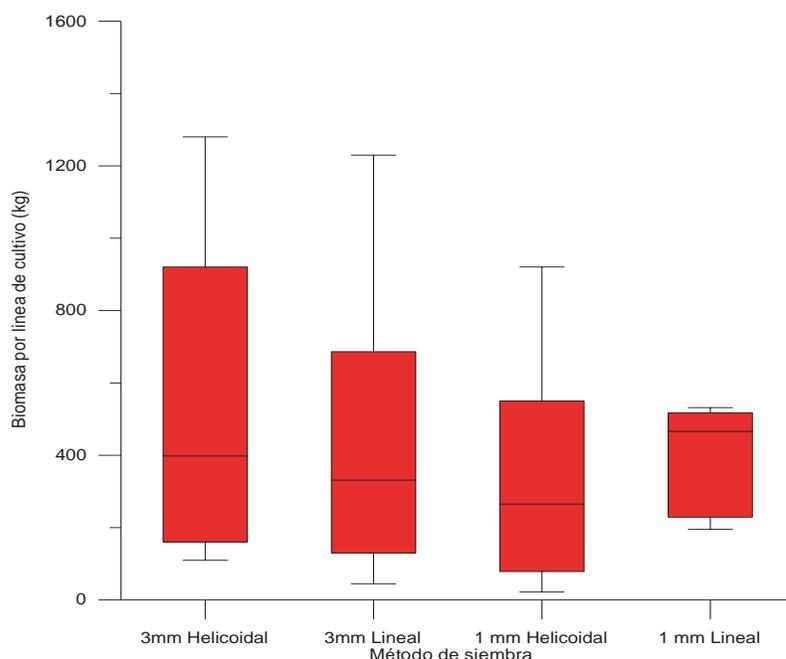


Figura 15. Biomasa por línea de cultivo (kg) según el método de siembra utilizado.

Al realizar el análisis multifactorial, se observa que la hipótesis de nulidad es rechazada para la variable ‘Disposición del cabo’ (valor $p=0,00$), lo cual indica que las diferencias de biomasa por línea de cultivo dependen de esta variable (Tabla 6). Por su parte, tanto el ‘Material de fijación’ como el efecto combinado de las variables anteriores no producen un efecto significativo sobre la biomasa obtenida por línea de cultivo ($p=0,680$ y $p=0,250$, respectivamente)(Tabla 6).

Tabla 6. Cuadro resumen ANOVA multifactorial entre grupos, variable dependiente biomasa producida por línea cultivo (kg) y factores fijos material de fijación y disposición del cabo.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2013168,644	3	671056,215	9,197	<0,001
Material de Fijación	12512,755	1	12512,755	0,171	0,680
Disposición del cabo	1963610,556	1	1963610,556	26,911	<0,001
Material de Fijación * Disposición del cabo	97926,588	1	97926,588	1,342	0,250

5.4. Rendimiento en peso por metro lineal

Al analizar el rendimiento promedio en peso por metro lineal, los mayores valores se encuentran en la disposición del cabo lineal en material de 3 y 1 mm, 2.775 y 2.633 gramos por metro, respectivamente. Es importante destacar, que las mayores desviaciones de los datos también se encuentran en este tipo de disposición del cabo. (Tabla 7).

Tabla 7. Comparación del rendimiento en peso (g m^{-1}) por metro lineal según el material de fijación utilizado y su disposición en la línea de cultivo.

Diámetro del cabo	Disposición del cabo	Rendimiento medio (g m^{-1})	Desviación estándar (g m^{-1})	Nº de líneas
3 mm	Helicoidal	1809,47	1162,28	26
	Lineal	2775,97	2168,51	27
	Total	2301,84	1799,62	53
1 mm	Helicoidal	1376,98	960,39	12
	Lineal	2633,44	1317,98	13
	Total	2030,34	1304,51	25
Total	Helicoidal	1672,90	1108,37	38
	Lineal	2729,65	1916,77	40
	Total	2214,82	1653,42	78

En relación al rendimiento obtenido por metro lineal, se observa que las medianas en la disposición del cabo lineal alcanzan valores superiores a los 2.000 gramos por metro lineal en ambos diámetros. Sin embargo la disposición helicoidal alcanza su mayor valor en cabo de 3 mm y es de aproximadamente 1.600 gramos por metro lineal. En cuanto a los rangos intercuartiles, se observa que son mayores en la disposición de siembra lineal en material de 1 y 3 mm (Fig. 16).

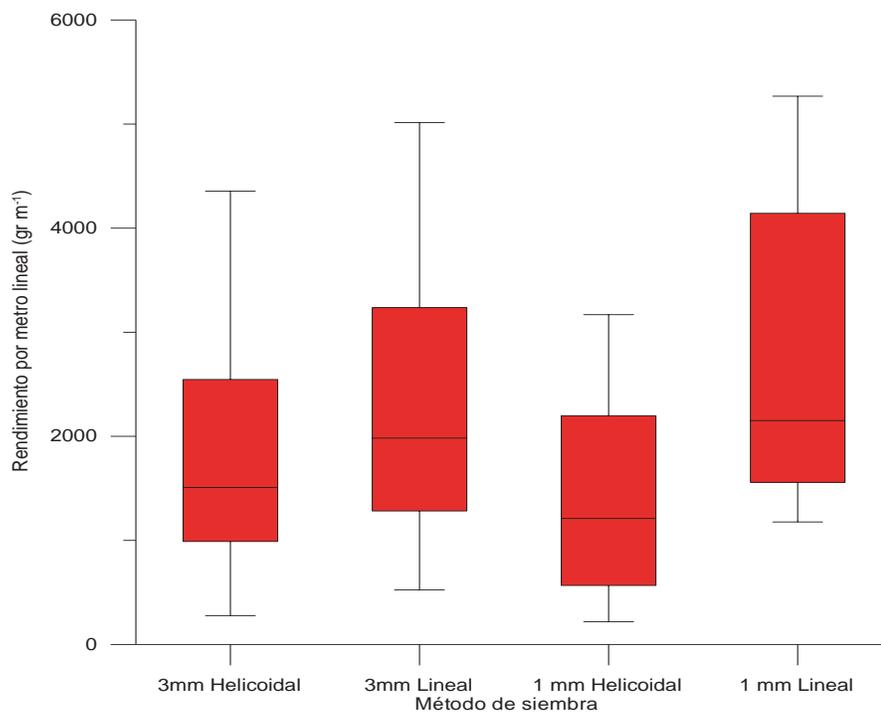


Figura 16. Rendimiento en peso por metro lineal (g m^{-1}) según el método de siembra utilizado.

Al realizar el análisis multifactorial, se observa que la hipótesis de nulidad es rechazada para la variable ‘Disposición del cabo’ (valor $p = 0,005$), lo cual indica que las diferencias de rendimiento en peso por metro lineal dependen de esta variable (Tabla 8). Por su parte, tanto el ‘Material de fijación’ como el efecto combinado de las variables anteriores no producen un efecto significativo sobre el crecimiento diario del alga en longitud ($p = 0,459$ y $p = 0,708$, respectivamente) (Tabla 8).

Tabla 8. Cuadro resumen ANOVA multifactorial entre grupos, variable dependiente rendimiento por metro lineal (g m^{-1}) y factores fijos material de fijación y disposición del cabo.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	23475758,12	3	7825252,707	3,096	0,032
Material de Fijación	1402517,32	1	1402517,316	0,555	0,459
Disposición del cabo	20960411,41	1	20960411,411	8,293	0,005
Material de Fijación * Disposición del cabo	356635,47	1	356635,469	0,141	0,708

5.5. Rendimiento en peso por metro lineal por día de vida

En el cabo de 3 mm, en sus dos modalidades de disposición del cabo, se observaron promedios de rendimiento superior a 11 gramos por metro lineal por día, la disposición lineal tuvo un promedio de 11,01 y la disposición helicoidal 11,58 gramos por metro lineal. Con respecto a la utilización de cabo de 1 mm, se observa un promedio de 9,18 gramos por metro lineal por día con la disposición lineal y 7,91 en la disposición helicoidal (Tabla 9).

Tabla 9. Comparación del rendimiento en peso ($\text{g m}^{-1}\text{día}^{-1}$) por metro lineal por día según el material de fijación utilizado y su disposición en la línea de cultivo.

Diámetro del cabo	Disposición del cabo	Rendimiento medio ($\text{g m}^{-1}\text{día}^{-1}$)	Desviación estándar ($\text{g m}^{-1}\text{día}^{-1}$)	Nº de líneas
3 mm	Helicoidal	11,58	9,31	26
	Lineal	11,01	7,82	27
	Total	11,29	8,50	53
1 mm	Helicoidal	7,91	4,94	12
	Lineal	9,18	4,47	13
	Total	8,57	4,65	25
Total	Helicoidal	10,42	8,29	38
	Lineal	10,42	6,90	40
	Total	10,42	7,56	78

En relación al rendimiento obtenido por metro lineal por día, se observa que las medianas toman valores entre 5 y 10 gramos por metro lineal por día de vida. Teniendo los valores más altos las siembras realizadas con cabo de diámetro 3 mm (Fig. 16).

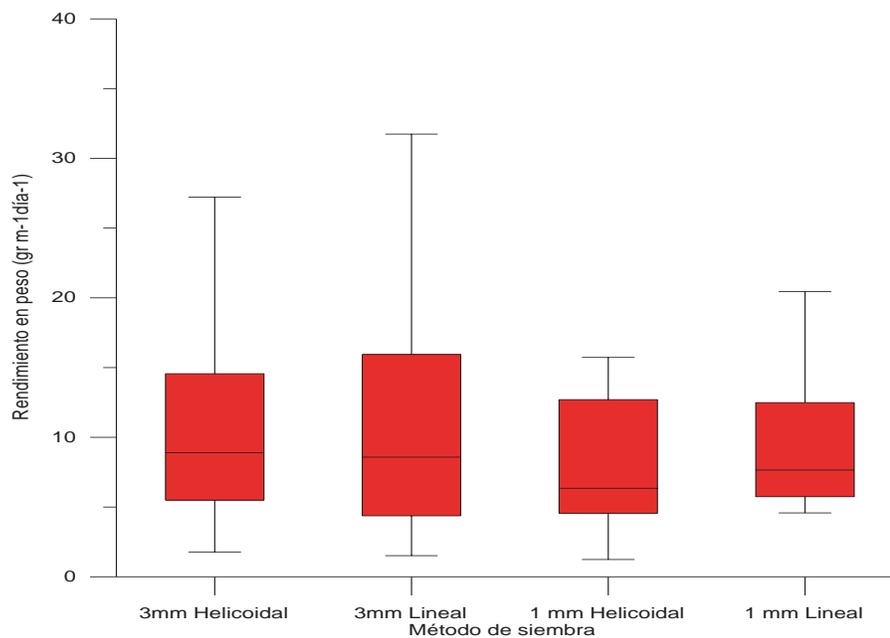


Figura 17. Rendimiento de cultivo en peso ($\text{g m}^{-1}\text{día}^{-1}$) según el método de siembra utilizado..

Al realizar el análisis multifactorial, se observa que no existen diferencias significativas en las medias, por lo tanto las variables ‘Material de fijación’, ‘Disposición del cabo’ o el efecto combinado de estas variables, no producen un efecto significativo sobre el rendimiento de cultivo diario del alga en peso ($p = 0,140$, $p = 0,851$ y $p = 0,620$, respectivamente) (Tabla 10).

Tabla 10. Cuadro resumen ANOVA multifactorial entre grupos, variable dependiente rendimiento ($\text{gr m}^{-1}\text{día}^{-1}$) y factores fijos material de fijación y disposición del cabo.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	140,127 ^a	3	46,709	0,810	0,493
Material de Fijación	128,505	1	128,505	2,227	0,140
Disposición del cabo	2,060	1	2,060	0,036	0,851
Material de Fijación * Disposición del cabo	14,317	1	14,317	0,248	0,620

6. DISCUSIÓN

El stock de praderas naturales de algas pardas en la zona norte de Chile ha disminuido considerablemente debido a la sobreexplotación de estos recursos, lo cual exige desafíos importantes e inmediatos orientados a recuperar estas poblaciones, ya sea por medio del repoblamiento o manteniendo planes de manejo que impongan cuotas de extracción y períodos de veda, o bien, orientados a producir por medio de cultivos de algas un stock de biomasa que pueda abastecer la demanda insatisfecha del mercado. Es por esto último, que el cultivo de *Macrocystis* es una buena opción para propender a la recuperación, protección y sustentabilidad no sólo de estas algas, sino también de la biodiversidad del ecosistema marino que habita en estas praderas. En el presente estudio, se compararon resultados obtenidos al sembrar cabos inoculados con esporas de *Macrocystis integrifolia* aplicando la disposición de cabo y el material que se utilizan en la actualidad versus una nueva disposición y variación en el diámetro del material de fijación.

La importancia de contar con estudios aplicando nuevos materiales de fijación y nuevas disposiciones del cabo en la línea madre, radica en perfeccionar cada vez más el sistema de cultivo seleccionando materiales adecuados para reducir el impacto ambiental, tiempos operacionales y costos. Tendiendo a elegir materiales que puedan ofrecer mayores índices de fijación de las algas, que faciliten su compra y disminuyan el tiempo de envío o simplemente que minimicen los costos. Al diversificar el método de siembra mediante la disposición del cabo en la línea de cultivo, se tiende a encontrar el equilibrio entre maximizar el retorno de biomasa y minimizar los tiempos de operación en siembra, cosecha y de limpieza de líneas al terminar el proceso de cosecha habilitándolas nuevamente para ser utilizadas, obteniendo un método de siembra eficiente.

Es importante considerar que este estudio contempla la siembra de 78 líneas de cultivo de algas en un área extensa de Bahía Inglesa, líneas que anteriormente eran utilizadas para cultivar ostiones. Es por esto, que no existió un orden al comenzar las siembras, sino que se sembró en líneas que se encontraban disponibles en ese momento. Una gran parte de estas líneas fueron sembradas en zonas con profundidades cercanas a 40 metros y el resto en zonas con menores profundidades llegando hasta 10 metros, lo que implica en estas últimas se encontraban expuestas a un mayor contacto con depredadores y es por esto, que en algunos casos se encontraban algas carcomidas, disminuyendo de esta manera el retorno de biomasa y el rendimiento de las líneas.

Específicamente, este trabajo se centró en la comparación de rendimientos de producción, analizando el crecimiento en peso y longitud de las algas, el retorno de biomasa y los rendimientos por metro lineal y rendimientos por metro lineal por día de vida. Al realizar una comparación de crecimiento en longitud y en peso por día, las siembras con la disposición helicoidal presentaron crecimientos promedios superiores a las siembras con disposición lineal, lo cual indica que otorgaría mejores resultados de crecimiento, sin embargo al analizar la dispersión de los resultados mediante la desviación estándar, se observaron valores superiores a la disposición lineal indicando que sus datos son heterogéneos y fluctuantes, aspectos en ocasiones no deseados al momento de determinar el mejor método de siembra.

Con respecto al análisis multifactorial realizado al crecimiento en longitud, se puede indicar que existe un efecto significativo de la disposición del cabo en la línea madre sobre el crecimiento en longitud de las algas, lo que se evidencia en el p-valor asociado que correspondió a 0,02, es decir inferior a 0,05. Al estudiar los otros factores, material de fijación y la combinación de material de fijación con la disposición del cabo en la línea madre, no existen diferencias significativas, explicando el modelo una baja proporción de la varianza del crecimiento en longitud de las algas cultivadas. Al realizar igual análisis al crecimiento en peso, se observó que no existen diferencias significativas para ratificar que el material de fijación, la disposición del cabo o ambas, tengan algún efecto en el crecimiento en peso de las algas, debido a que su significancia en los tres casos fue mayor a 0,05 y se demostró que el modelo explicaba sólo el 3% de la varianza del crecimiento en peso de las algas cultivadas.

Al momento de analizar los retornos promedios de biomasa por línea sembrada, a diferencia de lo obtenido en las comparaciones de crecimiento, la disposición del cabo lineal entregó mayores retornos de algas al momento de cosechar, superando los 500 kg por línea. Al realizar el análisis factorial de la varianza, se observó que existe un efecto significativo de la disposición del cabo incidiendo en la biomasa obtenida en kilogramos, lo que se evidenció en el p-valor asociado igual a 0 menor a 0,05. En relación a los otros factores, material de fijación y la combinación de material de fijación y disposición del cabo en la línea madre, no existen evidencias significativas, debido a que su nivel de significancia es 0,68 y 0,25, respectivamente, lo cual es bastante mayor a 0,05. La diferencia existente en la disposición del cabo, se podría asociar a que si bien al sembrar una línea con disposición del cabo helicoidal es necesario poner un mayor número de bastidores para completar los 200 metros de la línea, existe un alto porcentaje de pérdida entre vuelta y vuelta del cabo alrededor de la línea madre, disminuyendo el área del cabo expuesta disponible como sustrato para estas algas y aumenta los desprendimientos, generando que la disposición lineal obtenga mayores retornos debido a que un número mayor de plantas se fijan y crecen al tener una mayor superficie disponible para la fijación.

En relación al rendimiento por metro lineal y del rendimiento por metro lineal por día de vida, en cuanto a dispersión, se observaron datos heterogéneos mostrando dispersión en ambas disposiciones de cabos en la línea madre. En relación a los promedios de rendimiento por metro lineal y rendimiento por metro lineal por día de vida, se observaron mejores resultados al disponer el cabo en forma lineal, al igual que cuando se analizó el retorno de biomasa, sin embargo no existen evidencias significativas para sostener que el material de fijación, la disposición del cabo o ambas tengan algún efecto en el rendimiento de las líneas sembradas, debido a que su significancia en los tres casos es mayor a 0,05.

En la actualidad, se cuenta con resultados obtenidos en cultivos experimentales de *Macrocystis pyrifera* los que se podrían comparar con los resultados obtenidos en este trabajo. Uno de estos estudios, realizado en la Región de Los Lagos reportó una producción entre 10 y 80 kg m⁻¹ de línea de cultivo en un periodo de 8 a 9 meses del cultivo en el mar (Westermeier *et al.*, 2006). Mientras que otro estudio realizado en la Región de Coquimbo con esta especie, reporta una producción de 22 kg m⁻¹ en un periodo de 4 a 5 meses en el mar (Macchiavello *et al.*, 2010). Ambos resultados son superiores a los 2,7 kg m⁻¹ obtenidos con *Macrocystis integrifolia* en cabos de 3 mm de diámetro y sembrados con disposición lineal en un periodo

de 4 meses en el mar, sin embargo es preciso considerar que en los estudios realizados con *Macrocystis pyrifera* se efectúa la siembra de esporofitos en cabos que se disponen en la línea madre y luego de 2 meses de cultivo en mar, se realiza un ajuste de densidad resembrando 6 plántulas por metro lineal, lo que produce una mejora importante para el crecimiento de las plantas alcanzando longitudes promedios de 6 metros (Westermeier *et al*, 2006), crecimiento superior a un metro de longitud que es el promedio obtenido en el cultivo de *Macrocystis integrifolia*.

Es recomendable que futuros estudios puedan responder a que áreas dentro de la concesión estudiada, entregan mejores retornos de biomasa y rendimientos asumiendo mayores crecimientos de las plantas, mayores niveles de fijación de la especie en estudio y menores niveles fijación de epífitos u otras especies que se fijen en el cabo y compitan por sustrato, realizando una programación de las siembras por paños de cultivo y comparándolos entre sí. Otra pregunta importante de responder es cual época del año permite realizar el cultivo con menores pérdidas por desprendimiento o cortes en las frondas ya sea por marejadas o la acción de herbívoros. Todo esto, entendiéndose que en la actualidad ya no se cultivan ostiones y la totalidad de la concesión se encuentra disponible para el cultivo de algas.

7. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo, es posible concluir que:

- La disposición del cabo lineal es el método de siembra de *Macrocystis integrifolia* en long-line que entregó mejores rendimientos en un periodo de 4 meses.
- La disposición del cabo helicoidal entregó mejores resultados en cuanto al crecimiento en peso y longitud de las plantas por metro lineal, alcanzando valores superiores a 7 mm día^{-1} empleando cabos de 1 y 3 mm.
- La disposición del cabo lineal en la línea madre permite alcanzar valores medios de 500 kg de alga cultivada a partir del cuarto mes de cultivo, mientras que la disposición del cabo helicoidal determina valores promedios inferiores, que fluctúan entre 200 y 300 kg de alga.
- En cuanto al rendimiento en peso por metro lineal, se concluye que el mejor resultado se obtiene al emplear una disposición del cabo lineal, usando como material de fijación el cabo de 3 mm de diámetro.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Hoffmann, A. & B. Santelices. 1997.** Flora Marina de Chile Central. Ediciones Universidad Católica de Chile. 155 pp.
- Macchiavello, J., E. Araya & C. Bulboa. 2010.** Production of *Macrocystis pyrifera* (Laminariales; Phaeophyceae) in northern Chile on spore-based culture. J. Appl. Phycol. 22: 691-697.
- Muñoz, L. 2009.** Variedades mejoradas de *Macrocystis pyrifera* y *Macrocystis integrifolia* su utilización en la alimentación de abalón rojo, *Haliotis rufescens*. Tesis de grado para optar a Título de Ingeniero en acuicultura. Universidad Austral de Chile. 44 pp.
- Piel, M. 2003.** Estudios experimentales en el cultivo de *Macrocystis pyrifera* (L.C.AGARDH), a partir de gametofitos procedentes de cuatro localidades del sur de Chile (X-XII Regiones). Tesis de grado para optar a Título de Biólogo Marino. Universidad Austral de Chile. 46 pp.
- Piel, M., M. Ávila, C. Merino C & K. Guissen. 2011.** Manual de cultivo de macroalgas pardas: desde el laboratorio al océano. Proyecto “Programa de manejo, cultivo y repoblamiento para las algas pardas en la región de Tarapacá”. FIC Gobierno Regional Tarapacá. Universidad Arturo Prat. 36 pp.
- Ramírez, M.A. & B. Santelices. 1991.** Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa temperada del Pacífico de Sudamérica. Monografías Biológicas. 5. 437 pp.
- Rojas, F. & R. Jiménez. 1987.** El sistema Long line, una alternativa como elemento de suspensión en el desarrollo de actividades de cultivo de moluscos. Revista FONAIAP divulga. 24. 5pp.
- SERNAPESCA, 2012.** Anuarios estadísticos de pesca año 2012.
- Santelices, B. 1989.** Algas marinas de Chile: Distribución, Ecología, Utilización, Diversidad. Ediciones Universidad Católica de Chile. 399 pp.
- Vásquez, J.A. & E. Fonk. 1994.** Algas Productoras de ácido algínico en Sudamérica: diagnóstico y Proyecciones. Es: Documento de Campo N ° 13 Situación actual de la Industria de macroalgas Productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe. FAO-ITALIA. Programa Cooperativo Gubernamental: 17-26.
- Westermeier, R., D. Patiño, M. Piel & D. Müller. 2005.** Manual de cultivo de alga parda *Macrocystis pyrifera* (huiró), Chile. Proyecto FONDEF D00I1144. Universidad Austral de Chile. 38pp.
- Westermeier, R., D. Patiño, M. Piel, I. Maier & D. Müller. 2006.** A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sorophyte seedlings from

gametophyte cultures of *Lessonia trabeculata* and *Macrocystis pyrifera*. *Aquaculture Research. J. Appl. Phycol.* 37: 167-171.

Westermeier, R., 2011. Proyecto “Uso de algas pardas de cultivo para biorremediación del ambiente costero en la Bahía de Chañaral”. FIC Gobierno Regional Atacama. Universidad Austral de Chile. 183 pp.

9. ANEXOS

Anexo I. Requerimiento de cultivos de abalón de *Macrocystis sp* en toneladas por región

Año/Región	III Región	IV Región	V Región	XIV Región	X Región	Total
2009	5732	1374	4310	880	6854	19150
2010	9990	954	4219	821	7689	23673
2011	5856	1323	3192	496	9838	20705
2012	10113	1717	2844	529	9001	24204

Fuente: www.subpesca.cl/prensa/601/articles-80131_Sector_Abalonero_.pdf

Anexo II. Empresas exportadoras de abalón, año 2012

EMPRESA	% DE PARTICIPACIÓN
Compañía Pesquera Camanchaca S.A.	22,65
Cultivos Marinos San Cristóbal S.A.	16,76
Aquamont S.A.	16,52
Seafood Resources Chile S.A.	12,71
Chilesan S.A.	11,52
Comercial Panamericana S.A.	6,83
Alimentos Campomar Ltda.	6,14
Cultivos Marinos Pacífico Austral	2,08
Conservas y Congelados S.A.	1,72
Marine Foods S.A.	1,69
Otros	1,38

Fuente: www.subpesca.cl/prensa/601/articles-80131_Sector_Abalonero_.pdf