



INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2015:
Programa integral de desarrollo de acuicultura de algas
para pescadores artesanales. Etapa 1.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Diciembre 2016

INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2015:
Programa integral de desarrollo de acuicultura de algas
para pescadores artesanales. Etapa 1.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Diciembre 2016

REQUIRENTE

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y
EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO**

Subsecretaria de Economía y
Empresas de Menor Tamaño
Natalia Piergentili Domenech

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Leonardo Núñez Montaner
Jefe División Investigación en Acuicultura
F. Leonardo Guzmán Méndez

JEFE PROYECTO

Francisco Cárcamo Vargas

AUTORES

Luis Henríquez Antipa
Francisco Galleguillos Foix
Sandra Saavedra Muñoz
Denisse Torres Avilés
Helmo Pérez Aguilera
Sebastián Cook Alvarado
Francisco Cárcamo Vargas



RESUMEN EJECUTIVO

El presente programa de investigación tiene como objetivo establecer estrategias de desarrollo de Acuicultura de algas en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos y concesiones de acuicultura cuyos titulares sean pescadores artesanales.

Respecto a proponer modelos de gestión y producción asociados al desarrollo de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA, se ha recopilado y analizado información que permite establecer el estado del arte de 14 especies de algas potencialmente cultivables en nuestro país y los factores críticos asociados a su cultivo. Se ha encontrado un desarrollo desigual para las diferentes especies investigadas, siendo las más estudiadas y con mayor desarrollo e implementación de sus cultivos, el pelillo *Gracilaria chilensis*, seguido de los huiros *Macrocystis spp.*, la chicorea de mar *Chondrachantus. chamissoi*, y la luga negra *Sarcothalia. crispata*.

A través de aplicación de cuestionarios a organizaciones de pescadores artesanales, investigadores y acuicultores con experiencia en desarrollo de cultivos, se está trabajando en la identificación de factores asociados a la viabilidad técnico-económica de cultivos de algas. Resultados preliminares muestran una buena percepción de todos los grupos investigados respecto de que el cultivo de algas constituye una alternativa de diversificación de la acuicultura nacional, factible de ser escalada a mayores niveles de producción y con buena proyección de rentabilidad económica. Se consideran como los principales factores para el éxito de los cultivos de algas, los asociados a la, conocimiento de la técnica de cultivo y disponibilidad de semillas/plántulas (dimensión técnica/tecnológica), capacitación y cambio cultural de los pescadores hacia al cultivo (dimensión social), financiamiento y aumento de la demanda (dimensión económica), apoyo institucional hacia las OPA y agilización de trámites (dimensión institucional), e identificación de buenas áreas para el cultivo de las diversas especies (dimensión ambiental).

A partir de la información analizada para las potenciales especies cultivables y la opinión de expertos, se está desarrollando un sistema/herramienta para asistir en la selección de especies a cultivar y su sistema de producción asociado.

Respecto a la identificación de AMERB y CCAA para implementación de cultivos, se ha recopilado información de potenciales candidatos, sin embargo, no se cuenta a la fecha con información suficiente para caracterizar a las OPA desde un enfoque socio-organizacional que permita estimar capital humano y organizacional para desarrollar iniciativas de acuicultura de algas.

Finalmente, se ha levantado información para una propuesta inicial de sistema de indicadores biológicos, económicos y sociales para evaluar el desempeño de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA. Para ello se han descrito las dimensiones/criterios asociados a los procesos de cultivo y repoblamiento de algas, se han sometido a análisis multicriterio por expertos las diversas dimensiones, y se cuenta con algunos indicadores preliminares los que serán más desarrollados en lo sucesivo.



Es importante señalar que si bien el presente documento es indicado como informe final por efectos administrativos del convenio que lo rige (Convenio de Desempeño 2015), todas las actividades propuestas se continuarán desarrollando durante el año 2017 (en el marco del Convenio 2016). Por lo tanto, en el presente documento se da cuenta de las actividades y resultados preliminares y parciales obtenidos desde agosto a diciembre de 2016.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO.....	I
ÍNDICE GENERAL	III
1. INTRODUCCI3N	1
2. OBJETIVO GENERAL.....	3
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
4. METODOLOGÍA	4
4.1. Revisi3n del estado del arte de especies de algas en Chile	4
4.2. Identificaci3n de factores asociados a la viabilidad t3cnico-econ3mica de cultivos	4
4.3. Dise1o de herramienta para seleccionar especie a cultivar y modelo de producci3n	5
4.4. Identificaci3n de AMERB y CCAA para implementaci3n de cultivos.....	5
4.5. Levantamiento de informaci3n para propuesta inicial de sistema de indicadores.....	6
5. RESULTADOS PRELIMINARES.....	7
5.1. Revisi3n del estado del arte de especies de algas en Chile	7
5.2. Identificaci3n de factores asociados a la viabilidad t3cnico-econ3mica de cultivos	46
5.3. Dise1o de herramienta para seleccionar especie a cultivar y modelo de producci3n	60
5.4. Identificaci3n de AMERB y CCAA para implementaci3n de cultivos.....	62
5.5. Levantamiento de informaci3n para propuesta inicial de sistema de indicadores.....	64
6. DISCUSI3N	70
7. CONCLUSIONES PRELIMINARES	75
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

ANEXOS

- Anexo 1.** Cuestionarios para identificaci3n de factores asociados a la viabilidad t3cnico-econ3mica de cultivos de algas en Chile
- Anexo 2.** Lista de entrevistados para identificaci3n de factores asociados a la viabilidad t3cnico-econ3mica de cultivos de algas en Chile
- Anexo 3.** Cuestionario a expertos para ponderaci3n de criterios asociados a cultivos de algas en Chile
- Anexo 4.** Tablas de resultados an3lisis preliminar de cuestionarios para identificaci3n de factores asociados a la viabilidad t3cnico-econ3mica de cultivos de algas en Chile
- Anexo 5.** Tablas de resultados preliminares en identificaci3n de AMERB y CCAA para implementaci3n de cultivos



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la acuicultura chilena es dominada por la producción de salmónidos y en menor porcentaje de mitílidos y pectínidos (<http://www.sernapesca.cl>). Políticas actuales para el desarrollo de la acuicultura nacional promueven y fomentan el desarrollo de Acuicultura de Pequeña Escala (APE) y la diversificación de las especies cultivadas (<http://www.subpesca.cl>), con la subsecuente búsqueda de nuevos productos y nichos de mercados. El impulso de este tipo de acciones permitiría disminuir la presión extractiva sobre los recursos hidrobiológicos actualmente explotados, incorporando alternativas de diversificación productiva para las comunidades costeras, pudiendo mejorar sus ingresos y calidad de vida. Mundialmente, se ha reconocido que el desarrollo de la acuicultura de especies nativas es una buena alternativa para la diversificación de productos regionales y uso eficiente de los recursos disponibles (Ross *et al.* 2008). Adicionalmente, se ha sugerido que la diversificación de la acuicultura debe considerar la incorporación de especies con diferentes niveles tróficos y funciones ecológicas para balancear el flujo de materia y energía en sistemas costeros (Naylor *et al.* 2000; Buschmann *et al.* 2014), así como diferentes sistemas de cultivo para dar mayor resiliencia al sistema global de alimentación (Troell *et al.* 2014).

La acuicultura de algas ha alcanzado preponderancia mundial respecto a las oportunidades de desarrollo económico y ambiental que ofrecería su implementación, fundamentado principalmente en los diversos usos y propiedades de éstas, entre las que destacan su uso como alimento humano y de otras especies de cultivo, producción de ficocoloides utilizados en la industria cosmética, farmacéutica y alimenticia, producción de biocombustibles, usos en acuicultura integrada, e iniciativas de biorremediación de ambientes y captura de carbono, entre otros (Neori *et al.* 2007; Vásquez *et al.* 2013, Radulovich *et al.* 2015; Moreira & Pires 2016).

La acuicultura de algas está siendo promovida como una alternativa productiva y opción de diversificación de la acuicultura chilena, y también como una alternativa o complemento al desarrollo económico de comunidades de pescadores artesanales dado el actual escenario de sobre-explotación o agotamiento de los recursos pesqueros (explotados tradicionalmente), las praderas naturales, la presión del cambio ambiental global sobre cultivos consolidados (e.g., salmonicultura, mitilicultura) y la necesidad de conservar el patrimonio natural. A pesar de ello solo el alga pelillo (*Gracilaria chilensis*) es la que ha sido cultivada comercialmente (Buschmann *et al.* 2008). Sin embargo, a mediano plazo se espera que su impacto productivo aumente significativamente. Desde el punto de vista normativo existen dos instrumentos recientemente aprobados que regulan y promueven su desarrollo: el Decreto N°96 que regula las actividades de acuicultura en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), y la Ley de Bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas. Para diversas especies de algas nativas se han desarrollado experiencias de cultivo (e.g. pelillo *G. chilensis*, las lugas *Sarcothalia crispata* y *Gigartina Skottsbergii*, el luche *Pyropia* spp., la chicorea de mar *Chondracanthus chamissoi* y los huiros *Lessonia trabeculata* y *Macrocystis pyrifera*) que permitirían potencialmente implementar cultivos experimentales y pilotos y evaluar su desempeño productivo y comercial.

Uno de los nichos potenciales para la implementación de la acuicultura de algas lo constituyen las AMERB y las concesiones de acuicultura otorgadas a pescadores artesanales, proporcionando una superficie potencial cultivable de más de cien mil hectáreas, sin embargo, para pasar de lo potencial



a lo factible, hay que considerar y profundizar en el conocimiento de una serie de factores para aumentar las probabilidades de éxito del desarrollo de la acuicultura de algas, como por ejemplo:

- La Ley de bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas requiere del establecimiento de indicadores de impacto y protocolos de acreditación de las acciones de repoblamiento y cultivo de algas, las cuales deberán ser monitoreadas o seguidas en el tiempo, a fin de asegurar su impacto, éxito y sustentabilidad.
- Características de sistemas de cultivo, crecimiento y productividad podría ser muy dependiente de la especie a cultivar y de las características ambientales que imponen diversas zonas geográficas.
- Existencia de brechas y vacíos tecnológicos en el desarrollo del cultivo de algas y diferencias en el desarrollo alcanzado entre las diversas especies de algas potenciales de cultivar en Chile.
- Evaluación del escalamiento a nivel masivo de la producción de plántulas en invernadero o hatchery.
- Realizar estudios que integren aspectos biológicos, tecnológicos, sociales y económicos para evaluar factibilidad de cultivos de algas a escalas comerciales, dado que éstos son escasos para especies chilenas lo que dificulta la decisión respecto a la inversión (Zuñiga *et al.* 2016)
- Práctica de la acuicultura requiere de procesos de aprendizaje, capacitación y apropiación tecnológica de parte de los pescadores artesanales que posibiliten su desarrollo como actividad productiva (Rebours *et al.* 2014).
- Acuicultura de algas por parte de pescadores podrá abarcar todas o alguna(s) fases del cultivo (e.g. producción en hatchery hasta crecimiento en mar) lo que estará asociado a factibilidad técnico-económica y a ciertos niveles de aprendizaje y apropiación tecnológica por parte de las organizaciones de pescadores.
- Desarrollo de la acuicultura debe considerar el capital humano (e.g. trabajo colaborativo, asociatividad, redes) y conocimiento tradicional existente en las organizaciones que administran las AMERB y CCAA.
- Acuicultura de algas debe dar valor agregado a sus productos o explorar nuevos nichos de mercado (Hafting *et al.* 2015).
- El desarrollo de la acuicultura de algas podría ser un proceso de mediano a largo plazo que requerirá seguimiento y apoyo estatal para transformarse en una actividad de relevancia para acuicultores en AMERB y CCAA.

Dado el contexto anterior, es de alta relevancia contar con experiencias pilotos que permitan implementar, acompañar, evaluar y corregir el desarrollo de la acuicultura de algas marinas en AMERBs y CCAA.

La acuicultura de algas no existe como una actividad consolidada que permita diversificar la acuicultura nacional e incorporar al sector pesquero artesanal y pequeños acuicultores. El Decreto N°96 que regula las actividades de acuicultura en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y la Ley de Bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas constituyen dos instancias para promover su desarrollo. El presente proyecto se desarrolla orientado por el marco que otorgan ambas instancias y por la oportunidad económica y social que el cultivo de algas representa.



2. OBJETIVO GENERAL

Establecer estrategias de desarrollo de Acuicultura de algas en 3reas de Manejo y Explotaci3n de Recursos Bent3nicos (AMERB) y concesiones de acuicultura (CCAA) cuyos titulares sean pescadores artesanales.

3. OBJETIVOS ESPEC3FICOS

1. Proponer modelos de gesti3n y producci3n asociados al desarrollo de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA.
2. Desarrollar cultivos pilotos de algas en AMERB y CCAA de diferentes zonas geogr3ficas del pa3s, incluyendo fases de cultivo en mar y hatchery.
3. Proponer un sistema de indicadores biol3gicos, econ3micos y sociales para evaluar el desempe1o de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA.



4. METODOLOGÍA

La metodología a utilizar se detalla de acuerdo a los objetivos específicos y actividades establecidas:

Objetivo específico 1: *Proponer modelos de gestión y producción asociados al desarrollo de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA.*

4.1. Revisión del estado del arte de especies de algas en Chile

Para esta actividad se realizó una revisión bibliográfica y consulta a expertos respecto al estado del arte de los cultivos de algas potencialmente factibles de ser implementados en AMERB y CCAA y/o por los beneficiarios de la Ley de Bonificación. Para cada especie potencial se incluyeron aspectos asociados a las dimensiones biológicas, ecológicas y tecnológicas, así como también factores críticos que pueden afectar la implementación de su cultivo.

4.2. Identificación de factores asociados a la viabilidad técnico-económica de cultivos

Para dar cumplimiento de esta actividad se realizó una revisión de iniciativas de cultivo y organizaciones que han implementado cultivos y también han desarrollado tecnología e investigación a través de revisión bibliográfica, de documentos técnicos, bases de datos de SERNAPESCA e informes de seguimientos de AMERB. Con ello se confeccionó una base de datos preliminar.

Esta información sirvió de guía inicial para el desarrollo de la toma de datos mediante encuestas. Las encuestas fueron diseñadas con el objetivo de recopilar experiencias y percepciones de los actores más relevantes a nivel nacional involucrados en la investigación y desarrollo de iniciativas de cultivos de macroalgas. Esta información y su análisis dará una visión preliminar de los principales factores que han permitido (o permitirían) dar viabilidad técnico-económica a los cultivos algales.

Se diseñó un instrumento de recolección de datos (cuestionario con preguntas abiertas y cerradas) orientado a identificar los principales factores que han permitido (o permitirían) dar viabilidad técnico-económica a los cultivos algales. El cuestionario fue dirigido a organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y acuicultores (EMP). Para cada uno de estos grupos se diseñó un cuestionario diferenciado, pero que contenía las mismas temáticas (ANEXO 1). El cuestionario constó de tres secciones: La primera recolectó información del encuestado, características de la organización, empresa o institución a la que pertenece, el cargo que tiene en ella y el nivel de experiencia en cultivos, además de la identificación del área donde se realiza el cultivo. La segunda fue referida a la experiencia en la acuicultura de algas, las especies, motivo, fuentes de financiamiento, sistemas de cultivo utilizados, procedencia de las plántulas/semillas, actividades de capacitación y rentabilidad de los cultivos. Y la tercera, se centró en la proyección de la acuicultura de algas, percepción del marco regulatorio, especies con potencial de cultivo, viabilidad de sistemas de cultivo y principales variables que pueden determinar el éxito de cultivo.



El cuestionario fue aplicado entre octubre y diciembre del 2016 a una muestra del universo de estudio que incluyó 11 acuicultores, 10 OPA y 15 investigadores/académicos de universidades o centros de investigación (ANEXO 2).

Los resultados de las encuestas realizadas hasta la fecha, fueron tabulados y graficados para su mejor interpretación, abordando en esta etapa del proyecto, sólo los ítems más relevantes para poder hacer una primera aproximación a la identificación de los principales factores que posibilitarían el desarrollo de cultivos de diferentes algas en Chile.

4.3. Diseño de herramienta para seleccionar especie a cultivar y modelo de producción

Se está desarrollando una herramienta metodológica didáctica que permita al usuario (i.e. acuicultor, OPA, consultor) implementar un cultivo de algas exitoso y que lo oriente respecto a:

- Selección de especie(s) algal(es) a cultivar
- Fases del cultivo a desarrollar en el AMERB o CCAA
- Requerimientos ambientales, tecnológicos, socio-económicos, legales-administrativos asociados al cultivo específico
- Sistema de gestión asociada a la implementación del cultivo y el modelo de producción más eficiente

El principio subyacente al diseño de la herramienta es el de un sistema de toma de decisión bajo diversos factores o criterios. El desarrollo de esta herramienta se inicia el año 2016 y se consolidará durante el 2017.

Objetivo específico 2: *Desarrollar cultivos pilotos de algas en AMERB y CCAA de diferentes zonas geográficas del país, incluyendo fases de cultivo en mar y hatchery.*

El desarrollo del objetivo específico 2. *Desarrollar cultivos pilotos de algas en AMERB y CCAA de diferentes zonas geográficas del país, incluyendo fases de cultivo en mar y hatchery*, será abordado en dos fases, la primera orientada al desarrollo de cultivos en el mar, y la segunda (eventualmente a desarrollar en una continuación del programa) orientada a la producción de plántulas en hatchery. Durante el año 2016 se realizaron las siguientes actividades:

4.4. Identificación de AMERB y CCAA para implementación de cultivos

La generación de un listado preliminar de AMERB y CCAA está en preparación, e incluye las organizaciones o administradores, la identificación de áreas y organizaciones/administradores potenciales para realizar nuevos cultivos de algas o hacer seguimiento del funcionamiento de cultivos existentes,. Para construir el ranking se han identificado criterios de selección a partir de revisión bibliográfica y documental, y entrevistas presenciales y telefónicas a funcionarios representantes de la sectorialidad en materias de Pesca y Acuicultura (Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Fondo de Fomento de Pesca Artesanal, Fondo de Administración Pesquero).



Objetivo espec3fico 3: *Proponer un sistema de indicadores biol3gicos, econ3micos y sociales para evaluar el desempe1o de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA.*

4.5. Levantamiento de informaci3n para propuesta inicial de sistema de indicadores

La Ley de Bonificaci3n para el repoblamiento y cultivo de algas requiere del establecimiento de indicadores de impacto de las acciones de repoblamiento y cultivo de algas, las cuales deber3n ser monitoreadas en el tiempo, a fin de asegurar su impacto, 3xito y sustentabilidad. Para ello se debe sugerir un sistema de indicadores biol3gicos, econ3micos y sociales para evaluar el desempe1o de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA y el repoblamiento en AMERB. Mediante revisi3n bibliogr3fica y entrevista a expertos (e.g. investigadores en acuicultura, manejo costero, ecolog3a bent3nica) se recopil3 y analiz3 informaci3n para proponer un sistema de criterios e indicadores para evaluar los procesos de cultivo y repoblamiento de manera integral (e.g. incluyendo las dimensiones ecol3gicas, socio-econ3micas, tecnol3gica, productivas y de gobernanza).

Para analizar los criterios/dimensiones generales y sub-criterios (factores) asociados al proceso de cultivo y repoblamiento de algas, se utiliz3 un enfoque de an3lisis multicriterio que permite la toma de decisiones basado en la preferencia de expertos sobre actividades que involucran un enfoque multidimensional. La ponderaci3n de los criterios generales corresponde a las dimensiones donde operan los factores claves del proceso. Por ejemplo, el conocimiento sobre en qu3 criterio recae la mayor importancia y en qu3 magnitud indicar3 la relevancia que los factores claves asociados tendr3n en la implementaci3n exitosa de la actividad. As3, los resultados muestran el grado de importancia de los criterios que subyacen al desarrollo de la actividad de cultivo y repoblamiento. A trav3s del m3todo de An3lisis de Priorizaci3n Jer3rquica (AHP) (Saaty 1990) los criterios Institucionales, Tecnol3gicos, Ambientales, Sociales y Econ3micos del proceso de cultivo y repoblamiento fueron ponderados.

Para determinar la importancia relativa de los 5 criterios se construy3 un cuestionario de comparaci3n pareada (cuestionario ponderaci3n de criterios, ANEXO 3). Un total de 25 expertos en investigaci3n, desarrollo, cultivo y comercializaci3n de algas fueron entrevistados (ANEXO 2). El n3mero de elecciones estuvo limitada a cinco de acuerdo con Saaty (1990), qu3n determina que el n3mero de elecciones no debe ser mayor a 7 (± 2), ya que disminuye la confusi3n de los encuestados. Las respuestas de los cuestionarios proporcionan ponderaciones promedio las cu3les son extra3das de eigenvalores (eigenvalues) desde matrices construidas con las respuestas. Por lo tanto, el valor final de cada ponderaci3n, expresado en porcentaje de preferencia, fue determinado usando el principio de composici3n jer3rquica que resulta en un vector (R) que incluye todos los juicios o elecciones para cada nivel jer3rquico como sigue:

$$R = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m W_j W_i$$

Donde: W_j = coeficiente de importancia de j-3simo criterio, W_i = coeficiente de prioridad de la i-3sima alternativa.



5. RESULTADOS PRELIMINARES

Objetivo específico 1: *Proponer modelos de gestión y producción asociados al desarrollo de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA.*

5.1. Revisión del estado del arte de especies de algas en Chile

Se identificaron un total de 14 macroalgas que poseen un nivel de desarrollo de cultivo que las convierten en especie con potencial de ser cultivada en AMERB y CCAA. Las diversas especies fueron agrupadas de manera funcional para describir sus características biológicas, ecológicas, tecnológicas principales, así como también, los factores críticos asociados al desarrollo de su cultivo. La agrupación de especies correspondió a algas: alginófitas, agarófitas, carragenófitas y comestibles.

5.1.1. Alginófitas

A este grupo pertenecen las algas productoras de ácido algínico: *Macrocystis pyrifera*-*Macrocystis integrifolia*, *Lessonia spicata*-*Lessonia berteroana*, *Lessonia trabeculata*, *Durvillaea antarctica*.

Macrocystis pyrifera - *Macrocystis integrifolia*
(Huiro, huiro macro, huiro pato, huiro canutillo, sargazo)



Figura 1. *M. integrifolia* (Foto: Helmo Pérez, IFOP).

Antecedentes Biológicos y Ecológicos



Género de alga parda de amplia distribución en el mundo, costas de California y México, Isla Revillagigedo, Argentina, Islas Malvinas, Perú, Uruguay, Sur de Australia, Nueva Zelanda, Islas Antárticas y Subantárticas, Sudáfrica e Islas Canarias. En Chile, su distribución es en parches de tamaño irregular desde Arica hasta el Cabo de Hornos, sin embargo, la mayor biomasa se encuentra desde Puerto Montt al sur.

Habitan la zona intermareal hasta unos 30 metros de profundidad, formando bosques submareles. Alcanzan hasta 45 metros de largo. Se adhiere al sustrato mediante un disco basal cónico denominado grampón, formado por hapterios de hasta 70 cm de largo. Desde el disco basal nacen numerosos estipes en los cuales se encuentran frondas provistas de un aerocisto basal de forma piriforme que permite la flotación.

En la parte basal y sobre el disco de fijación se encuentran las esporofilas que carecen de aerocistos y que llevan las esporas, las cuales al germinar desarrollarán la fase sexual.

La morfología del disco permite que albergue numerosas especies de invertebrados cuyo número y riqueza puede incrementar a medida que aumenta el tamaño de la planta. Por otra parte, tanto los estipes como las frondas también pueden ser hábitat para especies de fauna y flora características del intermareal, tanto en sus fases larvarias como juveniles y adultos. Debido a esta característica, esta alga es reconocida por su rol de estructurador de ecosistemas o como especies bio-ingenieras.

Posee un ciclo de vida heteromórfico. Las plantas macroscópicas corresponden al esporofito, en tanto que los gametofitos son microscópicos y dioicos. Los gametofitos son filamentosos, los femeninos miden alrededor de 10 μm de diámetro y son escasamente ramificados, los masculinos miden aproximadamente 5 μm de diámetro y son abundantemente ramificados. Las frondas reproductivas o esporofilas crecen cerca de la base del disco y son reconocidas por su menor tamaño y la carencia de aerocistos. En estas se encuentran los soros esporangiales que se presentan generalmente en la época de verano y desaparecen el resto del año.

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

El estado de Chile ha invertido a través de diversos fondos (e.g. Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico y Fondo Innovación a la Competitividad) en estudios sobre el desarrollo de tecnologías de cultivo de esta especie. A partir de la revisión de éstos (Ávila *et al.* 2010), el cultivo de *Macrocystis* spp. se ha desarrollado en tres etapas: Laboratorio, Hatchery y Mar.

Etapas Laboratorio

Esta etapa comprende desde la germinación de las esporas a la formación de gametofitos y posteriormente la de esporofitos.

Para comenzar con el cultivo, es necesario recolectar esporofilas (i.e. las frondas reproductivas) que se ubican cerca del disco de fijación y presentan una coloración ligeramente más oscura que el resto de la fronda. Éstas se transportan en bolsas plásticas dentro de cámaras refrigeradas al laboratorio. En el laboratorio, las frondas son lavadas con agua dulce, secadas con papeles absorbentes y depositados en bolsas plásticas en una cámara de cultivo (lugar con ciertas condiciones de luz y temperatura destinada a mantener las frondas en buenas condiciones). Posteriormente, luego de 24 a 48 horas son sometidos a un shock osmótico y de temperatura aplicando medio de cultivo para



iniciar la esporulación (liberación de esporas). El medio de cultivo aporta los macro y micro nutrientes que permitirán el desarrollo y crecimiento de los estados tempranos y posteriores del alga. Una vez ocurrida la esporulación, los envases con esporas son depositadas en cámaras de cultivo hasta que ocurre la germinación. Las condiciones de cultivo de la etapa de laboratorio, mantención de esporas, corresponde a: 16:8 (luz: oscuridad), 17°C, y 2000-2500 lux de intensidad lumínica.

La germinación de las esporas producen gametofitos femeninos y masculinos produciéndose la fecundación, la estructura que se forma es el cigoto, que comienza a dividirse para formar los esporofitos, los que son mantenidos en cultivo hasta que alcanzan tamaños de 300 μm . Posteriormente son trasladados a envases de vidrio de 1 a 5 litros de capacidad. Los frascos son ubicados sobre un agitador magnético con aireación constante. Las condiciones de cultivo de la etapa de laboratorio, mantención de esporofitos, corresponde a: 16:8 (luz: oscuridad), 15°C a 17°C, y 1800-2000 lux de intensidad lumínica.

Dependiendo del tamaño que tengan los esporofitos, estos pueden ser trasladados a envases de vidrio de 10 litros de capacidad. Una vez que los esporofitos alcanzan la talla de 5 a 7 mm, éstos pueden ser trasladados a una cámara de cultivo, en envases de acrílico de 20 a 50 litros de capacidad. Por un período aproximado de 30 días continuarán con su crecimiento en estos sistemas flotantes.

Etapa Hatchery

Esta etapa comprende el crecimiento de esporofitos y el manejo para su traslado al mar. En esta etapa las plántulas son trasladadas a estanques de 1000 litros donde permanecen por 30 días. En este período las plantas han desarrollado el disco de fijación y se inicia el proceso de la inoculación o encordado sobre cuerdas de 3 a 4 mm de diámetro y de una longitud de 8 cm. Una vez que se han inoculado una cantidad importante para su traslado al mar, los inóculos (cordel más talo) son amarrados a un cordel de 12 mm de diámetro. La densidad de siembra es variable. Los inóculos ya preparados se colocan en bastidores y permanecen en los estanques por 1 a 3 días. Las condiciones de cultivo de la etapa de hatchery, crecimiento de esporofitos, corresponde a: 12:12 (luz: oscuridad) y 8 a 12°C.

Etapa Mar

Las algas inoculadas son transportadas a las líneas de cultivo en el mar en estanques de 200 litros con agua de mar. Las cuerdas inoculadas son amarradas a una línea madre (cuerda de 22 mm de diámetro) usualmente de 100 m de longitud a la profundidad más adecuada para la localidad (> 2 m). Por lo tanto, el sistema de cultivo en el mar está compuesto por una línea madre o long-line y cordeles inoculados con plántulas.

En la zona norte (Coquimbo) se han obtenido 22 kg m⁻¹ lineal después de 4 a 5 meses de cultivo en mar (Macchiavello *et al.* 2010). En el sur (Puerto Montt) se han obtenido 14-80 kg m⁻¹ lineal en un periodo entre 8 a 10 meses de cultivo en el mar (Gutiérrez *et al.* 2006; Westermeier *et al.* 2006).



Factores Críticos de su Cultivo

La implementaci3n y rendimiento de sus cultivos dependen de la estacionalidad, distribuci3n latitudinal, as3 como del origen y calidad del material reproductivo utilizado entre otros factores (Tala & Vásquez 2015).

Existe un efecto negativo de especies incrustantes de invertebrados (e.g. mitílidos, cirripedios) sobre los sistemas de cultivo flotantes, as3 como especies de algas de rápido crecimiento (e.g. *Ulva* spp.) sobre las líneas de cultivo.



Figura 2. Cultivo en etapa mar de *M. pyrifera* (Foto: Patricio Chávez, Algas Chile SPA)

Referencias Bibliográficas

Ávila M, Merino C, Guissen K & Piel MI (2010) Manual de Cultivo de Macroalgas Pardas: desde el laboratorio al océano. Proyecto FIC-R. Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile. 33 pp.

Gutiérrez A, Correa T, Muñoz V, Santibañez A, Marcos R, Cáceres C & Buschmann AH (2006) Farming of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in southern Chile for development of novel food products. *Journal of Applied Phycology* 18: 259-267.

Macchiavello J, Araya E & Bulboa C (2010). Production of *Macrocystis pyrifera* (Laminariales: Phaeophyceae) in northern Chile on spore-based culture. *Journal of Applied Phycology* 22: 691-697.

Saavedra S, Galleguillos F, Cook S & Pérez H (2016) Contrataci3n de un servicio de consultoría para la implementaci3n de cultivo de algas marinas en el Sector B, perteneciente al Sindicato de la Caleta



Río Seco, Iquique". Instituto de Fomento Pesquero, Segundo Informe avance Proyecto 2015-63-FAP-19. 61 pp.

Tala F & Vásquez J (2015) Acuicultura de Macroalgas a Pequeña Escala en Áreas de Manejo de la región de Coquimbo. Revista Versión Diferente, Salmón Acuicola. 5 pp.

Westermeier R, Patiño D, Piel MI & Müller DL (2005) Manual de Cultivo de alga parda *Macrocystis pyrifera* (Huiro), Chile. Proyecto FONDEF DOI1144. Universidad Austral de Chile, Chile. 38 pp.

Westermeier R, Patiño D, Piel MI, Maier I & Mueller D (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 Research 37: 164-171.

Zúñiga S, Marín Rizzo MC & Bulboa C (2015) Bioeconomic analysis of giant kelp *Macrocystis pyrifera* cultivation (Laminariales:Phaeophyceae) in northern Chile. Journal of Applied Phycology 28: 405-416.

Lessonia spicata- *Lessonia berteroana*
(Huiro negro, chasc3n)

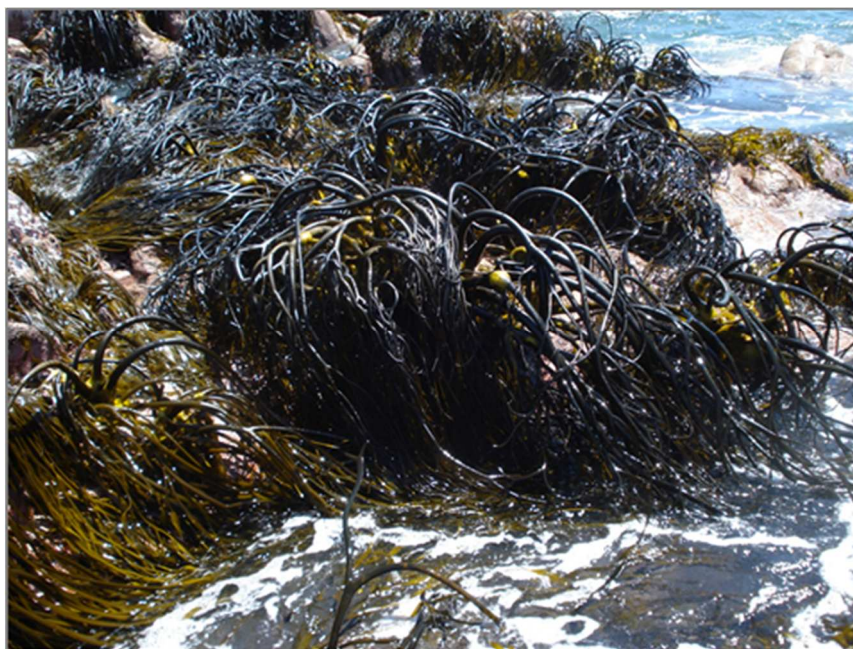


Figura 3. *L. spicata* (Foto: Francisco Galleguillos, IFOP).



Antecedentes Biol3gicos y Ecol3gicos

Estas especies perteneciente al complejo *Lessonia nigrescens* en el cual se encuentran dos especies crípticas *L. berteroana* y *L. spicata* con distribuciones espaciales distintas (Koch *et al.* 2015). Las especies crípticas son entidades extremadamente similares en apariencia (morfología, fisiología, comportamiento) pero se hallan reproductivamente aisladas entre sí. En general, se considera que son el resultado de eventos recientes de especiación donde las similitudes morfológicas se mantienen porque ocupan ambientes similares. Ambas se encuentran en hábitats expuestos al oleaje, sobre sustrato rocoso, aparentemente cumpliendo funciones similares en los ambientes en que viven.

Son algas de color verde parduzco oscuro que habitan a lo largo del litoral rocoso de la zona intermareal, formando cinturones de ancho variable desde 2 metros hasta aproximadamente 15 metros de ancho (Hoffmann & Santelices 1997). *L. berteroana* habita desde el paralelo 16°S al 30°S, mientras que *L. spicata* desde el 29°S al 42°S. Crecen fijadas al sustrato rocoso por un disco de fijación desde el cual crecen estipes cilíndricos que luego se aplanan formando las frondas divididas dicotómicamente. Durante todo el año se observan sobre la superficie de la fronda, manchas oscuras de tamaño variable que corresponden a soros esporangiales maduros. El disco de fijación sirve de hábitat y refugio a numerosas especies de invertebrados y algas.

Poseen un ciclo de vida heteromórfico con alternancia de generaciones con una fase microscópica (gametofito) y una fase macroscópica (esporofito). Esta última corresponde al hábito de la especie, mientras que los gametofitos haploides corresponden a filamentos microscópicos que forman las oogonias y anterozoides hasta que se produce la singamia, donde se formará el esporofito diploide que crecerá hasta formar el estado adulto.

La especie más estudiada es *L. spicata*, mientras que aquella que mayoritariamente se cosecha y exporta es *L. berteroana*. Se ha sugerido una revisión de los estudios que determinan los planes de manejo de estas especies. Además, es posible que las características del alginato producido por ambas especies tengan propiedades distintas y sirvan para diferentes aplicaciones.

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

Desde el punto de vista del cultivo, se han desarrollado algunas experiencias de: inducción artificial a la esporulación, liberación de esporas y posterior desarrollo de gametofitos y esporofitos en laboratorio y hatchery (Westermeyer *et al.* 2005; Ávila *et al.* 2010).

El cultivo de Huiro negro y en general de todas las algas pardas, puede desarrollarse en tres etapas: Laboratorio, Hatchery y Mar.

Etapas Laboratorio

En primer lugar se debe recolectar las frondas reproductivas que se reconocen por presentar zonas más oscuras. Las frondas son transportadas en bolsas plásticas a baja temperatura al laboratorio. Una vez en el laboratorio, las frondas son lavadas con agua dulce, secadas con papeles absorbentes y depositados en bolsas plásticas en una cámara de cultivo (lugar con ciertas condiciones de luz y temperatura destinada a mantener las frondas en buenas condiciones).



Posteriormente, luego de 24 a 48 horas son sometidos a un shock osmótico para iniciar la esporulación (liberación de esporas), donde además se aplica medio de cultivo. El medio de cultivo aporta los macro y micro nutrientes que permitirán el desarrollo y crecimiento de los estados tempranos y posteriores del alga. Una vez ocurrida la esporulación, los envases con esporas son depositadas en cámaras de cultivo hasta que ocurre la germinación.

Etapas Hatchery

Posterior a la germinación, las esporas pueden ser utilizadas en dos procesos:

1. Pre- cultivo en cuerda, donde los esporofitos son fijados en cuerdas (bastidores) dentro de estanques con agua de mar, luego de alcanzar un tamaño adecuado pueden ser trasladados al mar.
2. Pre-cultivo en suspensión (free-floating), donde los esporofitos en desarrollo se mantienen en probetas donde alcanzarán un tamaño adecuado para ser amarrados a cuerdas y posteriormente llevados al mar.

Etapas Mar

La etapa de cultivo en el mar ha sido desarrollada principalmente por la Universidad Austral de Chile (Dr. Renato Westermeier) y básicamente consiste en colocar las cuerdas con algas inoculadas a la línea madre de 22 mm de diámetro y 100 m de longitud a la profundidad más adecuada para cada localidad.

Factores Críticos de su Cultivo

Su cultivo en etapa mar, solamente se ha desarrollado en forma experimental; por lo tanto, faltan antecedentes sobre estacionalidad, profundidad de cultivo, origen y calidad del material reproductivo, comportamiento latitudinal, entre otros factores que habría que poner a prueba.

Referencias Bibliográficas

Ávila M, Merino C, Guissen K & Piel MI (2010) Manual de Cultivo de Macroalgas Pardas: desde el laboratorio al océano. Proyecto FIC-R. Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile. 33 pp.

Hoffmann A & Santelices B (1997). Flora marina de Chile central. Ediciones Universidad Católica de Chile. Chile. 433 pp.

Koch K, Thiel M, Tellier F, Hagen W, Graeve M, Tala F, Laeseke P & Bischof K (2015) Species separation within the *Lessonia nigrescens* complex (Phaeophyceae, Laminariales) is mirrored by ecophysiological traits. Botánica Marina 58(2): 81-92.

Westermeier R, Patiño D, Piel MI & Müller DL (2005) Manual de Cultivo de alga parda *Macrocystis pyrifera* (Huiro), Chile. Proyecto FONDEF DOI1144. Universidad Austral de Chile, Chile. 38 pp.



Lessonia trabeculata
(Huiro palo, huiro varilla)

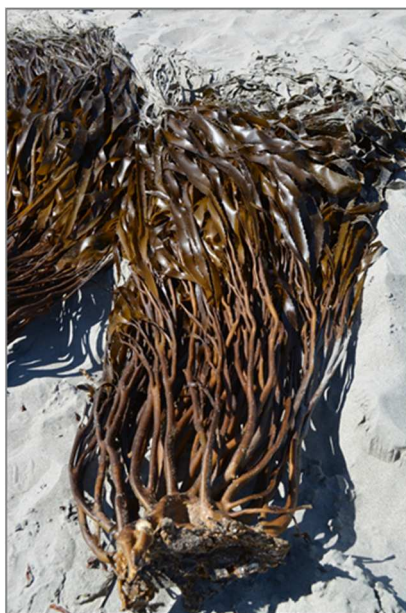


Figura 4. *L. trabeculata* (Foto: Francisco Galleguillos, IFOP).

Antecedentes Biol3gicos y Ecol3gicos

Alga de color caf3 claro a caf3 oscuro con forma de arbusto de hasta 2.5 m de alto. Se fijan al sustrato por un disco macizo irregular formado por hapterios fusionados de hasta 20 cm de alto. Los estipes son de n3mero variable divididos en forma dicot3mica terminando en una fronda. La fronda tiene un aspecto lineal o lineal lanceolado con m3rgenes lisos y dentados.

Presentan un ciclo de vida heterom3rfico, con alternancia de generaciones de una fase microsc3pica (gametofito) con una fase macrosc3pica (esporofito). El esporofito corresponde a la planta visible y el gametofito a los filamentos microsc3picos.

En Chile se encuentra desde Arica (15° 28' S) hasta Chilo3 (42° 40' S). Crece en ambientes submareales y forma bosques en 3reas expuestas y semiexpuestas hasta 20 metros de profundidad.



Antecedentes Tecnol3gicos del Cultivo

A nivel piloto se han desarrollado algunas iniciativas en hatchery o invernadero para producir pl3ntulas de esta especie.

Etapas Laboratorio y Hatchery

Para comenzar con esta actividad es necesaria la recolecci3n de frondas reproductivas (de coloraci3n m3s oscura) desde el medio natural. Las frondas son transportadas en bolsas pl3sticas a baja temperatura al laboratorio donde son seleccionadas, luego son lavadas con agua de mar est3ril. Las frondas se dejan en papel absorbente por 12 horas en oscuridad. Posteriormente son rehidratadas con agua de mar filtrada para que se produzca la liberaci3n de zoosporas. Las zoosporas pueden ser usadas en dos procesos:

1. Pre-cultivo en cuerda, donde las zoosporas son fijadas en cuerdas dentro de los estanques con agua de mar para posteriormente, luego de alcanzar un tama1o adecuado, ser trasladadas al mar.
2. Pre-cultivo en suspensi3n (free-floating), donde los esporofitos en desarrollo se mantienen en probetas donde alcanzar3n un tama1o adecuado para ser amarrados a cuerdas (encordadas) y posteriormente llevados al mar.

Etapas Mar

La etapa de cultivo en el mar ha sido desarrollada por la Universidad Austral de Chile (Dr. Renato Westermeier) y b3sicamente consiste en colocar las cuerdas con algas inoculadas amarradas a la l3nea madre de 22 mm de di3metro y 100 m de longitud a la profundidad m3s adecuada para cada localidad.

Factores Cr3ticos de su Cultivo

Su cultivo en etapa mar se ha desarrollado solamente en forma experimental, por lo tanto, faltan antecedentes sobre estacionalidad, profundidad de cultivo, origen y calidad del material reproductivo, comportamiento latitudinal, entre otros factores que es necesario poner a prueba.

Referencias Bibliogr3ficas

3vila M, Merino C, Guissen K & Piel MI (2010) Manual de Cultivo de Macroalgas Pardas: desde el laboratorio al oc3ano. Proyecto FIC-R. Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile. 33 pp.

Westermeier R (2012) Consideraciones en el desarrollo sustentable del cultivo, repoblamiento y manejo de algas marinas en Chile. Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile. Presentaci3n SUBPESCA



Durvillaea antarctica
(Cochayuyo, ulte, huilte)

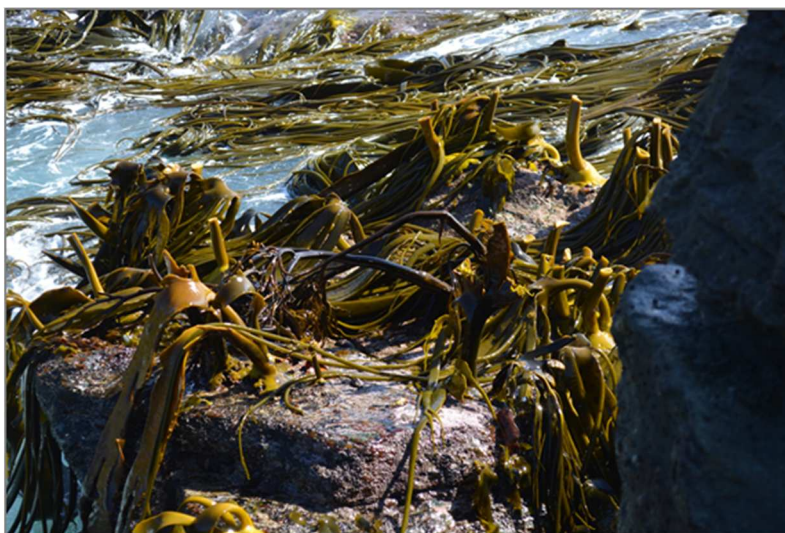


Figura 5. *D. antarctica* (Foto: Francisco Galleguillos, IFOP).

Antecedentes Biol3gicos y Ecol3gicos

Alga de gran tama1o de color pardo verdoso cuando est1n en el mar y pardo rojizo despu3s de secarse, puede alcanzar los 15 m de longitud y 20-30 cm de ancho. Tiene consistencia carnosa y su interior es una estructura de panal que le da gran resistencia para soportar el embate de las olas y capacidad de flotaci3n. Consta de un disco macizo de forma c3nica para la adhesi3n al sustrato rocoso, del disco se originan un estipe cil3ndrico, cuyo extremo se aplan y ensancha en sentido apical para formar la fronda. La fronda es alargada y entera en juveniles, mientras que en plantas adultas es dividida en porciones y de ancho dispar. El tallo es circular, de color verde claro y mide alrededor de un metro de largo hasta el nacimiento del primer filoide u hoja.

Tiene un ciclo de vida diplobi3ntico, con una fase diploide independiente. La meiosis ocurre en la gametog3nesis, es una especie dioica y presenta gametofitos peque1os de corta duraci3n. Se reproduce sexualmente mediante producci3n de gametos femeninos inm3viles (o3sferas) y gametos masculinos bi-flagelados (anterozoides) que son liberados al agua (Collantes *et al.* 2002). La temporada de reproducci3n ocurre generalmente durante los meses de invierno.

En Chile, *D. antarctica* se distribuye desde Coquimbo (29° 58' S) hasta la zona del Estrecho de Magallanes (55° 59' S). En las regiones central y centro sur habita junto a *Lessonia sp.* en sustratos rocosos de niveles altos del sublitoral expuesto al oleaje, pero hacia el sur *D. antarctica* se hace dominante. Se encuentra tambi3n en Australia, Nueva Zelanda, Argentina, Islas Malvinas, Islas Heard, Islas McDonald e Islas Kerguelen, Tasmania, Islas Ant1rticas y Subant1rticas.



D. antarctica ha sido descrita como una importante especie estructuradora de comunidades, debido a su gran tama1o y a que sus estructuras de fijaci3n, conforman un micro h3bitat para un gran n1mero de especies de invertebrados.

Antecedentes Tecnol3gicos del Cultivo

Esta especie posee potencial de cultivo, dado que es destinado al consumo humano directo.

Etapas Laboratorio y Hatchery

Se han desarrollado algunas iniciativas que pretenden desarrollar la tecnolog3a de cultivo de este recurso en hatchery y con resultados auspiciosos; se han generado juveniles en laboratorio y en estanques en tierra (e.g. Guti3rrez *et al.* 2016). En general la t3cnica de cultivo se basa en recolectar trozos de individuos reproductivos desde praderas naturales (principalmente en invierno y primavera) para la obtenci3n de gametos en laboratorio y manejarlos en forma separada para realizar cruces dirigidos que permitan generar embriones viables. Los juveniles obtenidos a partir del sistema free-floating poseen una morfolog3a distinta a la que poseen en estado natural. Los juveniles obtenidos tienen una forma ovalada y plana sin la presencia de disco de fijaci3n y estipe.

Se debe tener en consideraci3n factores fundamentales tales como la densidad de los gametos y la estaci3n del a1o en que se obtiene el material reproductivo para la generaci3n 3ptima de juveniles en laboratorio. Se postula que la generaci3n de este tipo de juveniles en laboratorio representa la generaci3n de un producto innovador que podr3a ser atractivo para el mercado alimentario, que constantemente busca dar valor agregado a sus productos.

Etapas Mar

En cuanto a la etapa de cultivo en mar, investigadores del centro i-mar de la Universidad de Los Lagos se encuentran trabajando en determinar las mejores condiciones para instalar las pl3ntulas obtenidas en hatchery en el ambiente natural; por el momento se ha estado instalando plantas grandes.

Factores Cr3ticos de su Cultivo

En etapa de laboratorio es importante considerar la estacionalidad en la obtenci3n del material reproductivo y la densidad de gametos para obtener una cantidad 3ptima de juveniles. La etapa de agua de mar a1n se encuentra en desarrollo, todav3a no se ha probado el crecimiento de juveniles provenientes de hatchery.

Referencias Bibliogr3ficas

Collantes G, Merino A & Lagos V (2002) Fenolog3a de la gametog3nesis, madurez de concept3culos, fertilidad y embriog3nesis en *Durvillaea antarctica* (Chamisso) Hariot (Phaeophyta, Durvillaeales). Revista de biolog3a marina y oceanograf3a 37: 83-112.



Gutiérrez A, Varela D, Zúñiga A, Paredes J, Villarroel A, Ruiz A, Muñoz V, Martínez C, Oroz L & Naiman H (2016) Desarrollo de Tecnologías de cultivo y repoblamiento de *Durvillaea antarctica* “cochayuyo”: implicancias para la diversificación de la acuicultura y manejo de poblaciones natural.

5.1.2. Agarófitas

A este grupo pertenecen las algas productoras de agar: *Gracilaria chilensis*, *Gelidium rex*-*Gelidium chilense*-*Gelidium lingulatum*, *Ahnfeltia plicata*.

Gracilaria Chilensis (Pelillo)



Figura 6. *G. chilensis* (Foto: Francisco Galleguillos, IFOP).

Antecedentes Biológicos y Ecológicos

El pelillo es un alga roja comúnmente extraída desde el intermareal en la zona sur del país y una de las principales fuentes de ingresos para los pueblos costeros.

Posee un ciclo de vida isomórfico trifásico en el cual el gametofito haploide presenta una reproducción sexual. Ocurre esta, el gametofito femenino cambia y genera estructuras reproductivas diploides comúnmente llamadas cistocarpos. En esta fase la que la reproducción es asexual y ocurre por esporas que dan origen a una fase tetraspórica diploide. Esta fase puede generar gametofitos femeninos y masculinos y continuar con su ciclo.

Es utilizado comúnmente para la extracción de agar, compuesto químico muy importante en procesos productivos para la industria farmacéutica y alimentaria.



En Chile, se distribuye desde la región de Atacama hasta la región de Aysén; el principal foco de cultivo de esta especie se centra en la región de Los Lagos.

Se caracteriza por formar extensas praderas intermareales, en bahías y zonas estuarinas, permitiendo su cultivo en variados lugares. Crece también en el ambiente submareal llegando hasta los 12 metros de profundidad. El pelillo puede crecer tanto en fondos duros, donde privilegia su sistema de reproducción vía esporas, y también en fondos arenosos o fangosos donde se reproduce de forma vegetativa a través de los talos.

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

Los métodos utilizados para el cultivo de pelillo son variados y van desde estacas enterradas con talos (siembra directa en el sustrato) a cultivos suspendidos. Ambos métodos generan una gran biomasa disponible para cosecha.

Etapas Laboratorio y Hatchery

Al igual que en las otras especies de algas, para desarrollar plántulas en hatchery, se debe seleccionar talos reproductivos y trasladarlos al invernadero donde se limpian y aplican estímulos de desecación para provocar la liberación de esporas. Las esporas obtenidas se siembran sobre bastidores y luego de aproximadamente 2 meses las cuerdas con plántulas son entrelazadas a una cuerda de mayor diámetro y trasladadas al mar.

Etapas Mar

En el mar se desarrolla la etapa de crecimiento, es decir, la obtención de la biomasa cosechable; los métodos para conseguir esta biomasa pueden ser: mediante siembra directa, indirecta o cultivo suspendido.

El método de siembra directa consiste en plantar un “manejo” de pelillo en el fondo, por medio de horquetas o herramientas que permitan hacer surcos.

También se utilizan métodos de cultivo indirectos, los que dependen de alguna estructura de soporte como mangas de polietileno, estacas, o cuerdas con talos. Las mangas de polietileno se dejaron de utilizar porque constituían una fuente de basura que se acumulaba en las playas luego de la cosecha. El método de siembra en cuerdas de fondo es uno de los más utilizados en la zona de Chiloé, a pesar de que acumulan una gran carga de epífitos debido a variaciones ambientales. En ambos métodos de cultivo se utilizan plantas adultas como medio de propagación y crecimiento de este recurso, utilizando talos individuales o “manejos” de plantas.

El cultivo suspendido se ha utilizado comercialmente y es una opción viable para la diversificación en lugares como la zona norte del país, donde las condiciones ambientales han permitido su desarrollo. El cultivo suspendido se ha llevado a cabo con plántulas provenientes de hatchery, es decir, plántulas provenientes de cultivo mediante esporas. En el país sólo la empresa Algas Marinas S.A., con oficinas ubicadas en Mejillones y Ancud, proveen a las organizaciones de pescadores artesanales interesadas en desarrollar este cultivo de las plántulas encordadas para su crecimiento en mar.



Figura 7. Cultivo en etapa de mar de *G. chilensis* (Foto: Sandra Saavedra, IFOP).

Factores Críticos de su Cultivo

En el método directo de cultivo es importante mantener las algas jóvenes y controlar la presencia de epífitos (e.g. *Rhizoclonium spp.*) que son una amenaza a la producción. Respecto al cultivo suspendido, la empresa Algas Marinas es la única que provee de plántulas aptas para ser cultivadas.

Referencias Bibliográficas

Alveal K, Romo H, Werlinger C & Olivera EC (1997) Mass cultivation of the agar-producing alga *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta) from spores. *Aquaculture* 148: 77-83.

Buschmann A, Westermeier R & Retamales CA (1995) Cultivation of *Gracilaria* on the sea-bottom in southern Chile: a review. *Journal of Applied Phycology* 7: 291-301.

Santelices B, Westermeier R & Bobadilla M (1993) Effects of stock loading and planting distance on the growth and production of *Gracilaria chilensis* in rope culture. *Journal of Applied Phycology*. 5: 517-524.

Westermeier R, Gómez I & Rivera P (1993). Suspended farming of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta, Gigartinales) at Cariquilda River, Maullín, Chile. *Aquaculture* 113: 215-229.



Gelidium rex - *Gelidium chilense* - *Gelidium lingulatum*
(Chasca)



Figura 8. *G. lingulatum* (Foto: Patricio S3nchez, Pontificia Universidad Cat3lica de Chile).

Antecedentes Biol3gicos y Ecol3gicos

G. chilense, *G. lingulatum* y *G. rex* son especies econ3micamente importantes en Chile. *G. lingulatum* se extiende desde el centro al sur de Chile (33 a 41°S), mientras que las otras dos especies se extienden desde Chile central hasta el centro del Per3 (35 a 14 °S). Las tres especies se distribuyen en cinturones en el intermareal bajo, a lo largo de costas rocosas m3s expuestas al oleaje (Doty *et al.* 1986). En la costa rocosa expuesta de Chile central, existen dos especies de *Gelidium* al mismo nivel mareal (*G. lingulatum* y *G. chilense*), sin evidencia de zonaci3n o segregaci3n espacial (Montalva & Santelices, 1981). *G. rex* se ubica en el intermareal bajo hasta el submareal alto formando algunas veces cinturones, frecuentemente bajo la sombra de *Lessonia (berteroana o spicata)*. Esta distribuci3n diferencial entre especies determina mayor tolerancia a la duraci3n de las horas de luz e intensidad en las especies que se distribuyen m3s arriba en el intermareal.

La intensidad de la luz, la temperatura, el movimiento de aguas y la competencia interespecífica se han probado ser importantes en regular la distribuci3n y producci3n (tanto desde praderas naturales como desde cultivo). Los pocos estudios ecol3gicos desarrollados en *Gelidium* (Oliger & Santelices 1981), han mostrado que los rangos de tolerancia van desde 10°C a 25°C. Las tasas de crecimiento son m3ximas a 20°C para *G. chilense* y a 15°C para *G. lingulatum* y *G. rex*.

G. lingulatum muestra un aumento estacional de biomasa en verano, mientras que *G. chilense* presenta variaciones estacionales en parches mezclados, donde la biomasa est3 negativamente



correlacionada con la de *G. lingulatum*. La cosecha de una de estas especies, puede dar a la otra una ventaja competitiva y estimular su tasa de crecimiento.

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

Etapas Laboratorio y Hatchery

El cultivo de este grupo de especies en Chile es considerado de carácter experimental. Correa *et al.* (1985) fueron capaces de definir condiciones óptimas para incrementar el crecimiento a partir de esporas para *G. chilense* y *G. lingulatum*, mientras que Rojas *et al.* (1996) hicieron lo propio para *G. rex*, logrando después de 79 días en laboratorio plántulas de 0,79 mm; y luego de 107 días en laboratorio plántulas de 1,05 mm (tasa de crecimiento de 3,3%). Cuando las plántulas generadas a partir de esporas fueron trasladadas al mar luego de 60 días, alcanzaron una talla de 4,15 cm.

El desarrollo del cultivo tipo free-floating se ha intentado desarrollar para las tres especies de *Gelidium* en Chile. *G. chilense* es la especie de más rápido crecimiento bajo esta forma de cultivo.

Una revisión internacional más actualizada respecto de los avances del cultivo de gelidiales (Friedlander 2007), indica que a pesar de haberse intentado el desarrollo de tecnologías de cultivo, todavía no se desarrolla una metodología exitosa. Se han probado dos técnicas de cultivo: fijación de trozos vegetativos flotantes a cilindros de concreto en el mar y cultivo en estanques bajo el modo free-floating.

Etapas Mar

Para *G. rex* se ha intentado desarrollar el cultivo a partir de plántulas vegetativas en Chile central, con tasas de crecimiento diario de 2,5% a 3%, mientras que Rojas *et al.* (1996) también intentaron el desarrollo del cultivo de *G. rex* a través de la re-fijación de trozos vegetativos sobre sustrato calcáreo. A los 108 días, se lograron plantas de 6,1 cm.

Factores Críticos de su Cultivo

En esta revisión se indica que el cultivo en estanques es una opción mucho más controlable para el desarrollo del cultivo, pero que el factor crítico sería las bajas tasas de crecimiento, lo que lo hace poco rentable (Tityanov *et al.* 2006). Por otro lado, Tityanov *et al.* (2006) indican que una de las dificultades para el cultivo de *Gelidium* es la necesidad de una gran cantidad de plántulas con rizoides fijos en algún sustrato, y hasta la fecha de esa revisión no hay datos exitosos para la obtención masiva de plantas, necesitándose aproximadamente un 30% de la biomasa cosechada como nuevas semillas.

Referencias Bibliográficas

Correa J, Ávila M & Santelices B (1985) Effects of some environmental factors on growth of sporelings in two species of *Gelidium* (Rhodophyta). *Aquaculture* 44: 221-227.



Doty MS, Caddy JF & Santelices B (1986). Case studies of seven commercial seaweed resources. FAO Fish.Tech.Pap. (281): 311 p.

Friedlander M (2007) Advances in cultivation of Gelidiales. Journal of Applied Phycology 20: 1-6.

Montalva S & Santelices B (1981) Interspecific interference among species of *Gelidium* from central Chile. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 53: 77-88.

Oliger P & Santelices B (1981) Physiological ecology studies on Chilean Gelidiales. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 53: 65-76.

Rojas R, Le3n N & Rojas R (1996) Practical and descriptive techniques for *Gelidium rex* (Gelidiales, Rhodophita culture. Hydrobiologia 326:367-370.

Titlyanov EA, Titlyanova TV, Kadel P & L3ning K (2006) Obtaining plantlets from apical meristem of the red alga *Gelidium* sp. Journal of Applied Phycology 18:167-174

Ahnfeltia plicata
(L3quen gomoso)



Figura 9. *A. plicata* (Foto: http://www.seaweed.ie/descriptions/Ahnfeltia_plicata.php).

Antecedentes Biol3gicos y Ecol3gicos

A. plicata es una especie de alga agar3fita que en los 3ltimos a3os se ha propuesto como una de las que presenta un alto potencial de comercializaci3n, debido a que posee agarosa neutra baja en



sulfatos de mejor calidad (Ojeda *et al.* 2016). Según los estudios realizados en especies del hemisferio norte, esta especie presenta un ciclo de vida heteromórfico trifásico (Chen, 1997).

Su crecimiento es ramificado, con filamentos de aproximadamente 1 mm de diámetro y presentan distinta pigmentación dependiendo de su fase de crecimiento, puede llegar hasta los 35 cm de longitud con un disco basal pequeño. Se distribuye en praderas submareales que alcanzan una gran biomasa. Su distribución se limita a zonas circumpolares tanto en el hemisferio norte (otras especies *Ahnfeltia*) como en el hemisferio sur. En nuestro país, se distribuye en Islas Subantárticas y las regiones patagónicas (Magallanes y Tierra del Fuego).

Habita comúnmente sustratos rocosos (bolones) y arenosos en el intermareal hasta los 20 metros de profundidad, se observa tanto en lugares expuestos como protegidos. Por la forma de su talo de crecimiento ramificado, éste atrapa sedimentos los cuales tienen aspecto de sedimentos anóxicos. La mayor biomasa promedio no reproductiva se observa en la estación de otoño y la biomasa promedio reproductiva en primavera (Ojeda *et al.* 2016). Presenta rangos de tolerancia a temperaturas entre los 3° C en invierno hasta los 10° C en verano. El rango máximo de salinidad de esta especie es hasta 40 PSU. La mayor parte de los estudios fisiológicos realizados para esta especie se concentran en el hemisferio norte, en cuanto a las especies del hemisferio sur siguen en proceso de investigación.

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

Su cultivo se encuentra en fase experimental y con un mayor desarrollo en fases de laboratorio con la utilización de medios de cultivo que faciliten su crecimiento vegetativo. Temperatura, salinidad y luminosidad son los factores más importantes para el cultivo en laboratorio y deben ser regulados periódicamente para que el crecimiento sea exitoso. Su rango de temperatura en laboratorio varía entre 5 a 23° C con un óptimo de 15° C.

Para iniciar con el cultivo se debe recolectar frondas desde praderas naturales. Una vez colectados los talos son procesados y limpiados para eliminar cualquier organismo anexo que pueda impedir el desarrollo de las plántulas. De estos talos se cortan pequeños trozos, los cuales son puestos en un sonicador el cual permite eliminar epífitos adheridos a los talos. Posteriormente son enjuagados en una solución que permita eliminar la presencia de microorganismos. Los talos son puestos en antibióticos por 48 horas, con un fotoperiodo de 16:8 (luz: oscuridad) a una temperatura de 10° C. Cabe señalar que las experiencias de propagación en laboratorio utilizan medios mejorados para su crecimiento y las concentraciones de mantenimiento difieren dependiendo del medio utilizado (Ojeda *et al.* 2016). Las experiencias de cultivo muestran un crecimiento apical y también ramificaciones laterales presentes en los talos.

Factores Críticos de su Cultivo

Aún se encuentra en fase experimental de laboratorio, en esta etapa la temperatura, salinidad y luminosidad son los factores claves a considerar.



Referencias Bibliográficas

Ávila M, Villanueva F, Yokoya N & Mansilla A (2012) Manual de cultivo de *Ahnfeltia plicata* (Hudson) Fries en base a fitohormonas (reguladores de crecimiento). Universidad Arturo Prat - Universidad de Magallanes. 31 pp.

Chen LCM (1977) The sporophyte of *Ahnfeltia plicata* (Huds.) fries (Rodophyceae, Gigartinales) in culture. Phycology 16: 163-168.

Ojeda J, Rosenfeld S, Vega N & Mansilla A (2016) Records preliminaries on vegetative cultivation of *Ahnfeltia plicata* (Hudson), fries 1836 in sub-antarctic magellanic channels of southern Chile. Anales de la Patagonia (Chile) 44: 5-13

5.1.3. Carragenófitas

A este grupo pertenecen las algas productoras de carragenanos: *Gigartina skottsbergii*, *Sarcothalia crispata*, *Chondracanthus chamissoi*, *Mazzaella laminariodes*, *Chondrus canaliculatus*).

Gigartina skottsbergii
(Luga roja, cuero de chancho)



Figura 10. *G. skottsbergii* (Foto: Mario Núñez).



Antecedentes Biológicos y Ecológicos

Alga roja de gran tamaño presente en las costas del sur de Chile. Ha desarrollado gran relevancia económica en las últimas décadas debido a la obtención de carragenanos, los que son utilizados comúnmente por diversas industrias.

Se fija al sustrato gracias a un disco de fijación pequeño en comparación a la envergadura que puede alcanzar la fronda completa (sobre 1,5 m en algunos casos). Genera estructuras similares a papilas llamadas hapterios con los que se puede fijar a los sustratos y crecer de forma horizontal en el fondo. Presenta un ciclo de vida isomórfico trifásico, donde se observa la fase gametofítica, con reproducción sexual dando origen a la fase cistocápica. Esta fase genera carpósporas con reproducción asexual, las que originan individuos tetrasporofíticos. Esta fase puede producir organismos gametofíticos de ambos sexos. Su ciclo de crecimiento es de aproximadamente dos años hasta obtener individuos aptos para la cosecha, lo que genera algunos inconvenientes para los sistemas de cultivo que buscan obtener mayor biomasa en menor tiempo.

Presenta una distribución geográfica en la zona sur de América, y está presente tanto en las costas de Chile, Argentina, la Península Antártica y las Islas Malvinas (Ramírez & Santelices 1991). En Chile se distribuye desde la región de Los Ríos hasta Cabo de Hornos.

Habita en sustratos rocosos y crece entre los 5 m hasta los 20 m aproximadamente. Generalmente está asociada a bosques de “huiros” pero también se observan praderas independientes. Es una especie de aguas templadas-frías, su rango de tolerancia a la temperatura alcanza hasta los 14° C como máximo y 4°C como mínimo. Se observa en lugares expuestos, fiordos y praderas submareales de la zona sur.

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

El cultivo de luga roja se ha probado tanto en fase piloto como experimental en mar abierto, obteniendo resultados a largo plazo, debido a su prolongado periodo de crecimiento en el ambiente natural. Para el cultivo de esta especie se debe habilitar un hatchery que cuente con todas las características básicas para mantener las plántulas.

Etapas Laboratorio y Hatchery

Para empezar con el cultivo se deben recolectar frondas reproductivas cistocárpicas o tetraspóricas desde el ambiente, dependiendo de la fase que se quiera generar. Una vez recolectadas se separan por fases y luego son deshidratadas en papel absorbente. Cuando se observan secas y algunas manchas de color marrón en el papel absorbente, las frondas deben volver a hidratarse, momento en el cual liberan las esporas al medio acuoso (agua de mar filtrada). Esta agua de mar con esporas se colecta y se filtra, luego las esporas se siembran en bastidores que mantienen una cuerda de aproximadamente 2 mm de espesor y un largo entre 60 a 70 m amarrada a éstos. La siembra consiste en verter el contenido líquido con esporas en estanques con agua de mar donde se encuentran los bastidores. Estos estanques se deben mantener aproximadamente por 15 días sin recambio de agua, para que las esporas puedan fijarse al sustrato y comenzar su desarrollo. Transcurridos entre 3 a 5 meses, se observan pequeñas plántulas adheridas a la cuerda. Una vez



fijadas las pequeñas plántulas, deben ser transportadas en buenas condiciones de humedad y baja temperatura para su cultivo en el mar.

Etapas Mar

Las cuerdas con plántulas obtenidas en hatchery se fijan al sistema de cultivo suspendido para comenzar su crecimiento. Es recomendable fijar las cuerdas en los meses anteriores a primavera para permitir su desarrollo óptimo en los meses de primavera y verano. Se deben revisar periódicamente y también limpiarlas para evitar la aparición de otros organismos que puedan interferir con el cultivo. Luego de dos años de crecimiento se puede obtener la cosecha.



Figura 11. Etapa de mar del cultivo de *G. skottsbergii* (Foto: Mario Núñez).

Factores Críticos de su Cultivo

Crecimiento lento, aproximadamente dos años hasta obtener individuos aptos para la cosecha.

Referencias Bibliográficas

Ávila M, Candia A, Núñez M & Romo H (1999) Reproductive biology of *Gigartina skottsbergii* (Gigartinaceae, Rhodophyta) from Chile. *Hydrobiologia* 398/399: 149-147.



Buschmann AH, Correa JA & Westermeier R (1999) Recent advances in the understanding of the biological basis for *Gigartina skottsbergii* (Rhodophyta) cultivation in Chile. *Hydrobiologia* 398/399: 427-434.

Ramírez ME & Santelices B (1991) Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa templada del pacífico de Sudamérica. *Monografías Biológicas* 5: 1-437.

Zamorano J & Westermeier R (1996). Phenology of *Gigartina skottsbergii* (Gigartinaceae, Rhodophyta) in Ancud bay, southern Chile. *Hydrobiologia* 326/327: 253-258.

Sarcothalia crispata
(Luga negra)



Figura 12. *S. crispata* (Foto: Francisco Galleguillos, IFOP).

Antecedentes Biológicos y Ecológicos

El talo es folioso con una o más frondas ovales, las cuales son más largas que anchas y pueden alcanzar longitudes de sobre 1 m. Las frondas son de color rojo púrpura, pardo-rojizo o verdoso y están adheridas al sustrato a través de un disco basal. La porción basal de las láminas generalmente presentan pequeñas proliferaciones en el margen que se asemejan a cilios o papilas. Con



frecuencia, estos cilios se observan también en los márgenes de la lámina (Hoffman & Santelices 1997).

S. crispata es endémica de las costas de Chile, con una distribución antiboreal (Hommersand *et al.* 1993) desde Valparaíso (33° 02' S) hasta el Estrecho de Magallanes (Punta Santa María) (54°28' S) (Ramírez & Santelices 1991), donde extiende su distribución vertical por sobre los 10 m de profundidad (Alveal *et al.* 1990). Crece a temperaturas que fluctúan entre 9 a 14,5 °C. Las praderas de *S. crispata* forman cinturones entre 2 m a 5 m de ancho, lo cual depende de la superficie disponible dentro del rango de profundidad en el que habita esta especie. La extensión de este cinturón puede rodear islas pequeñas y zonas costeras amplias (mayores a 25 km, zona costera continental, mar interior de Chiloé), lo cual depende de las condiciones ambientales de crecimiento (ej: sustrato disponible, salinidad, etc.).

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

Etapas Laboratorio y Hatchery

No se conoce el tiempo en que el ciclo de vida de *S. crispata* es completado en la naturaleza, sin embargo, a través de experiencias científicas tendientes a la generación de metodologías de cultivo se ha encontrado que el crecimiento de una fase del ciclo puede obtenerse en alrededor de 6 meses. Uno de los factores que pueden afectar al crecimiento de *S. crispata* en las regiones más australes del país, es la radiación UVB. Mansilla *et al.* (2006) demostraron que la exposición de plantas de *S. crispata* (así como *G. skottsbergii*) a altos niveles de radiación UVB en altas latitudes como se encuentra en la Región de Magallanes, provocaron un crecimiento lento. Los requerimientos nutricionales de los primeros estados de vida de *S. crispata* en laboratorio se desarrollan con medio de Cultivo Provasoli. En tanto, en invernadero se ha utilizado el fertilizante foliar agrícola para disminuir los costos de producción masiva. Werlinger *et al.* (2009) en un análisis de los requerimientos nutricionales, reveló que el mejor crecimiento de esporas (tetrásporas) se verificó utilizando nutrientes en la forma de nitrato de amonio y solución de urea. No existe información cuantitativa respecto a la herbivoría de *S. crispata*. Sin embargo, se ha observado en terreno la disminución de los primeros estados de vida de esta especie en zonas asociado a poblaciones de erizos, tégulas y chitones.

Actualmente, los estudios tendientes a buscar una metodología de cultivo de esta especie se han generado en la región del Bío Bío y de Los Lagos. Ávila *et al.* (1999) en un cultivo a nivel experimental de *S. crispata* en el sur de Chile concluyeron que se pueden alcanzar tallas entre 1,5 cm a 3 cm luego de 3 meses en condiciones semi-controladas en invernadero.

Etapas Mar

Posteriormente, al ser trasplantados a un sistema de cultivo suspendido en el mar a 2 m de profundidad, se pueden alcanzar tallas cosechables mayores de 10 cm luego de 3 meses, con un total de 6 meses de cultivo totales. Romo *et al.* (2001), en tanto, en un cultivo experimental en Chile central (Bahía Columo), alcanzaron tallas entre 7 cm a 15 cm a profundidades de cultivo de 3,5 m, luego de 6 meses totales de cultivo, considerando 1 mes de cultivo en invernadero. El actual estado



del conocimiento de cultivo de *S. crispata* est1 en condiciones de ser integrada en Concesiones de Acuicultura y 1reas de Manejo, luego que existe autorizaci3n por la Subsecretaria de Pesca para realizar actividades de acuicultura en estas 1reas.



Figura 13. Etapa de mar del cultivo de *S. crispata* (Foto: Francisco Galleguillos, IFOP).

Factores Cr1ticos de su Cultivo

Para obtener una 3ptima producci3n es primordial la calidad del material reproductivo; de esta manera, se obtiene una buena esporulaci3n lo que permite obtener altas densidades de pl1ntulas.

Referencias Bibliogr1ficas

Alveal K, Candia A, Collantes G, Edding M, Fonck E, Melo C, Poblete A, Rivera P, Romo H & Westermeier R (1990) Gu1a de Algas Marinas Chilenas de Importancia Econ3mica. Red de Algas Marinas, Chile, 114pp.

1vila M, Ask E, Rudolph B, N1ñez M & Norambuena R (1999) Economic feasibility of *Sarcothalia* (Gigartinales, Rhodophyta) cultivation. *Hydrobiologia* 398/399: 435-442.

Hoffmann A & Santelices B (1997). Flora marina de Chile central. Ediciones Universidad Cat3lica de Chile. Chile. 433 pp.

Hommersand MH, Guiry M, Fredericq S & Leister GL (1993). New perspectives in the taxonomy of the Gigartinaceae (Gigartinales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 260-261: 105-120.



Mansilla A, Werlinger C, Palacios M, Navarro N & Cuadra P (2006) Effects of UVB radiation on the initial stages of growth of *Gigartina skottsbergii*, *Sarcothalia crispata* and *Mazaella laminarioides* (Gigartinales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology* 18: 451-459.

Ramírez ME & Santelices B (1991) Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa templada del pacífico de Sudamérica. *Monografías Biológicas* 5: 1-437.

Romo, H. K. Alvear & C. Werlinger. (2001). Growth of the commercial carrageenophyte *Sarcothalia crispata* (Rhodophyta, Gigartinales) on suspended culture in central Chile. *Journal of Applied Phycology* 13: 229-234.

Werlinger C, Mansilla A, Villarroel A & Palacios M (2009) Effects of photon flux density and agricultural fertilizers on the development of *Sarcothalia crispata* tetraspores (Rhodophyta, Gigartinales) from the Strait of Magellan, Chile. *Proceedings of the International Seaweed Symposium* 19: 307-315.

Chondracanthus chamissoi
(Chicorea de mar)

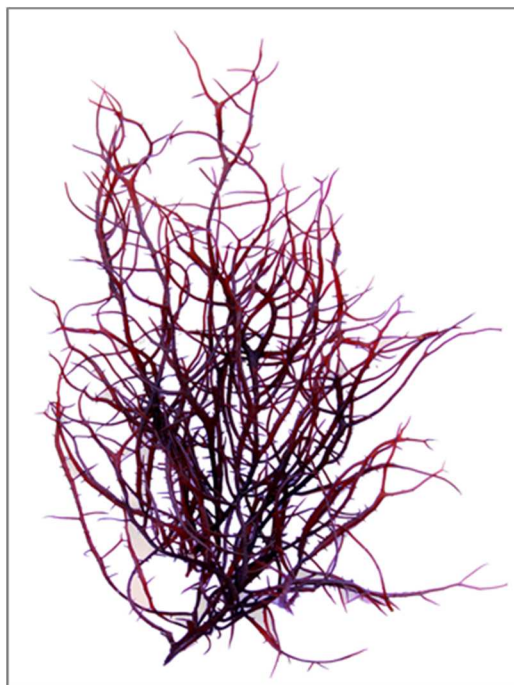


Figura 14. *C. chamissoi* (Foto: Facultad de Ecología y Recursos Naturales, Universidad Andrés Bello).



Antecedentes Biológicos y Ecológicos

C. chamosoi es un alga roja, bentónica que puede alcanzar hasta 50 cm de longitud. Por lo general se comercializa para la extracción de carragenanos, sin embargo, en los últimos años se ha exportado como alga para consumo humano en el mercado asiático. Este mercado demanda un producto de alta calidad el cual difícilmente puede ser cosechado desde poblaciones naturales.

Esta alga tiene un ciclo de vida donde se pueden diferenciar tres tipos de plantas: gametofitos (plantas masculinas o femeninas), plantas cistocárpicas y plantas tetraspóricas. Las plantas cistocárpicas y tetraspóricas pueden producir “semillas” las cuales pueden producir nuevas plantas. Por otro lado, aparentemente la costra basal o disco adhesivo es perenne, es decir, si no se remueve del sustrato puede formar nuevas plantas, lo que constituye otra forma de reproducción, conocida como reproducción vegetativa.

Habita las costas de Perú y Chile. En Chile la especie ha sido encontrada entre Iquique y Chiloé (Hoffmann & Santelices, 1997). Habita en el intermareal y hasta los 15 m de profundidad en el submareal, principalmente en lugares protegidos. En el submareal, esta alga crece en playas de rocas o bolones que pueden ser cubiertos estacionalmente por arena.

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

Se han identificado diferentes mecanismos para el cultivo de chicorea de mar; entre los que se encuentran la propagación vegetativa, la reproducción sexual por esporas o esporocultivo y la formación de discos de fijación secundaria.

El método de propagación vegetativa, Bulboa & Macchiavello (2006), consiste en utilizar trozos de frondas vegetativas y reproductivas, las cuales son entrelazadas en cuerdas de polipropileno y mantenidas a 1 m del fondo y a 3 m de profundidad. Los resultados de esta experiencia fueron exitosos, se obtuvo un incremento en biomasa con pocos epífitos.

El método de reproducción sexual por esporas o esporocultivo permite, a partir de algas fértiles (cistocárpicas o tetraspóricas) extraídas de praderas naturales, obtener esporas y fijarlas sobre sustratos artificiales, para luego incubarlas hasta obtener plantas microscópicas (1–2 mm de altura) para transplantar los sustratos inoculados al mar y desarrollar así praderas explotables comercialmente (Alveal *et al.* 1995).

El método de formación de discos de fijación secundaria o de re-adhesión de fragmentos de Chicorea de mar es un mecanismo importante para la regeneración de biomasa, para la mantención de poblaciones de esta especie y el desarrollo de cultivos (Macchiavello *et al.* 2003; Fonck *et al.* 2008). Macchiavello *et al.* (2013) describen en un manual ocho pasos el desarrollo de un cultivo de Chicorea con el método de Formación de Discos de Fijación Secundaria: 1) Obtención y Selección de Chicorea de mar, 2) Limpieza de algas, 3) Mantención de algas en estanques, 4) Corte de las algas (fragmentación), 5) Mantención en hatchery, 6) Fijación de algas sobre sustrato artificial, 7) Siembra en sistema suspendido (línea de cultivo tipo long-line), 8) Monitoreo biológico.



Figura 15. Etapa de mar del cultivo de *C. chamissoi* (Foto: Sandra Saavedra, IFOP).

Factores Críticos de su Cultivo

Para que este cultivo sea exitoso es importante considerar en etapa de cultivo en el mar la profundidad de cultivo, la temperatura y la mantenci3n periódica del sistema de cultivo. Los cultivos pueden ser afectados por eventos de epifitismo (Vásquez & Vega 2002). En etapa de hatchery el punto crítico es la capacidad productiva.

Referencias Bibliográficas

Alveal K, Romo H, Werlinger C, Vallejos P & Alveal P (1999) Desarrollo inicial de *Chondracanthus chamissoi* sobre sustrato artificial. VII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, Lima, Perú, pp 14–15

Bulboa C & Macchiavello J (2006) Cultivation of cystocarpic, tetrasporic and vegetative fronds of *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) on ropes at two localities in northern Chile. *Investigaciones Marinas*, Valparaíso 34: 109-112.

Fonck E, Martínez R, Vásquez J & Bulboa C (2008) Factors that affect the reattachment of *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) thalli. *Journal of Applied Phycology* 20: 311–314.



Hoffmann A & Santelices B (1997). Flora marina de Chile central. Ediciones Universidad Católica de Chile. Chile. 433 pp.

Macchiavello J, Bulboa C & Edding M (2003) Vegetative propagation and spore recruitment in the carrageenophyte *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) in northern Chile. Phycological Research 51: 45–50.

Macchiavello J, Sepúlveda C, Sáez F & Méndiz N (2013) Manual de cultivo de *Chondracanthus chamissoi* (Chicoria de mar). Proyecto Acuicultura en Áreas de Manejo: Una innovación para mejorar su desempeño mediante el cultivo suspendido de chicoria de mar (*Chondracanthus chamissoi*) en la Región de Antofagasta. Código 12BPCR – 16600.

Vásquez JA & Vega JMA (2001) *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) in northern Chile: ecological aspects for management of wild populations. Journal of Applied Phycology 13: 267-277.

Mazzaella laminariodes
(Luga cuchara)

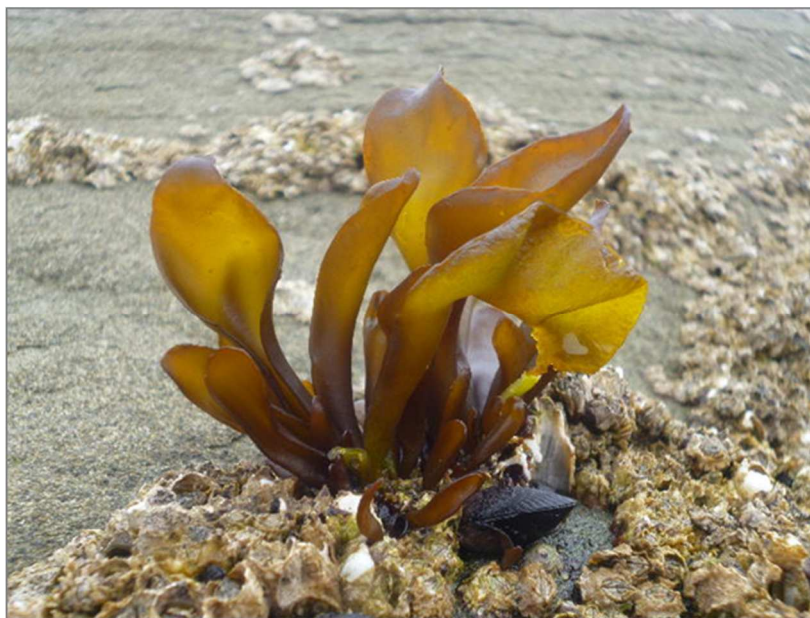


Figura 16. *M. laminariodes* (Foto: <http://static.wixstatic.com/media>).



Antecedentes Biológicos y Ecológicos

Esta alga presente en el intermareal ha mostrado una gran importancia económica en los últimos años, ya que también es una de las materias primas para la obtención de carragenanos utilizados en procesos industriales. Presenta al igual que la mayoría de las algas carragenófitas un ciclo de vida isomórfico trifásico donde se observa una fase gametofítica (ambos sexos y reproducción sexual), una fase carposporofítica y una fase tetrasporofítica. Durante su fase de reclutamiento son capaces de presentar coalescencia con otras especies lo que les permite alcanzar mayor tamaño para poder sobrevivir (Santelices & Aedo 2006).

Está presente en cordones o parches en roqueríos protegidos, como también expuestos, del intermareal medio bajo. Se distribuye desde Tierra del Fuego hasta la zona central del país. La biomasa de esta alga en las zonas altas del intermareal, presenta una mayor cantidad de frondas cistocárpicas, llegando casi al 100 %, lo que disminuye hacia los estratos más bajos del intermareal. Se adosa a los roqueríos y es capaz de resistir fuertes oleajes y también periodos de desecación por mareas (Hoffman & Santelices 1997).

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

Al igual que las demás carragenófitas, los procesos de obtención de esporas desde las fases carposporofítica y tetraesporofítica están descritos para lograr la fijación de individuos juveniles, aunque para esta especie no hay información respecto a su cultivo. La experiencias de cultivo por esporas para la repoblación, consiste en recolectar frondas con evidencia de cistocarpos y tetrásporas, las cuales son cortadas con un sacabocado, por donde se pasa una cuerda de polipropileno de 2 a 3 mm de diámetro y de 1 m de largo, en la cual se disponen las frondas con una separación de 5 a 10 cm. Esta cuerda se amarra a una roca o malla con rocas, y se dispersan por la zona submareal cercana a la línea de costa para permitir su esporulación y generar nuevos individuos.

Factores Críticos de su Cultivo

Solamente se han realizado experiencias de cultivo de esporas para la repoblación. El cultivo se encuentra en fase experimental.

Referencias Bibliográficas

Hoffmann A & Santelices B (1997). Flora marina de Chile central. Ediciones Universidad Católica de Chile. Chile. 433 pp.

Santelices B & Aedo D (2006) Group recruitment and early survival of *Mazzaella laminarioides*. Journal of Applied Phycology 18: 583-589.



Chondrus canaliculatus



Figura 17. *C. canaliculatus* (Foto: Masahiru Suzuki)

Antecedentes Biol3gicos y Ecol3gicos

Alga de tama1o peque1o, aproximadamente 15 cm de largo en algunos casos, de color rojizo parduzco. Presentan un disco de fijaci3n el que puede coalescer con otras especies para formar pl3ntulas y permitir un mejor desarrollo en su fase de crecimiento. Crece de forma ramificada generando filamentos conectados entre s3. Presenta un ciclo de vida isom3rfico trif3sico, con alternancia de fases.

Es una especie end3mica de las costas del pac3fico sur, se distribuye desde Per3 hasta Chile. En el pa3s est3 presente desde la zona norte hasta la Isla de Chilo3. Se observa en lugares semi expuestos o expuestos al oleaje, en el intermareal medio bajo de las costas y hasta los 4 metros de profundidad. (Hoffman & Santelices 1997).

Debido a la explotaci3n humana las praderas de esta alga disminuyeron notablemente por la poca informaci3n de su ciclo de vida y por el mal manejo extractivo. No presenta una respuesta a cambios de salinidad amplios.

Antecedentes Tecnol3gicos del Cultivo

Las experiencias de cultivo de esta especie s3lo se centran en el hemisferio norte. En una primera fase, el cultivo es principalmente en estanques que permiten el desarrollo continuo de la especie. (Bidwell *et al.* 1985). Tamb3n existen instancias de desarrollo en mar abierto.



Las experiencias de cultivo en estanques demuestran un gran potencial que va entre los 40 gr a los 200 gr por metro cúbico (Edding *et al.* 2008). El cultivo comienza con la exposición de las algas extraídas de praderas naturales a un periodo de cuarentena, donde las plantas son acondicionadas para su posterior desarrollo. Son limpiadas de cualquier epífito y mantenidas en agua de mar filtrada con medios de cultivo fertilizados. Se recomienda comenzar el cultivo luego de que las temperaturas altas de verano comienzan a decaer. Una vez aclimatadas las plantas son puestas en estanques donde se controlan todos los factores abióticos que puedan generar pérdidas de biomasa. La densidad inicial varía dependiendo del volumen que presenten los estanques de cultivo. En mar abierto, las algas son puestas en mallas y amarradas a una línea madre en el sistema de cultivo (Zertuche-González *et al.* 2001).

Factores Críticos de su Cultivo

En Chile, este recurso solamente se ha cultivado en forma experimental en estanques donde las limitantes del cultivo son principalmente la temperatura.

Referencias Bibliográficas

Bidwell RGS, McLachlan J & Lloyd NDH (1985) Tank cultivation of irish moss, *Chondrus crispus* Stackh. Botánica Marina, Vol XXVIII: 87-97.

Edding M, Fonck E, Acuña R & Tala F (2008) Cultivation of *Chondrus canaliculatus* (C. Agardh), Greville (Gigartinales, Rhodophyta) in controlled environments. Aquaculture International 16: 283-295.

Hoffmann A & Santelices B (1997). Flora marina de Chile central. Ediciones Universidad Católica de Chile. Chile. 433 pp.

Zertuche-González JA, García-Lepe G, Pacheco-Ruiz I, Chee A, Gendrop V & Guzmán JM (2001) Open water *Chondrus crispus* stackhouse cultivation. Journal of Applied Phycology 13: 249-253.



5.1.4. Comestibles

A este grupo pertenecen las algas comestibles: *Pyropia* sp, *Callophyllis variegata*, *C. chamissoi* y *D. antártica*.

Pyropia spp.
(Luche)



Figura 18. *Pyropia* spp. (Foto: Francisco Galleguillos, IFOP).

Antecedentes Biológicos y Ecológicos

Un estudio reciente de taxonomía molecular efectuado en la costa de Chile (Guillemin *et al.* 2015) revela que al menos 16 especies formarían el conjunto asociado a los géneros *Porphyra* y *Pyropia*, y con excepción de *Porphyra orbicularis*, todas las especies descritas en ese estudio serían nuevas para la flora marina chilena.

La diferencia entre las “especies” descubiertas en ese estudio y las previamente descritas para la costa, se debe a la complejidad de identificar estas algas en base a caracteres morfológicos. Hasta antes del estudio realizado por Guillemin *et al.* (2015), se reconocían para la costa de Chile 10 especies dentro del género *Porphyra* (Ramírez & Santelices 1991; González & Santelices 2003) y una especie de *Pyropia* (Ramírez *et al.* 2014).

Estas especies presentan dos fases en su ciclo de vida: una fase es macroscópica, y corresponde a las algas que se pueden encontrar adheridas a rocas. Estas algas macroscópicas pueden tener células reproductivas masculinas, femeninas o ambas. Al reproducirse, estas plantas generan un



tipo de esporas denominado cigotoespora, que generará una fase microscópica denominada conchocelis. Esa fase microscópica filamentosa que crece dentro de conchas de moluscos, y al madurar, produce esporas denominadas conchoesporas que generarán nuevas plantas de luce. Las poblaciones de luce son intermareales, algunas de ellas dominan el intermareal superior. Estas especies tienen una gran resistencia a la desecación cuando baja la marea, llegando a estar prácticamente deshidratadas cuando la radiación solar es alta durante la bajamar. Si bien los mecanismos fisiológicos o bioquímicos que permiten a estas algas resistir la desecación son desconocidos, esta propiedad es usada en los cultivos comerciales para evitar el fouling. Por otro lado, el luce resiste bajas salinidades y es tolerante a periodos de congelación, propiedad que también es utilizada en los cultivos para extender el periodo de crecimiento y cosechas.

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

El cultivo del luce se desarrolla en tres etapas: siembra de fase conchocelis, siembra de conchoesporas y crecimiento en el mar.

Etapas Laboratorio y Hatchery

Siembra de fase conchocelis en invernadero

En esta etapa se induce a las frondas maduras a que liberen sus esporas, mediante desecación. Una vez liberadas las esporas, estas son sembradas sobre valvas de moluscos (preferentemente ostra chilena u ostra japonesa). Las valvas de ostras deben colocarse en el fondo de estanques, los que idealmente deben tener baja profundidad y privilegiar mayor superficie, para disponer de más conchas en el fondo. Las conchas que se utilicen deben estar limpias y sin materia orgánica, prefiriendo el uso de las conchas más planas. Se debe tratar de sembrar la mayor cantidad de conchas con fase conchocelis.

Romo *et al.* (2005) identificaron condiciones óptimas (temperatura, salinidad, flujo fotónico y fotoperíodo) tanto para el crecimiento como la maduración de la fase conchocelis en invernadero. Además en invernadero se requiere la incorporación de nutrientes a los estanques, recambio de agua y limpieza de los estanques para evitar el fouling.

Siembra de conchoesporas sobre redes de cultivo de luce

Una vez que la fase conchocelis ha crecido y madurado, el paso siguiente es sembrar redes con las esporas generadas por la fase conchocelis (conchoesporas). Las redes que se utilizan para sembrar estas esporas son especiales para el cultivo de luce (1,8 m ancho × 18 m largo; 30 cm de apertura de malla). La siembra de estas esporas se puede desarrollar en invernadero, utilizando un sistema mecanizado en donde las redes que se sembrarán con conchoesporas son puestas alrededor de un cilindro de metal inoxidable de 2 m de alto y 1,5 m a 2 m de diámetro. Este cilindro tiene un sistema mecanizado que permite que gire lentamente sobre un estanque en el que se disponen las conchas de ostra con fase conchocelis madura, las cuales liberan esporas que se fijan sobre las redes de cultivo. Existe un método alternativo al invernadero, que consiste en el uso de una malla doble, la



cual tiene numerosos “bolsillos” dentro de los que se introducen conchas previamente inoculadas con fase conchocelis producidas en invernadero. Sobre esta malla doble se colocan 10 a 20 redes sobre las que se fijaran las conchosporas, envolviendo todo en una manga de polietileno. Este paquete se lleva a un sistema suspendido en el mar para que las conchas liberen sus esporas y se fijen sobre las redes dentro de la manga de polietileno. Posteriormente, las redes inoculadas con conchosporas son sacadas de la manga de polietileno y trasladadas a los sitios definitivos de cultivo en el mar (Romo *et al.* 2005).

Etapa Mar

Crecimiento de luche en el mar

Una vez que se ha producido la fijaci3n de conchoesporas sobre las redes de cultivo, las redes son trasladadas a sitios definitivos de crecimiento en el mar. Una alternativa consiste en poner las redes en sistemas de cultivo fijo que se disponen en el intermareal. Las redes se colocan orientadas perpendicularmente a la l3nea de costa, ocupando la franja de distribuci3n que normalmente ocupar3a en luche en condiciones naturales, y son amarradas a estacas a una altura que permita que experimenten los per3odos de desecaci3n e inmersi3n propios de un ciclo mareal, evitando as3 la presencia de fouling. Un sistema muy parecido, denominado semiflotante, consiste en colocar las redes con un sistema de argollas y flotadores a las estacas; de esta forma, las redes se mueven con el ciclo de las mareas, pero hasta un tope puesto en las estacas, permitiendo que las redes est3n mayor tiempo sumergidas.

Un tercer sistema de crecimiento, denominado flotante, requiere del uso de una columna de agua con profundidad mayor a 15 m, fondo blando (idealmente) y protegido del oleaje y corrientes. En ese tipo de sitios, las redes son dispuestas horizontalmente (mediante flotadores) a la superficie del mar y fijadas con anclas met3licas al fondo. Las redes deben someterse a per3odos de desecaci3n diario mediante el uso de sistemas parecidos a caballetes, que produzcan la emersi3n frecuente (ojala diaria) de las redes. Una variante de este sistema es el uso de soportes met3licos que incorporan un sistema de contrapeso y flotaci3n, los cuales facilitan el proceso de emersi3n de las redes.

Independiente del sistema que se utilice, es cr3tico que las redes sean sometidas a per3odos de desecaci3n, para evitar el fouling y as3 privilegiar el crecimiento s3lo de luche. Si el manejo es adecuado, las redes pueden estar listas para la primera cosecha en dos meses. La cosecha puede ser manual o mecanizada, y dentro de una temporada de cosecha una misma red podr3a ser cultivada hasta 5 veces entre otoo3n e invierno.



Figura 19. Etapa de mar del cultivo de *Pyropia* spp. (Foto: Francisco Galleguillos, IFOP).

Factores Críticos de su Cultivo

El desarrollo de este cultivo requiere obligadamente una etapa de hatchery para producir la fase conchocelis sobre valvas de moluscos. Las dimensiones y equipamiento del invernadero estar3n en directa relaci3n con la cantidad de redes que se desee inocular. Se requiere de t3cnicos con habilidades espec3ficas para verificar crecimiento y maduraci3n de la fase conchocelis.

Para la fase de crecimiento de luche, es cr3tico someter a per3odos de desecaci3n las redes, para evitar el fouling y privilegiar el crecimiento de luche.

Referencias Bibliogr3ficas

Guillemin ML, Contreras-Porc3a L, Ramirez ME, Macaya E, Bulboa Contador C, Woods H, Wyatt C & Brodie J (2016) The bladed Bangiales (Rhodophyta) of the South Eastern Pacific: Molecular species delimitation reveals extensive diversity. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 94: 814-826.

Gonz3lez A. & Santelices, B. (2003). A re-examination of the potential use of central Chilean Porphyra (Bangiales, Rhodophyta) for human consumption. In: Chapman, A.R.O., Anderson, R.J., Vreeland, V.J., Davidson, I. (Eds.), *Proc. 17th Intern. Seaweed Symp.* Oxford University Press Inc., NY, pp. 249–255.

Ram3rez ME & Santelices B (1991) Cat3logo de las algas marinas bent3nicas de la costa templada del pac3fico de Sudam3rica. *Monograf3as Biol3gicas* 5: 1-437.



Ramírez ME, Contreras-Porcía L, Guillemín ML, Brodie J, Valdivia C, Flores-Molina MR, Núñez A, Bulboa-Contador C & Lovazzano C (2014) *Pyropia orbicularis* sp. nov. (Rhodophyta, Bangiaceae) based on a population previously known as from the central coast of Chile. *Phytotaxa* 158: 133–153.

Romo H, Ávila M, Candía A, Núñez M, Oyarzo C, Galleguillos F & Cáceres J (2005) Manual de técnicas de cultivo de “Luche” (*Porphyra* sp.) Proyecto FONDEF D01I1148. IFOP, 32 pp.

Callophyllis variegata
(Carola)



Figura 20. *C. variegata* (Foto: <http://macroalgasdelsur.cl/germoplasma/carola.html>).

Antecedentes Biológicos y Ecológicos

C. variegata presenta características especiales que la hacen muy atractiva para el consumo humano (alto contenido de vitaminas y minerales). Al menos 9 especies de *Callophyllis*, han sido citadas para el Pacífico Temperado de Sudamérica (Perú y Chile), 8 de las cuales estarían presentes en el litoral de Chile (Ramírez & Santelices, 1991). Estudios recientes, realizados en la costa centro-sur de Chile, entre los 33° y 41°S (Arakaki *et al.* 2011), encontraron una diversidad de morfos, que de acuerdo a una combinación de datos independientes, tanto morfológicos como de la biología molecular, constituirían al menos tres entidades diferentes: *C. variegata*, la especie tipo del género, *Callophyllis concepcionensis* y *Callophyllis macrostolata*, estas dos últimas, descritas como nuevas especies. En la costa de la Región de Los Lagos, el género está representado por estas tres entidades:



C. variegata: Plantas de color rojo intenso, de consistencia membranosa y tamaño variable, hasta 30 o 40 cm. de alto. Ramificación repetidamente dicótoma a irregularmente dicótoma, dando a la fronda un aspecto fabelado. Esta especie presenta una distribución subantártica, distribuyéndose a lo largo de toda la costa de Chile y alcanzando su límite norte de distribución en la costa del Perú central (14°). Crecen adheridas a las rocas a menudo en playas de arena gruesa, en hábitats semiexpuestos o protegidos, entre 0 -15 m de profundidad.

C. concepcionensis: Talo de color rojo, de mayor grosor y consistencia que *C. variegata* y *C. macrostolata*, de hasta 35 cm de alto. Endémica a la costa de Chile. Se encuentra distribuida entre Concepción y Chiloé.

C. macrostolata: Talo de color rojo, de consistencia firme y cartilaginosa y tamaño variable (12 a 35 cm). Endémica a la costa de Chile, encontrándose entre Concepción y Chiloé.

Las praderas de *Callophyllis* son típicamente submareales, se encuentran hasta los 17 m de profundidad. En la Región de Los Lagos las especies ocurren juntas siendo más abundante *C. variegata* y están asociadas a otras especies de algas rojas de importancia económica, como por ejemplo, *S. crispata*, *G. skotsbergii* y algas pardas como *L. trabeculata*. Tienen una distribución parchosa, cubriendo extensiones de hasta 4 há. La productividad de las praderas es variable durante el año, observándose mayor biomasa en los meses de verano y disminución en los meses de invierno. Observaciones realizadas en terreno indican que se puede alcanzar una biomasa máxima promedio de $445,5 \pm 55$ g/m² en la Región de Los Lagos, mientras que en zonas como la Región de Magallanes la biomasa máxima puede ser menor (90 g/m²). Similar a lo observado en biomasa, la densidad de frondas de *C. variegata* es variable. Muestreos realizados en praderas naturales en la Región de Los Lagos muestran que las frondas no reproductivas (vegetativas) son las más abundantes, con una densidad máxima de hasta $48 \pm 9,5$ frondas/m². Las frondas tetráspóricas se mantuvieron bajo los 4,8 frondas/m². Por el contrario las frondas cistocárpicas presentan una densidad irregular con un promedio de 19 frondas/m². La estructura de talla de las praderas muestra una distribución de frecuencia en un rango de 3 a 23 cm de fronda, durante un ciclo anual de muestreo (Hernández *et al.* 2010, Ávila *et al.* 2012). Las praderas se encuentran reproductivas todo el año, sin embargo, existe una estacionalidad. Según Escalona *et al.* (1998), los cistocarpos se encuentran maduros a partir del mes de marzo, liberando esporas hasta el mes de septiembre, en tanto, las tetrásporas se encontrarán durante los meses de primavera, en especial durante el mes de Noviembre encontrándose con un 30% del total de las frondas tetráspóricas (Filún *et al.* 1999, Gütler 1999, Buschmann *et al.* 2001).

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

Durante la ejecución del proyecto Fondef D08I1067, se iniciaron en laboratorio cultivos a partir de carpósporas y tetrásporas en condiciones controladas de fotoperiodo, iluminación y temperatura y con medio de cultivo Provasoli. Las carpósporas a partir del segundo día inician la germinación, formando un tubo de germinación y luego de sucesivas divisiones forman un disco. Después de 7 semanas de cultivo los discos inician la formación de un talo central, esta crece y en muchos casos se desprende, pudiendo regenerar otros talos. Los talos desprendidos fueron cultivados hasta alcanzar después de 12 meses de cultivo, tamaños de hasta 7cm-8 cm de longitud. No se observó formación de tetrásporangios en condiciones de laboratorio. Por otra parte, las tetrásporas también



fueron cultivadas en condiciones similares de laboratorio, formando igualmente discos de germinación de los cuales se formaron talos gametofíticos, los que después de un tiempo de cultivo se necrosaron y murieron no logrando completar el ciclo. El número de carpósporas liberadas por estructuras reproductivas maduras en laboratorio de frondas colectadas en praderas naturales es variable en el año, en primavera, los cistocarpos se observan maduros y el número promedio de esporas varía de 7.000 a 30.000 carpósporas/ml, mientras que, en verano en las praderas naturales predominan las frondas no reproductivas observándose cistocarpos con menos frecuencia y el número promedio de esporas liberadas baja a 46 y 800 carpósporas/ml. En verano, en la Región de Los Lagos la especie *C. variegata* presenta baja cantidad de esporas viables.

Factores Críticos de su Cultivo

Es primordial la calidad del material reproductivo para conseguir una buena esporulación; de acuerdo a la información reportada, las esporas deben producirse en primavera. El cultivo principalmente se ha desarrollado en laboratorio y es de crecimiento lento.

Referencias Bibliográficas

Arakaki N, Alveal K, Ramirez ME & Fredericq S (2012) The Genus *Callophyllis* (Kallymeniaceae, Rhodophyta) from Central-South Chilean Coast (33° to 41° S), with the description of two new species. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 418-499.

Ávila M, Alcapán A, Piel MI, Ramírez ME & Cortés M (2012) Manual de cultivo del alga comestible *Callophyllis variegata* (Bory) Kützinger ("carola") en el sur de Chile. Serie Programa Educativo para el desarrollo de la acuicultura de especies nativas. Universidad Arturo Prat. 44 pp. FONDEF D0811067.

Buschmann AH, Correa JA, Westermeier R, Hernández-González MC. & Norambuena R (2001). Cultivation of red algae in Chile: a review. *Aquaculture* 194: 203 – 220.

Escalona M, Hernández M, Guttler P, Filún L, Aroca G, Vidal L, Cifuentes M, Westermeier R & Buschmann AH (1998). Abundancia, fenología y cultivo de *Callophyllis variegata* (Bory) Kützinger (Rhodophyta): un alga comestible. Resumen XVIII Congreso Ciencias del Mar Sociedad chilena de Ciencias del Mar, Iquique, Chile, 04-08 mayo 156 pp.

Filún L, Reyes B, Espinoza E, A, Buschmann AH. & Westermeier R (1999) Ecología de *Callophyllis variegata* (Gigartinales, Rhodophyta) en Punta Corona (Isla de Chiloé). Resumen XIX Congreso Ciencias de Mar Sociedad Chilena de Ciencias del Mar, Antofagasta, Chile, 03-07 Mayo, 108 pp.

Güttler P (2000). Dinámica poblacional de *Callophyllis variegata* (Rhodophyta, Kallymeniaceae) y especies asociadas en Punta Corona (Ancud, Chiloé). Informe Práctica profesional. Universidad de los Lagos, Osorno, Chile. P.64.



Hernández MC, Aroca G, Furci G, Buschmann AH, Filún L & Espinoza R (2010) Population dynamics and culture studies of the edible red alga *Callophyllis variegata* (Kallymenaceae). Phycological Research 58: 108-115.

Ramírez ME & Santelices B (1991) Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa templada del pacífico de Sudamérica. Monografías Biológicas 5: 1-437.

Las otras algas comestibles, *C. chamissoi* y *D. antártica*, han sido desarrolladas en la sección de carragenófitas y alginófitas respectivamente.



5.2. Identificaci3n de factores asociados a la viabilidad t3cnico-econ3mica de cultivos

Hasta la fecha se han realizado 36 encuestas, de las cuales 11 corresponden a acuicultores (empresas), 15 a investigadores y 10 a OPA. La aplicaci3n de la encuesta se realiz3 desde la regi3n de Tarapac3 (I regi3n) hasta la regi3n de Los Lagos (X regi3n). En la regi3n de Tarapac3 se encuest3 a 1 investigador y 2 representantes de OPA. En la regi3n de Atacama, a un acuicultor y 2 representantes de OPA. En la regi3n de Coquimbo, 1 representante de una empresa, 4 investigadores del 3rea y 1 representante OPA. Tanto en la regi3n Metropolitana como en la regi3n del Biob3o, se encuest3 a 2 investigadores por regi3n. En la regi3n de Los R3os, 2 OPA y en la regi3n de Los Lagos a 9 representantes de acuicultores (empresa), 6 investigadores y 3 representantes de OPA (ANEXO 2). Cabe se3alar que el levantamiento de informaci3n a3n contin3a.

5.2.1. Resultados sobre experiencia en acuicultura de algas:

Frente a la pregunta de cuales especies ha cultivado, *Gracilaria* suma 23 iniciativas de cultivo (5 veces por la empresa, 11 por investigadores y 7 por OPA), *Macrocystis* con 18 iniciativas (3 desde la empresa, 11 de investigadores y 4 de las OPA) y *Gigartina*, *Sarcothalia* y *Chondracanthus* con 10 iniciativas de cultivo cada especie. En total se contabilizaron 21 especies que han tenido alguna iniciativa de cultivo (Figura 21). Cabe se3alar que las OPA han realizado cultivos en s3lo 6 especies: *C. variegata* (carola), *C. chamissoi* (chicorea de mar), *G. skottsbergii* (luga Roja), *G. chilensis* (pelillo), *M. pyrifera* (huiro) y *S. crispata* (luga negra) y los encuestados relacionados con la empresa solo 5: *G. skottsbergii* (luga roja), *G. chilensis* (pelillo), *M. pyrifera* (huiro), *Pyropia* spp. (luche) y *S. crispata* (luga negra), todas ellas de importancia comercial.

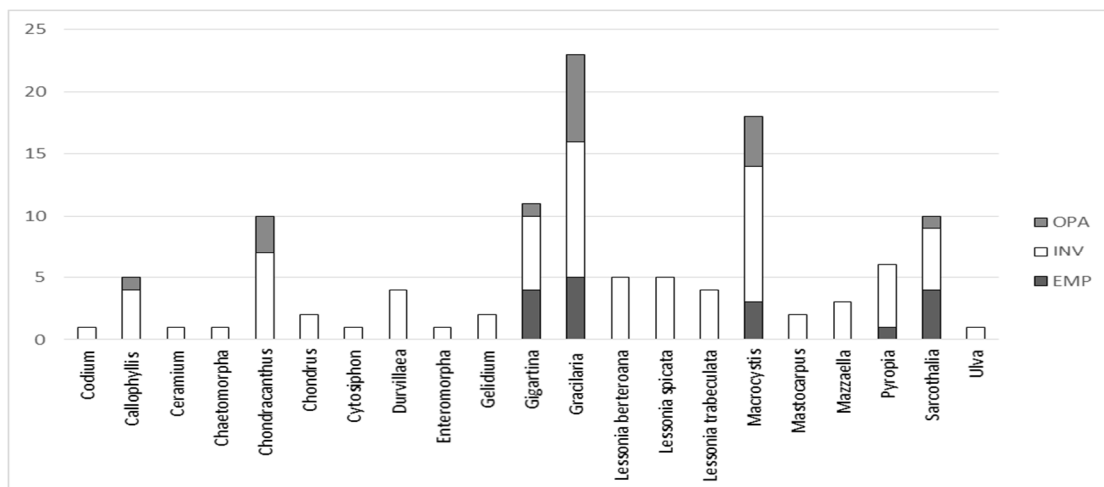


Figura 21. N3mero de iniciativas de cultivo por especie ejecutadas por representantes de organizaciones pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).



Se registraron 18 razones por la cuales se realizaron estas iniciativas (Figura 22). Los motivos de cultivo sealados con m1s frecuencia fueron el valor comercial de la especie (71 veces), aportar al conocimiento tecnol3gico y cientifico (32 veces), y por aplicaciones productivas (20 veces). Los encuestados sealaban hasta tres razones por iniciativa de cultivo. Para el cultivo de *Gracilaria*, 7 encuestados sealaban como una de las razones de cultivo el valor comercial del alga y 6 por sus aplicaciones productivas, principalmente la producci3n de agar (Tabla 1 en ANEXO 4).

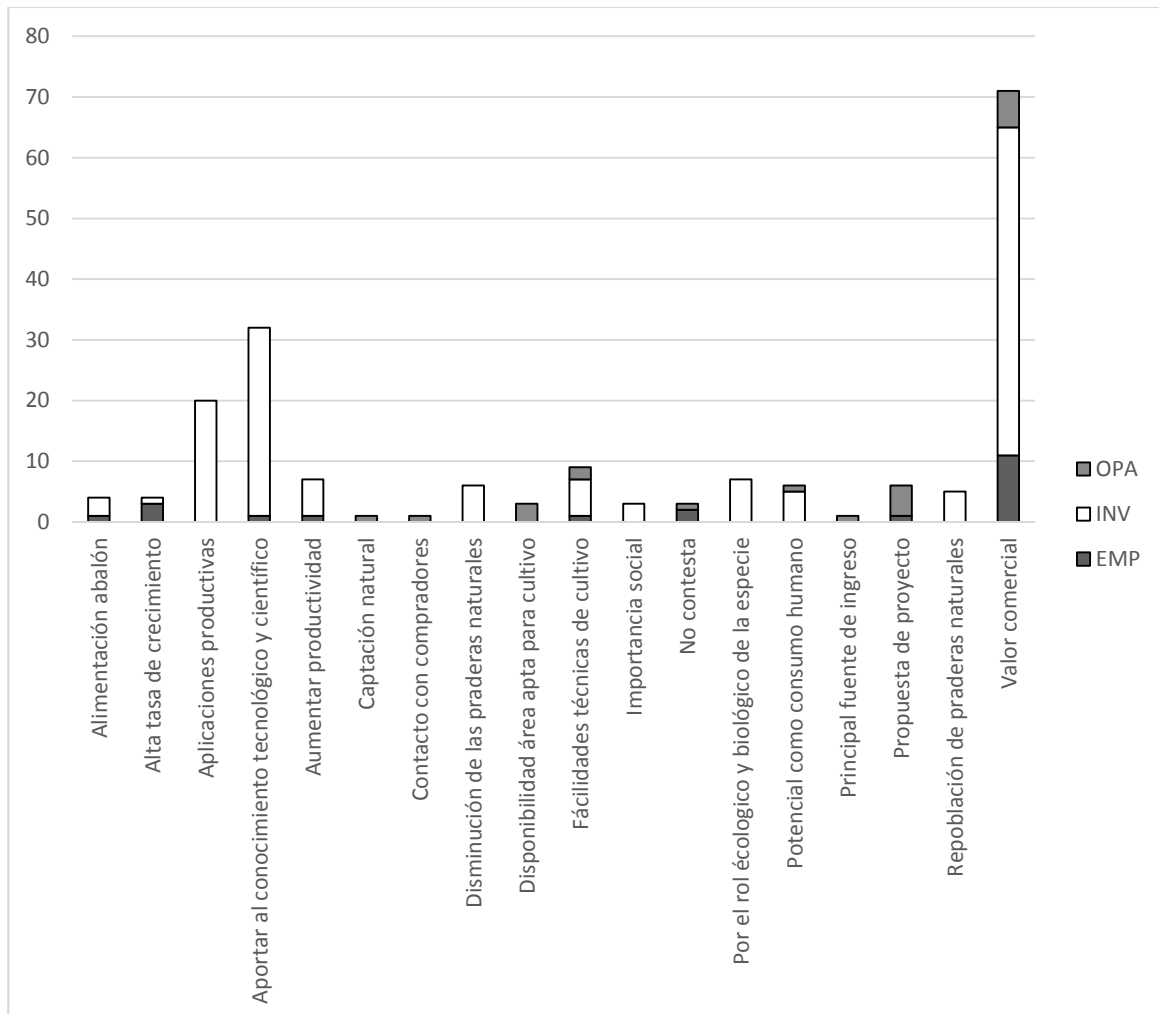


Figura 22. Frecuencia relativa de principales motivadores para la elecci3n de la especie en las iniciativas de cultivo ejecutadas por representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

En cuanto al financiamiento, proyecto u instancia en la cual se desarroll3 la iniciativa. Los fondos m1s frecuentes fueron FONDEF, fondos internacionales, fondos propios, FAP, fondos internos de las universidades, fondos privados y FIC (Figura 23).

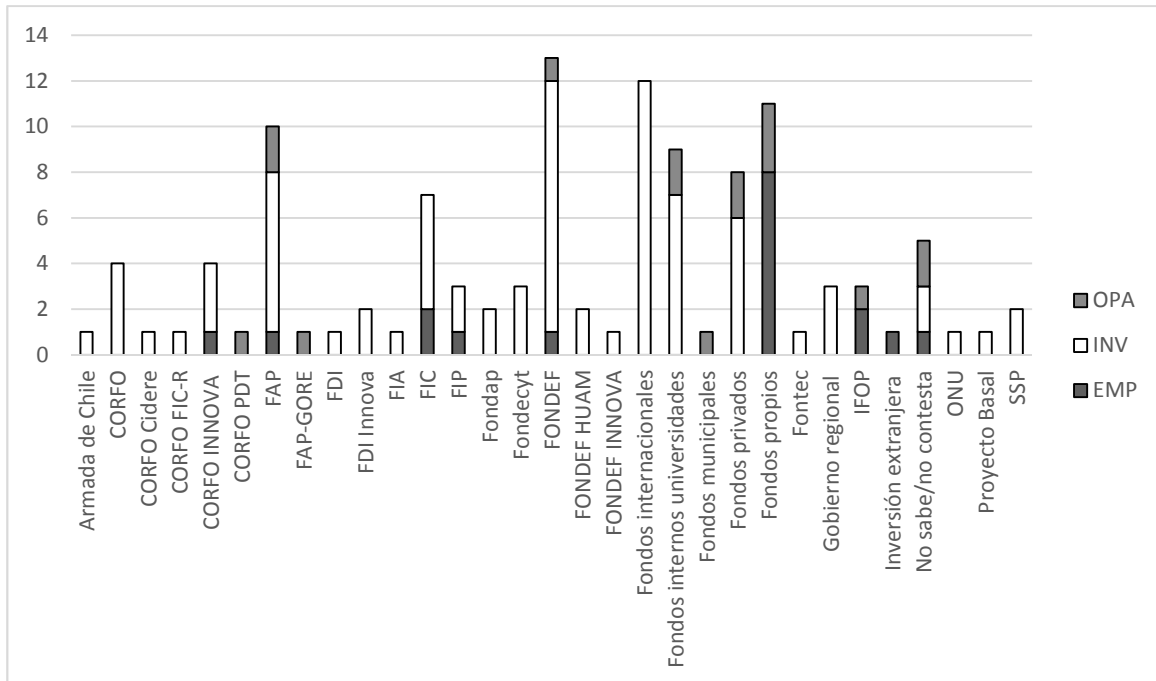


Figura 23. Frecuencia del tipo de financiamiento usado por proyectos o instancias en la cual iniciativas de cultivo de algas han sido desarrolladas por representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

Se reportaron 9 sistemas de cultivo, de las cuales el m1s frecuente resultado ser el cultivo suspendido con 53 menciones (Figura 24). Las especies con m1s frecuencia de instancias por cultivo suspendido fueron *Macrocystis* con 13 iniciativas (3 de empresas, 7 de investigadores y 3 de OPA), *Gracilaria* con 10 iniciativas (2 de empresas, 4 de investigadores y 4 de OPA) y *Sarcothalia* con 8 iniciativas (4 de empresas, 3 de investigadores y 1 de OPA). Los cultivos de fondo est1n referidos principalmente a *Gracilaria* (Tabla 2 en ANEXO 4).

Respecto al origen de las pl1ntulas/semillas se reportaron 55 iniciativas desde praderas naturales (Figura 25), siendo principalmente de investigadores en iniciativas de cultivo de *Gracilaria* (13). Desde Hatchery se reportaron 37 iniciativas, principalmente se1aladas por investigadores para el cultivo de *Macrocystis*, ya que las metodolog1as utilizadas para el cultivo de esta alga requieren la generaci3n de pl1ntulas o inoculaci3n directa sobre cuerdas en hatchery. S3lo en una ocasi3n el origen de las pl1ntulas era desde cultivo y correspondi3 a una OPA que utiliza parte de su cosecha para replantar su concesi3n (Tabla 3 en ANEXO 4).

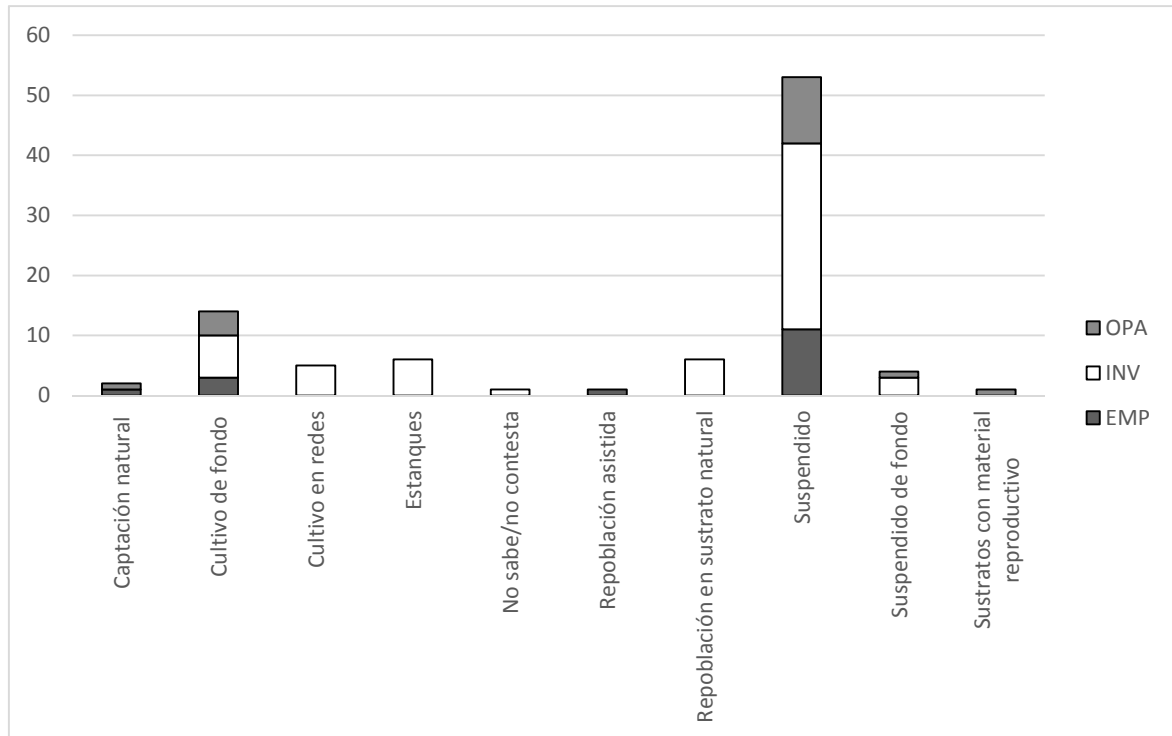


Figura 24. Frecuencia relativa en el uso de sistemas de cultivo utilizados por representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

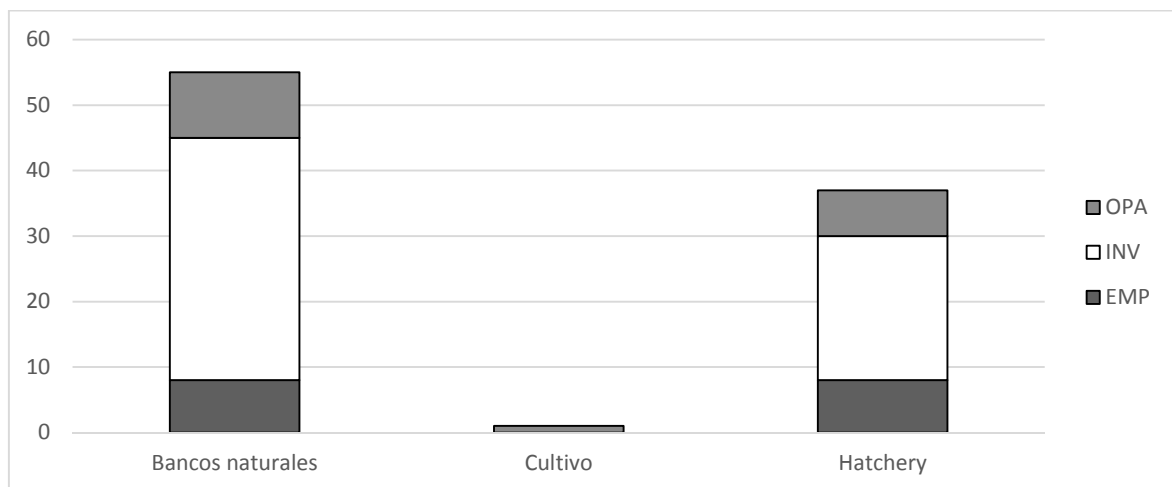


Figura 25. Frecuencia relativa en el uso de plántulas/semillas procedentes de bancos naturales, otros cultivos de algas y hatcheries por representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).



Respecto a la capacitaci3n involucrada en las iniciativas de cultivo, de las 73 iniciativas reportadas el 30,1% (22) no recibieron capacitaci3n, mientras que el 69,9% (51) se~ala haber recibido. La que en su mayor~a consisti3 en una charla sobre t~cnicas de cultivo (31 veces) y una charla y una actividad pr~ctica (12 veces) (Figura 26).

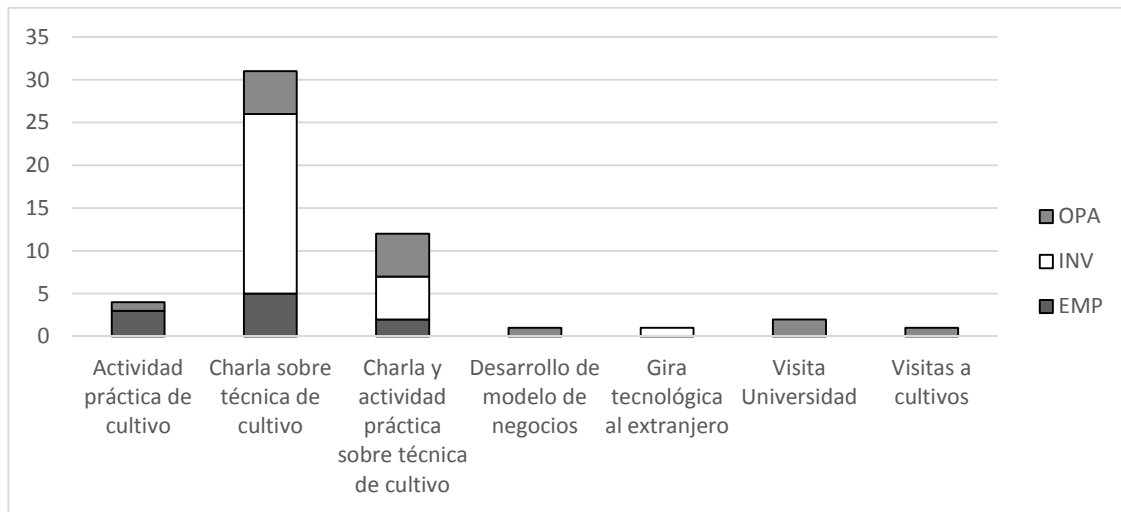


Figura 26. Frecuencia relativa en el tipo de capacitaci3n recibida por representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

Sobre las instituciones que realizaron capacitaciones, las universidades fueron mencionadas en 26 veces, mientras que IFOP fue mencionado en 11 veces (Figura 27).

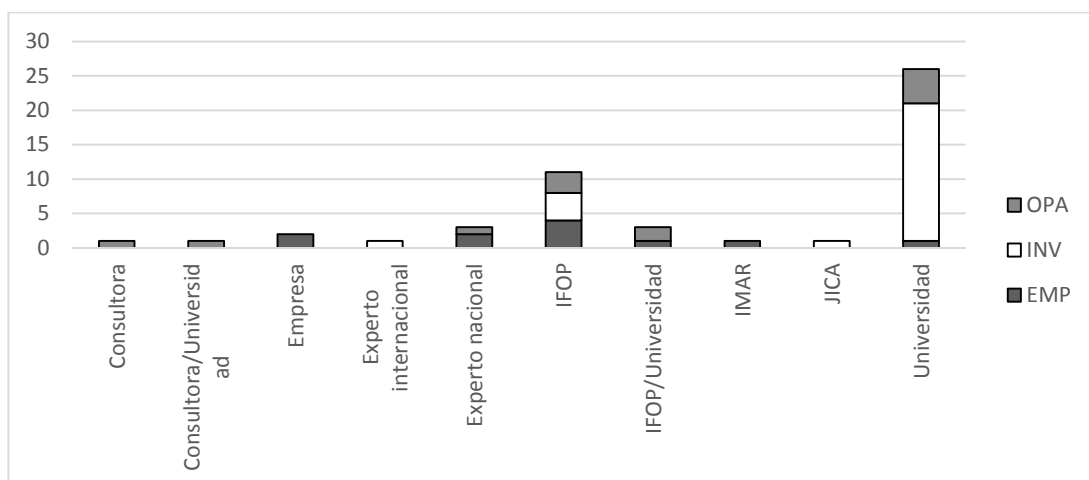


Figura 27. Frecuencia de Instituciones que capacitaron a organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).



De las 51 iniciativas que recibieron capacitaci3n el 92,1% (47 iniciativas) dice que la capacitaci3n fue 3til, el 1,9% (solo 1 iniciativa) que no lo fue y el 5,8% no responde/no sabe. Las razones por la cual consideraron 3tiles las capacitaciones fue principalmente por la adquisici3n de conocimientos t3cnicos (27 veces) (Figura 28).

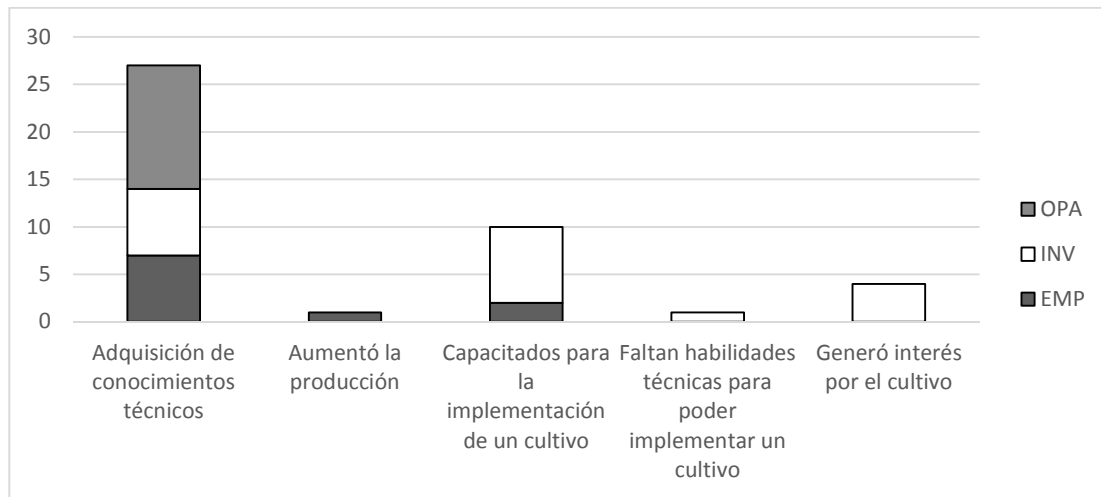


Figura 28. Frecuencia relativa de la percepci3n de los esfuerzos de capacitaci3n en cultivo de algas en representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

Sobre los resultados del cultivo, de un total de 70 respuestas, un 35,7% (25) se3ala no haber tenido producci3n y un 64,3% (45) se3ala que la iniciativa tuvo producci3n, la que se refiere b3sicamente al aumento de biomasa. Solo un 34,3% (24) se3ala que en la iniciativa de cultivo hubo comercializaci3n de las algas, mientras que un 65,7% (46) se3ala que no hubo. Respecto a la transferencia/venta de pl3ntulas/semillas a otros acuicultores, la pregunta fue dirigida solo a empresas y a investigadores (total de 34 respuestas). Un 85,3% (29) se3ala que no existi3 transferencia en el cultivo realizado y un 14,7% (5) se3alo que si hubo transferencia.

Respecto a la proyecci3n de rentabilidad econ3mica de la acuicultura de algas, de las 58 respuestas obtenidas, el 12,1% se3al3 que el cultivo era nada rentable, el 13,8% que era poco rentable, el 31,0% que era medianamente rentable, el 36,2% que era rentable y el 6,9% que era muy rentable (Figura 29). Sin embargo, al justificar sus respuestas, los encuestados expusieron principalmente condicionantes de la rentabilidad, como el generar valor agregado a la biomasa producida (8 veces) y la necesidad de tener mayor conocimiento del manejo del cultivo (4 veces).

Tambi3n se se3al3 que la rentabilidad dependi3 del destino de la producci3n (5 veces) y que las algas tienen una demanda permanente en el mercado (6 veces) (Tabla 4 en ANEXO 4). Las especies que fueron calificadas como m3s rentables son *Macrocystis* (5 veces), *Gracilaria* (4 veces) y *Sarcothalia* (3 veces) (Figura 30).

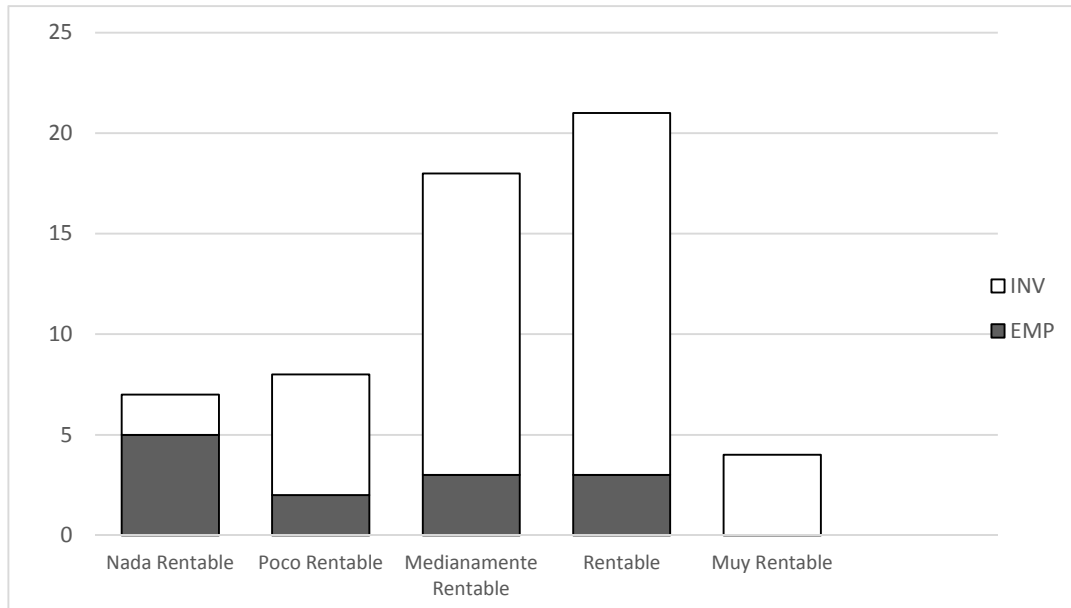


Figura 29. Frecuencia en la percepción de la rentabilidad económica de la acuicultura de algas por representantes de investigadores (INV) y empresas asociadas (EMP).

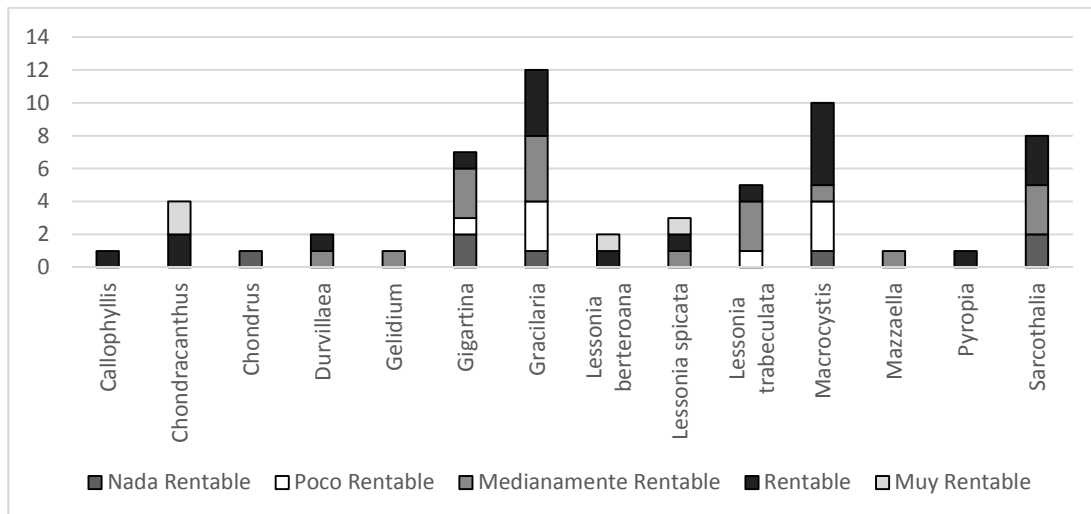


Figura 30. Frecuencia relativa en la percepción de la rentabilidad económica que tienen por representantes de investigadores (INV) y empresas (EMP) respecto a las diversas especies de algas cultivables.



5.2.2. Resultados sobre proyecci3n de la acuicultura de algas

Frente a la pregunta de si su organizaci3n (empresa y OPA) est1 dispuesta a diversificar sus actividades productivas mediante cultivos de algas, el 95% (19) sostiene que su organizaci3n est1 dispuesta a diversificar sus actividades productivas a trav3s de un cultivo de algas y s3lo 1 (5%) se1al3 que no lo estar1an. Las razones m1s frecuentes tienen relaci3n a la acuicultura de algas como opci3n a la escasez de recursos pesqueros en general (3 veces, 1 desde empresa y 2 desde OPA) y el fomento del cultivo para suplir la alta demanda de algunas especies (2 veces, 1 empresa y 1 OPA) (Tabla 1).

Tabla 1.

Frecuencias relativas de las razones por la cual la organizaci3n de pescadores y acuicultores estar1an dispuestos a diversificar sus actividades productivas a trav3s de acuicultura de algas (EMP= Empresa y OPA=Organizaci3n de pescadores artesanales)

Motivos	EMP	OPA	Total general
Beneficios a futuro		1	1
Como opci3n a la escases de recursos pesqueros	1	2	3
Como opci3n a otras actividades pesqueras	1		1
Como opci3n a otros cultivos	1		1
Con especies resistentes		1	1
Fomento del cultivo por alta demanda	1	1	2
Gestionando conces3n para cultivo de algas	1		1
Mantener producci3n		1	1
No contesta	1		1
Para potenciar AMERB		1	1
Principal actividad econ3mica	1		1
Proporcionar materia prima de calidad y valor agregado	1	1	2
Si el cultivo es rentable	1	1	2
Valor agregado al producto		1	1
Total general	9	10	19

Al preguntar a OPA, empresas e investigadores si consideran la acuicultura de algas como una real alternativa de diversificaci3n productiva, de un total de 35 respuestas, un 97,1% (34) se1alaron que consideran como una alternativa real y solo un entrevistado se1ala que no lo es (2,9%). Entre las razones, la factibilidad tecnol3gica y econ3mica del cultivo (7), como complemento a otras actividades relacionadas con la pesca (5), beneficios econ3micos (3) y el alto valor comercial (4) fueron las respuestas m1s frecuentes (Tabla 2).



Tabla 2.

Frecuencias relativas de las razones por la cual se considera la acuicultura como real alternativa de diversificaci3n productiva (EMP= Empresa, INV=Investigador y OPA=Organizaci3n de pescadores artesanales)

Motivo	EMP	INV	OPA	Total general
Alto valor comercial	3		1	4
Baja inversi3n y buen crecimiento de las algas			1	1
Beneficios econ3micos			3	3
Complementario a otras actividades relacionadas con la pesca	1	3	1	5
Existen factores ambientales positivos para la actividad	1	1		2
Factibilidad tecnol3gica y econ3mica de cultivo	1	5	2	8
Generaci3n de trabajo			1	1
Hay capacidades	1			1
No hay empresas interesadas en diversificar la actividad		1		1
Pero con productos con valor agregado		1		1
Pero con valor agregado	1	1		2
Pero, con una real inversi3n en educaci3n en torno al cultivo		1		1
Prioritario por la explotaci3n de las praderas naturales	1	1	1	3
Solo si existe demanda real del mercado	1	1		2
Total general	10	15	10	35

Respecto a las algas de inter3s para cultivo, se registraron 25 opciones, en las que se incluyen “cualquier especie” (2), “ninguna” (2), “algas pardas” (2) y “productoras de hidrocoloides” (1). Las especies de algas con mayor inter3s en cultivarlas son *Gracilaria* y *Macrocystis* (11 veces cada una), *Sarcothalia* (9 veces) y *Gigartina* y *Chondracanthus* (7 veces cada una) (Figura 31).

Los motivos del inter3s por cultivar estas especies, est3n relacionado con su alto valor comercial (mencionado 10 veces), su potencial como alimento humano (en el caso de *Macrocystis* y *Chondracanthus*, mencionado 5 veces) y por su rentabilidad a corto plazo (en el caso de las *Gigartina*, *Sarcothalia* y *Gracilaria*) (Tabla 5 en ANEXO 4).

Al preguntar por las especies con mayor viabilidad y proyecci3n para masificar su cultivo, la mayor frecuencia fue *Gracilaria* y *Sarcothalia* (11 veces cada una), *Macrocystis* (10 veces) y *Chondracanthus* (6 veces) (Figura 32). Las razones m3s frecuentes de la elecci3n fueron: La factibilidad del cultivo (5), la existencia de conocimiento suficiente (4), el alto valor comercial (4) y la importancia ecol3gica de la especie (4) (Tabla 6 en ANEXO 4).

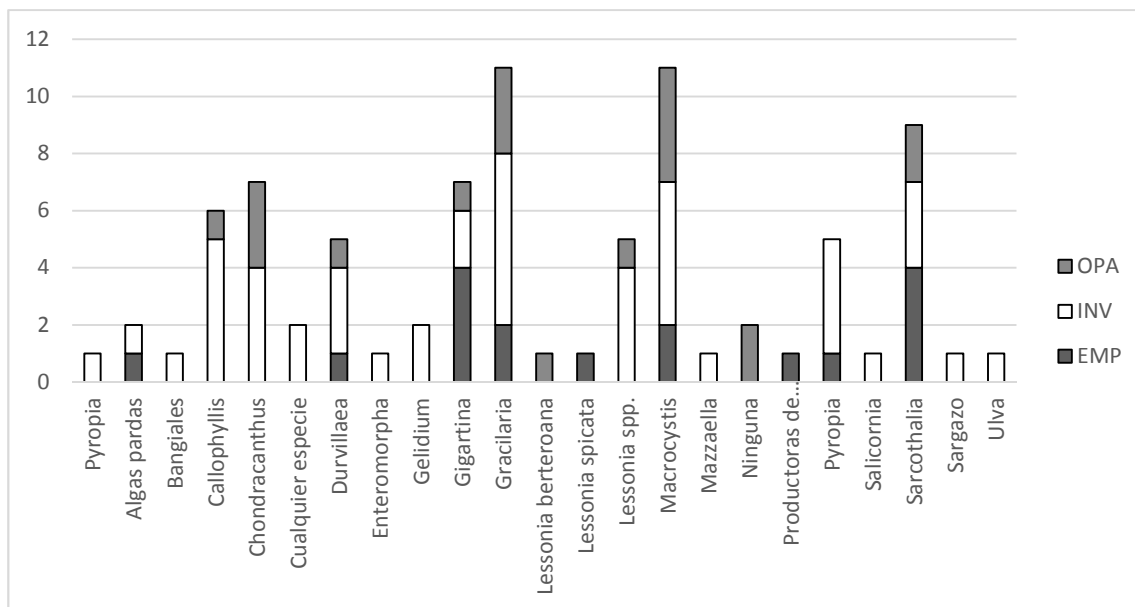


Figura 31. Frecuencia relativa en la elecci3n de una especie potencial de cultivo por representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

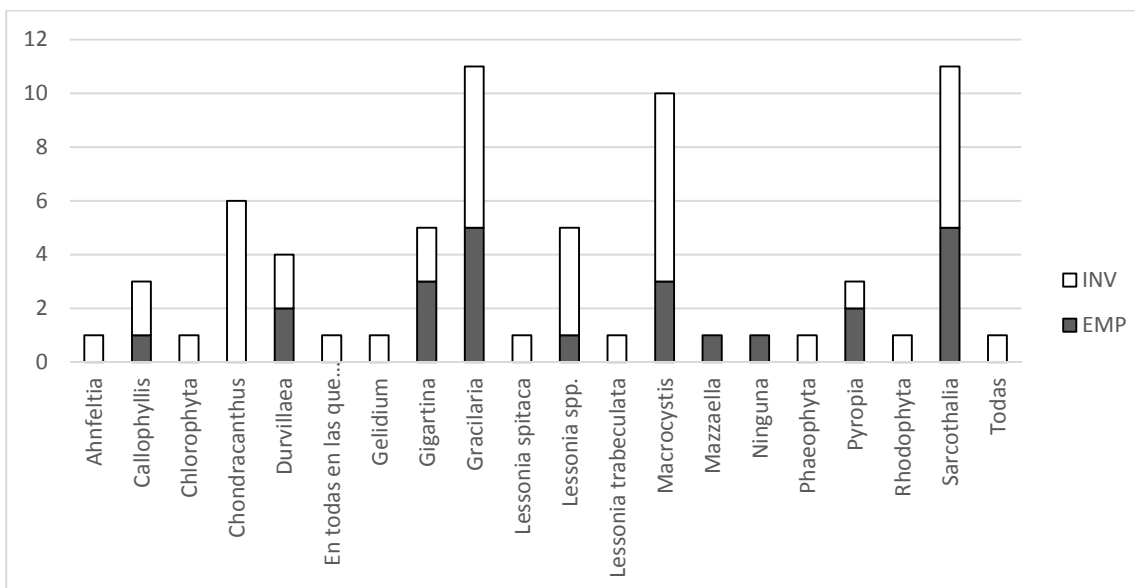


Figura 32. Frecuencia relativa en la percepci3n de investigadores (INV) y empresas (EMP), respecto a las especies de algas con mayor viabilidad y proyecci3n para masificar su cultivo.



Entre las t3cnicas con mayor viabilidad para masificar la acuicultura de algas mencionadas por los encuestados, destaca el cultivo suspendido (11), 5 encuestados se1alaron que el esporocultivo en hatchery y luego el cultivo suspendido en mar son las t3cnicas de cultivos m1s viables (Figura 33). Las razones principales de estas elecciones son la facilidad de realizarlo y el conocimiento que hay sobre estas t3cnicas (Tabla 7 en ANEXO 4). Sin embargo, la determinaci3n de la t3cnica de cultivo tiene que considerar las caracter1sticas ambientales del 1rea y la especie objeto de cultivo.

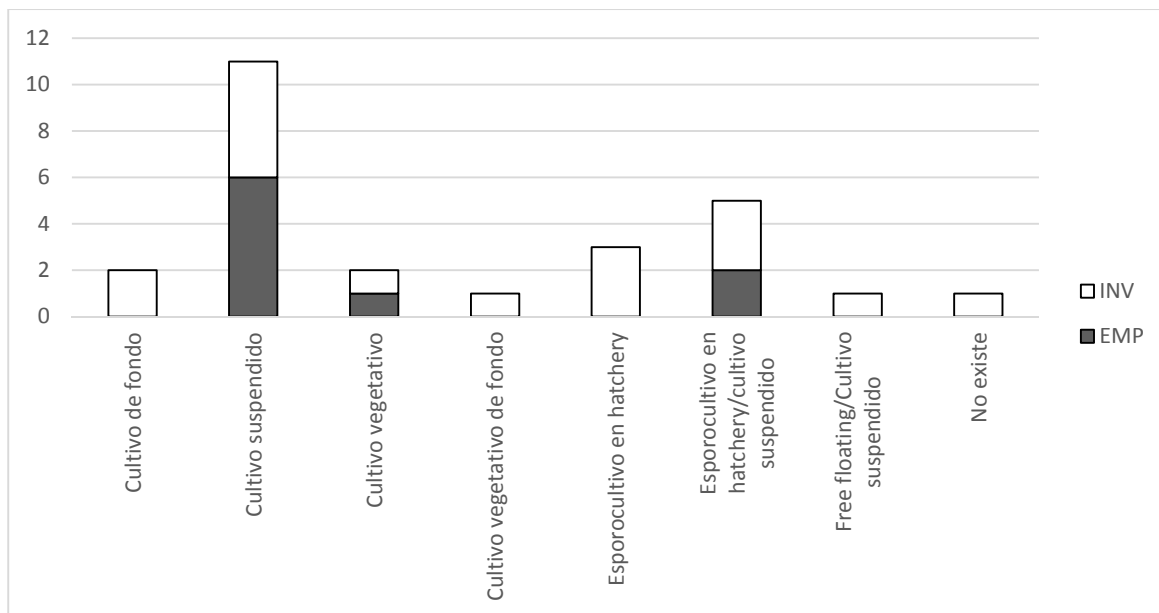


Figura 33. Frecuencia en la elecci3n de los sistemas de cultivo de algas por investigadores (INV) y representantes de empresas del rubro (EMP); que presentar1an la mayor viabilidad para masificar la acuicultura de algas.

Respecto al marco regulatorio, de 35 respuestas un 85.7% (30 encuestados) afirman conocer la ley y un 14.3% (5) lo desconocen. De los encuestados que conoc1an la ley un 31.4% se1al3 que la considera "Nada adecuada", un 25.7% como "Poco adecuada", otro 25.7% "Medianamente adecuada" y "Adecuada" un 2.9%. Nadie consider3 el marco regulatorio como Muy adecuada (Figura 34). Las razones principales de estas consideraciones son que los procesos son "demasiado lentos", "muy burocr1ticos" y "engorrosos" (Tabla 8 en ANEXO 4).

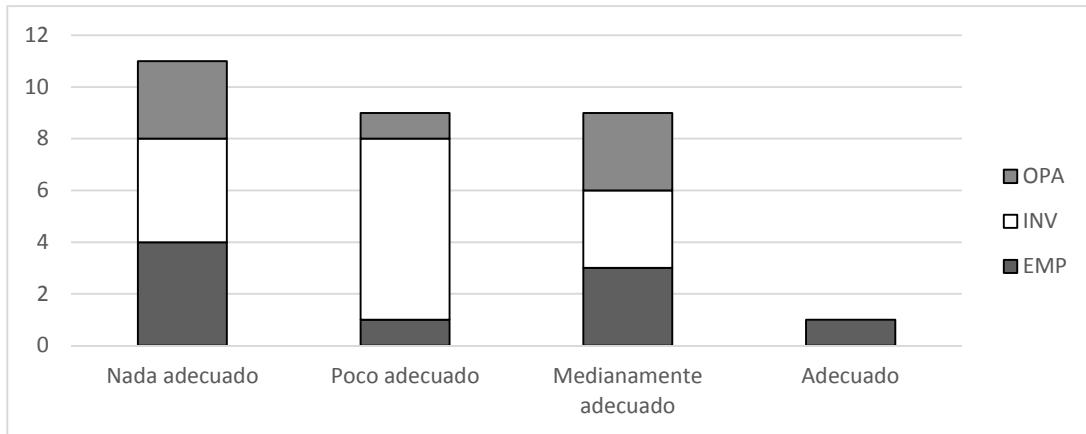


Figura 34. Percepción de expertos académicos (INV), representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA) y empresas del rubro (EMP), sobre la idoneidad del marco regulatorio actual para promover y facilitar el desarrollo del cultivo de algas.

En el caso de la ley de bonificación para repoblamiento y cultivo de algas, de un total de 35 respuestas, un 65.70% (23) señala conocer la ley y un 34.28% (12) no la conoce. De las 23 respuestas afirmativas un 39.13% (9) lo consideran “Poco adecuado”, un 30.43% (7) lo consideran “Medianamente adecuado” y un 17.39% (4) lo consideran “Adecuado”. Cabe señalar que ningún encuestado considero la ley como “Nada adecuada” (Figura 35). Los encuestados señalan que aún falta implementación a través de un reglamento, que la consideran alejada de la realidad y que los lineamientos generales de la ley fueron realizadas por inexpertos en la materia (Tabla 9 en ANEXO 4).

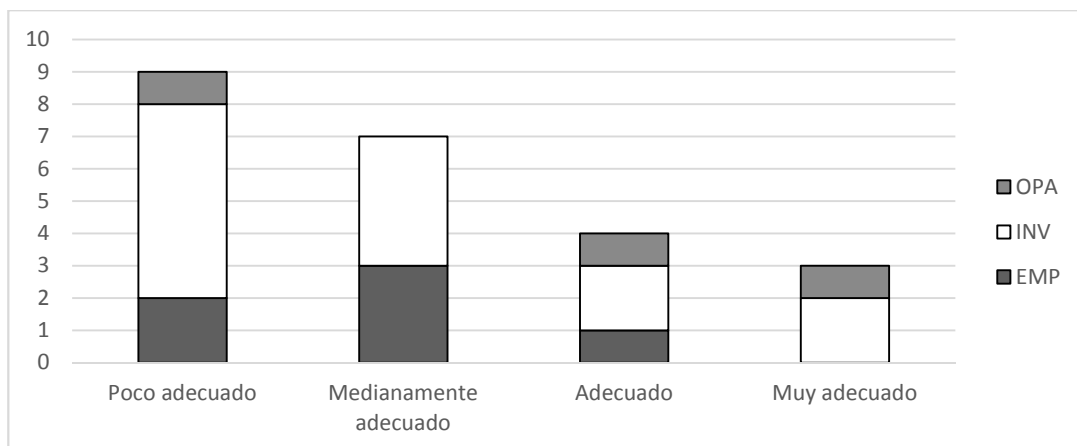


Figura 35. Percepción de investigadores (INV), representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA) y empresas (EMP), sobre la idoneidad de la ley de bonificación para implementar el repoblamiento y cultivo de algas.



Finalmente al consultar por los aspectos claves para desarrollar cultivos de algas exitosos, las respuestas fueron encasilladas en los siguientes ámbitos para un mejor análisis: Ambiental, económico, institucional, social y técnico (o tecnológico). Siendo este último como el ámbito más mencionado (46 veces), mientras que el ambiental fue considerado 35 veces (Figura 36). Las variables más frecuentes dentro del ámbito técnico fue el conocimiento técnico y la disponibilidad de plántulas/semillas de calidad, en el ámbito social, las variables más frecuentes fueron una mayor capacitación de los usuarios y la necesidad de un cambio cultural de las OPA con mayor orientación al cultivo. En el ámbito Institucional, las variables de apoyo de las autoridades y la agilización de la tramitación de permisos para el cultivo obtuvieron mayor frecuencia. En el ámbito económico destacan las variables del financiamiento de la actividad, tanto desde el estado como de privados y la generación de demanda y valor agregado de la biomasa. En el ámbito ambiental, la variable gravitante es la identificación de áreas aptas para el cultivo, considerando la biología de la especie y características ambientales (Figura 37).

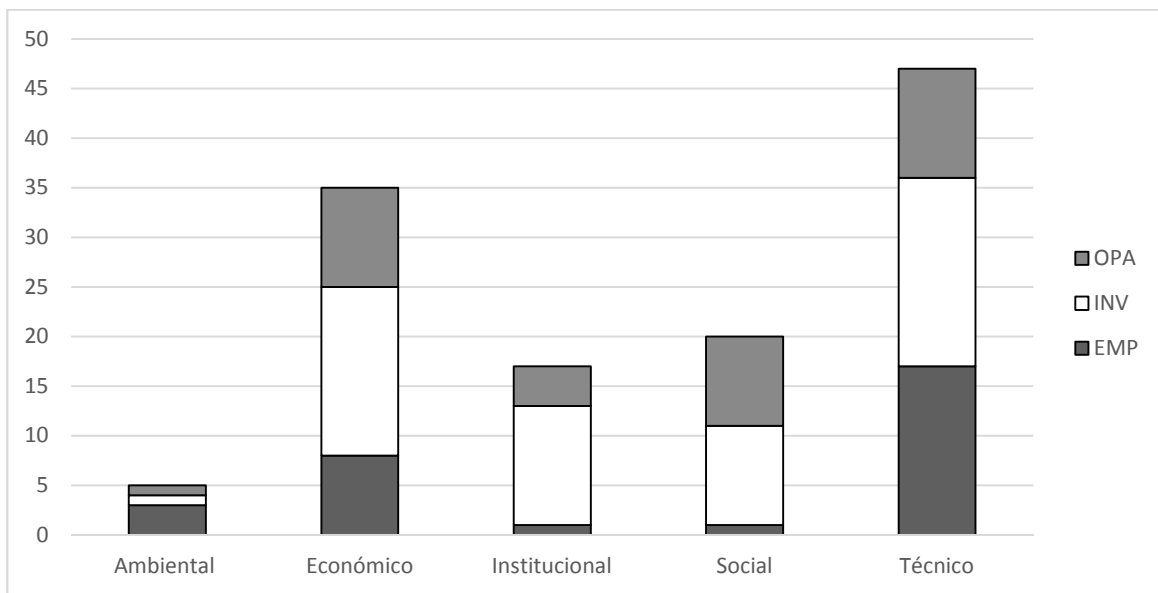


Figura 36. Frecuencia en la percepción de investigadores (INV), representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA) y empresas (EMP), sobre los aspectos/criterios claves para asegurar el éxito del cultivo y repoblamiento de algas.

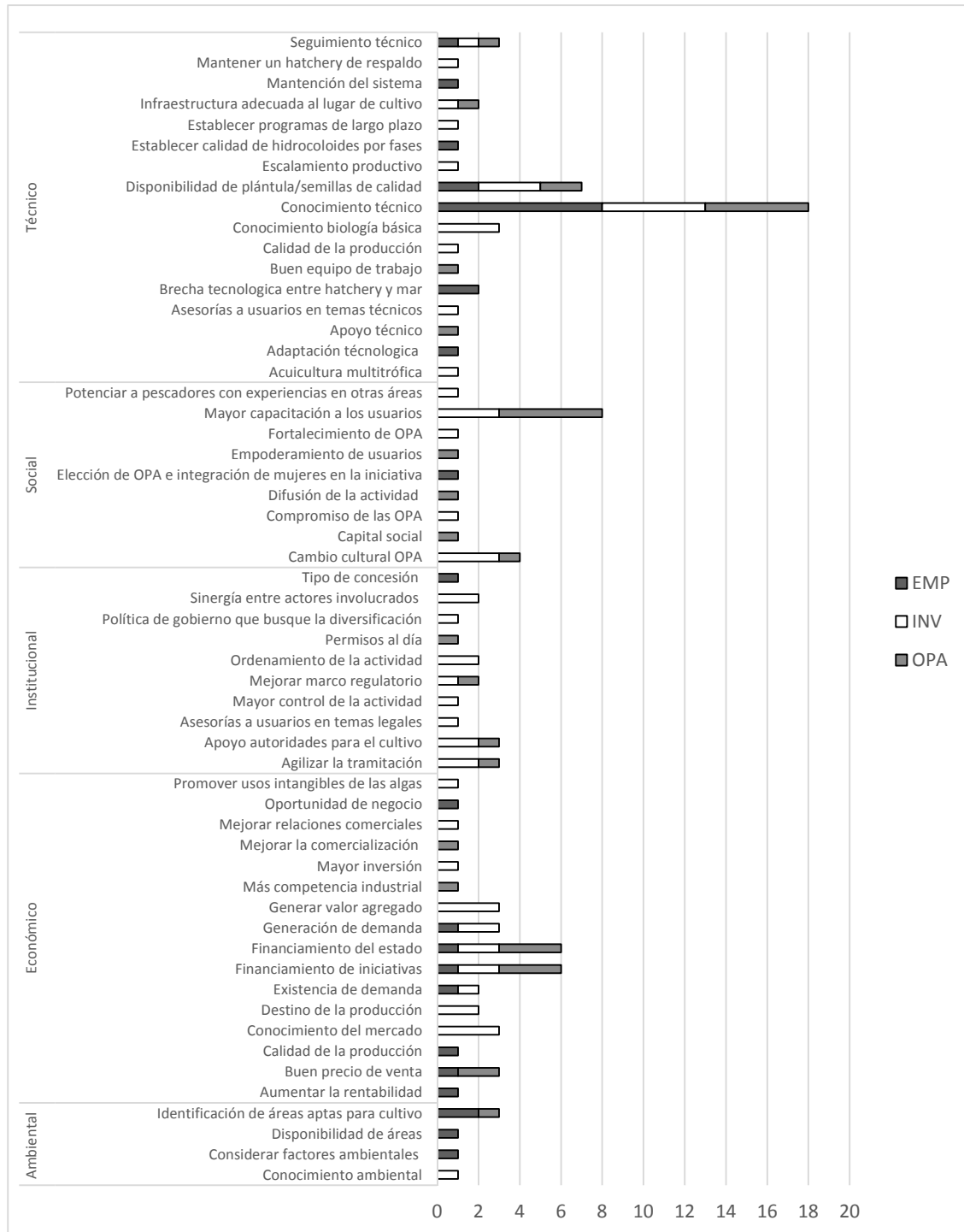


Figura 37: Aspectos claves para un cultivo exitoso según representantes de investigadores (INV), organizaciones de pescadores artesanales (OPA) y empresas (EMP).



5.3. Diseño de herramienta para seleccionar especie a cultivar y modelo de producción

A continuación, se presenta una herramienta preliminar para la selección de algas cultivar y modelo de gestión/producción asociado (Figura 38). Su desarrollo incorpora:

1. Especies cultivables
2. Modelos/técnicas de cultivo disponibles por especie
3. Variables económicas involucradas
4. Factores técnico/sociales
5. Infraestructura basal de cultivo
6. Factores ambientales ligados al desarrollo del cultivo

La herramienta corresponde a una matriz comparativa de consulta en la que se combinan los atributos generales del cultivo para cada especie. Con la matriz se puede obtener información de manera rápida sobre aspectos clave y requerimientos tecnológicos, recursos humanos y ambientales mínimos para llevar a cabo el cultivo. Se accede a la información siguiendo, por ejemplo, el eje horizontal de la matriz que corresponde a la entrada “A. Modelo de Cultivo o Repoblamiento”, en donde se puede conocer las especies asociadas a un tipo de cultivo dado, así como, a los factores tecnológicos, sociales y ambientales asociados a la técnica. En el eje vertical y siguiendo la entrada “B. Especie”, se puede obtener información tanto de la técnica de cultivo (vista anteriormente) como de factores económicos asociados.

La matriz desarrollada en este ejemplo contiene sólo seis especies tradicionalmente explotadas en Chile. Para el próximo informe la herramienta será complementada y ampliada a las 14 especies que han sido identificadas como potenciales para implementación de sus cultivos.



	B. Especie	Luga-Roja	Luga-Negra	Pelillo	Chicorea de mar	Huiro	Huiro Palo/ Negro	Factores Sociales					Factores Tecnológicos		Factores Ambientales					
								Nivel técnico básico para obtención de semillas (capacitación)	Nivel técnico avanzado para producción de semillas	Nivel técnico avanzado para cultivo en mar	Nivel técnico básico para cultivo en mar	Requiere acceso a recursos fuera de la organización	Hatchery/ Invernadero	Infraestructura sofisticada de cultivo	Patologías conocidas (e.g. aging)	Impacto de herbívoros	Sitios protegidos al oleaje	Sitios expuestos o semi-expuestos	Otoño-Invierno	Primavera - Verano
A. Modelo de Cultivo o Repoblamiento	Siembra en altura	.	.					.			.						.		.	
	Siembra directa (Translocación tejido reproductivo)	.	.					.			.					.	.		.	
	Siembra en estanques	.	.	.					.			.	.	.					.	
	Propagación vegetativa (long-line de fondo)	.	.	.	.			.				.	.	.		.	.	.		.
	Propagación vegetativa directa (en ambiente)			.				.			.				.	.	.			.
	Repoblamiento x transplante					.	.	.	.				.			.		.		.
	Repoblamiento x translocación					.			.		.	.	.	.		.		.		.
	Long-line o cultivo suspendido					.	.		.	.			.	.			.			.
Variables Económicas	Primera cosecha dentro de 8 - 12 meses		.	.		.	.													
	Primera cosecha >20 meses	.			.															
	Una cosecha por temporada	.		.	.	.	.													
	> de 2 cosechas por temporada		.																	
	Desarrollo hasta escala Experimental				.		.													
	Desarrollo hasta escala Piloto	.	.																	
	Desarrollo hasta escala Comercial			.		.														
	Precio (\$ kg ⁻¹ Húmedo)	120 - 370	160 - 300	60 - 200	160 - 240	100 - 400	109 - 257													

Figura 38. Matriz de toma de decisiones para seis especies tradicionalmente explotadas para uso humano con potencial de cultivo.



Objetivo específico 2: *Desarrollar cultivos pilotos de algas en AMERB y CCAA de diferentes zonas geográficas del país, incluyendo fases de cultivo en mar y hatchery.*

5.4. Identificación de AMERB y CCAA para implementación de cultivos

El análisis de la información recopilada definió algunos criterios que podrían utilizarse como filtros para seleccionar AMERB o CCAA para implementar cultivos y evaluar el desempeño del cultivo de algas en dichas áreas.

5.4.1. Criterios para selección

Desde la institucionalidad pesquera y acuícola

Se desarrollaron entrevistas presenciales y telefónicas con profesionales de la Dirección Zonal de Pesca y Acuicultura de las regiones XV, I y II (entrevista telefónica), de las regiones III y IV (entrevista telefónica) y de la X región (entrevista presencial). En todos los casos, los criterios de selección propuestos por los profesionales entrevistados fueron de carácter documental o normativo, es decir, la construcción de un ranking o listado de AMERB y/o CCAA para implementar nuevos cultivos algales o hacer el seguimiento de los ya existentes debiese considerar aspectos normativos, tales como:

- Ingreso a trámite de solicitud de Acuicultura en AMERB
- Resolución otorgada de Acuicultura en AMERB
- Estado de Pago de Patentes (al día)
- Estado de entrega de Estudios de Seguimientos de AMERB (al día)

Los profesionales entrevistados indicaron que, por la naturaleza y exigencias de sus labores (i.e. elaborar y velar por el cumplimiento de la normativa asociada a actividades de pesca y acuicultura), los criterios de selección son sólo documentales o normativos, y no existe capacidad para explorar otros atributos o criterios, tales como características socio-organizacionales específicas de las organizaciones.

El encargado de acuicultura de la Dirección Zonal de Pesca y Acuicultura de la X región, indicó que del total de AMERB operativas en la región (aproximadamente 169), sólo 3 organizaciones poseen una resolución aprobada para desarrollar acuicultura en sus AMERB. Antes de la entrada en vigencia del nuevo reglamento de Acuicultura en AMERB (Decreto Supremo No. 96 del 6 de julio de 2015), sólo 7 AMERB cumplían la normativa que les posibilitaba el desarrollo de actividades de acuicultura en AMERB, pero los permisos quedaron sin efecto con la entrada del nuevo reglamento. Por otro lado, la lista de AMERB en la X región que cumplen con tener la resolución que permite el desarrollo de acuicultura no fue proporcionada.

La Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, entregó una lista de las AMERB que a nivel nacional cumplen con los criterios normativos indicados anteriormente (Tabla 1 en ANEXO 5), la cual debe



ser actualizada debido a que otras AMERB se encuentran en proceso de obtención de permisos (i.e. análisis de antecedentes para promulgar Resolución aprobatoria o denegatoria).

Entrevistas telefónicas desarrolladas con profesionales del Fondo de Fomento de la Pesca Artesanal y del Fondo de Administración Pesquera (FAP), orientadas a aportar criterios que permitan definir un ranking o listado de AMERB y/o CCAA, también apuntaron a criterios más bien normativos (vigencia de la organización, vigencia de la directiva, cumplimiento de pago de co-financiamiento para la implementación de proyectos de infraestructura o diversificación, etc.). Criterios de selección relacionados a capacidades o atributos socio-organizacionales no son utilizados para discriminar entre organizaciones con mayor o menor posibilidad de desarrollar o implementar acuicultura de algas.

Desde estudios relacionados a AMERB

Como otra fuente de criterios que permita seleccionar AMERB donde implementar acuicultura de algas, se están revisando los informes levantados por el Programa de Seguimiento Pesquerías Bajo Régimen de Áreas de Manejo. Este proyecto ha levantado una serie de indicadores (económicos y organizacionales) para medir el impacto de la implementación del régimen AMERB en los ingresos de los socios de organizaciones que administran estas áreas. Se ha constatado, por ejemplo, que existe una correlación positiva entre la rentabilidad del régimen AMERB y el capital social de las organizaciones que administran esas AMERB. A partir de estos resultados, se puede obtener una medida de capital social de estas organizaciones de modo de explorar si son capaces de llevar de manera eficiente actividades de acuicultura de algas dentro de AMERB.

Desde estudios del Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (FIPA)

El estudio FIPA 2013-23 (Estudios de emplazamiento de áreas de Acuicultura de pequeña escala en la zona norte), que se desarrolló entre las regiones XV a IV, estuvo principalmente orientado a identificar espacios geográficos en donde sería factible desarrollar proyectos de acuicultura de pequeña escala. Fueron entrevistadas de manera directa 49 organizaciones de pescadores artesanales, que representan el 31,8 % del total de organizaciones presentes en todo el territorio. Entre los aspectos evaluados, se consideró su experiencia previa en iniciativas de acuicultura (cualquier tipo de recursos) y su intención de desarrollar en el futuro un piloto relacionado al cultivo de algas. Estos criterios arrojan, para esa zona de estudio, el siguiente listado de organizaciones en los cuales se podría implementar un cultivo de algas (Tabla 2 en ANEXO 5).

5.4.2. Listado preliminar de AMERB y/o CCAA para implementación de cultivos

Se está preparando un listado inicial para luego ser transformado en un ranking, ponderando los criterios antes mencionados (e.g. normativa, interés, capital organizacional, accesibilidad), el cuál será presentado en el próximo informe.



Objetivo específico 3: *Proponer un sistema de indicadores biológicos, económicos y sociales para evaluar el desempeño de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA.*

5.5. Levantamiento de información para propuesta inicial de sistema de indicadores

5.5.1. Descripción del sistema proceso de cultivo y/o repoblamiento

Una revisión general del estado del arte nos muestra que la acuicultura de algas se basa, principalmente, en el uso de sistemas de cultivo pre-adaptados desde otros sistemas utilizados principalmente en la acuicultura de mitílicos y salmónidos y el desarrollo de técnicas artesanales que hacen factible la transferencia para pescadores artesanales. Actualmente existen bases tecnológicas para el cultivo de varias especies de algas rojas (e.g. *G. skottsbergii*, *S. crispata* y *C. chamosoi*) y pardas (e.g. *M. pyrifera* y especies de *Lessonia*) con potencial de ser escaladas.

La acuicultura de algas, como otras actividades de cultivo, utiliza recursos hidrobiológicos y tecnológicos para producir materia prima bajo condiciones controladas dentro de un ambiente de mercado variable que involucra principalmente a empresas que utilizan la materia prima en la producción de carragenina o agar desde algas rojas o plantas donde se pre-procesan algas pardas para la producción de alginato en el extranjero, así como empresas cultivadoras de abalones. Adicionalmente, las OPA y pequeños productores con concesiones de acuicultura serán los que se encuentren al inicio de la cadena de producción de biomasa.

Como las condiciones de cultivo involucran el manejo de variables biológicas, ambientales, tecnológicas, económicas, sociales e institucionales dentro del ciclo de producción, la combinación de los elementos para el desarrollo del cultivo definen el conjunto de actividades necesarias para la implementación de las acciones de cultivo y repoblamiento.

Los recursos y elementos necesarios para el proceso de funcionamiento del cultivo y/o repoblamiento de algas se pueden resumir en los siguientes pasos:

1. Disponer de una porción de borde costero que sea adecuada para el cultivo y/o repoblamiento de algas (i.e. sitio de cultivo).
2. Contar con un permiso de acuicultura de algas y/o un plan de manejo y explotación, en esta porción de borde costero administrada por OPA o personas naturales inscritas en el Registro Nacional de Pesca y Acuicultura.
3. Acceso a bancos naturales o “semillas/plántulas” de la especie que se pretende cultivar y/o repoblar
4. Acceso a la infraestructura y los servicios mínimos para la implementación de la técnica de cultivo o acciones de repoblamiento.
5. Una organización de personas (OPA u otras) que lleve a cabo las actividades propias del cultivo y/o repoblamiento incluyendo su implementación, mantención, monitoreo y cosecha.
6. Presencia de personas que cuenten con niveles básicos de conocimiento en actividades de cultivo en el mar. Es deseable, aunque no esencial, que las organizaciones presenten experiencia previa en sistemas de cultivo en tierra (e.g. hatchery) o en mar (e.g. long-lines) o que previamente, hayan efectuado esfuerzos de cultivo y/ o repoblamiento de algas.



7. Selecci3n de una t3cnica de cultivo que haya evidenciado, en su fase experimental o piloto, viabilidad en la producci3n de una especie dada.
8. Convenio previo con un poder comprador de la biomasa producida. Este poder comprador puede definir los est3ndares de calidad que junto con la demanda de mercado afectar3n el precio de la materia prima producida.

La manera en que los elementos descritos anteriormente se relacionan se presenta en la Figura 39.

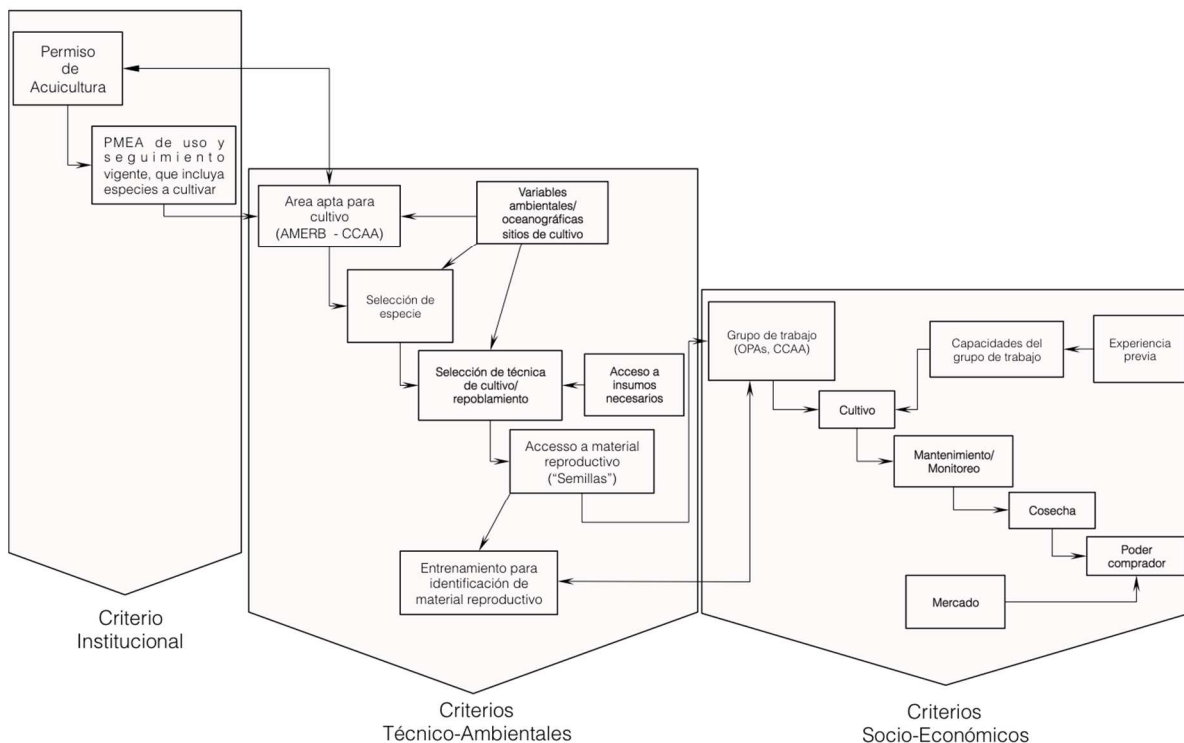


Figura 39. Elementos necesarios para un proceso de cultivo y/o repoblamiento de algas para AMERB y CCAA sealando los criterios generales de evaluaci3n del proceso de cultivo y repoblamiento de algas.

El diagrama muestra un esquema general del proceso de acuicultura y/o repoblamiento de algas. Las relaciones existentes entre ciertos elementos est3n vinculadas, a su vez, con variables ambientales, acceso a insumos de implementaci3n, la capacidad de trabajo y/o capacitaci3n de la organizaci3n y factores econ3micos definidos por las variaciones del mercado. Cada elemento aparece dentro de una dimensi3n general o criterio que emerge de la naturaleza propia del elemento. Por ejemplo, la tramitaci3n de permisos de acuicultura por la organizaci3n ejecutora, as3 como la obtenci3n del 3rea de cultivo existen dentro del criterio institucional del cual depende. Otros criterios como el tecnol3gico y el ambiental, o los criterios sociales y econ3micos emergen como atributos propios del modelo de gesti3n propuesto. Tanto los criterios, as3 como las variables que los



componen pueden ser evaluados a trav3s de indicadores. Los indicadores, a su vez, pueden identificarse a partir del conocimiento y juicio de expertos que han contribuido significativamente al desarrollo de los cultivos de algas y servir3n para determinar la viabilidad y el desempe1o de una gesti3n 3ptima para la implementaci3n de programas de acuicultura y/o repoblamiento de manera sustentable.

5.5.2. Ponderaci3n de criterios mediante juicio de expertos

A continuaci3n se describen resultados preliminares del juicio de expertos sobre las dimensiones/criterios m3s importantes para la implementaci3n y ejecuci3n exitosa del cultivo de algas por OPA. Cuando se analizan las ponderaciones sin considerar el grupo al que pertenece el experto (Fig. 40), los factores agrupados dentro del criterio econ3mico fueron considerados ligeramente m3s importantes que el resto (~28% de las preferencias). Por otro lado, el criterio institucional fue el menos relevante alcanzando s3lo un 17% de las preferencias, mientras que los criterios tecnol3gico, social, y ambiental mostraron una ponderaci3n similar (entre 22% y 24%).

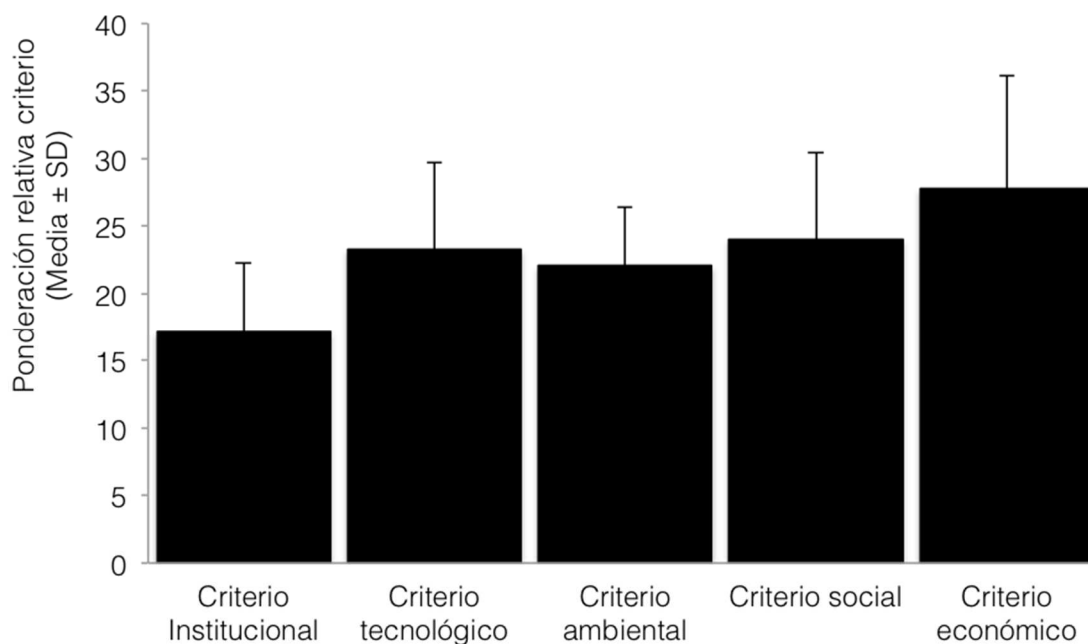


Figura 40. Ponderaci3n total de los criterios principales que subyacen al proceso de cultivo y repoblamiento de algas. Las ponderaciones fueron determinadas usando el an3lisis de procesos jer3rquicos desarrollado por Saaty (1990) y muestra el porcentaje relativo de importancia de los criterios generales que permiten el funcionamiento del cultivo de algas en Chile (media $\pm$ DE). Las ponderaciones corresponden al juicio de expertos de diversas 3reas (acad3micos, usuarios (OPA) y de la industria) involucradas con algas. (n= 25)



Cuando se analizan las ponderaciones para los diferentes grupos (Fig. 41), los expertos acad3micos consideran que el criterio econ3mico es el de mayor relevancia para asegurar el 3xito del cultivo de algas, este criterio alcanz3 aproximadamente el 30% del total las preferencias cuando se evalu3 este contra los dem3s criterios. Por otro lado, el criterio institucional y el tecnol3gico fueron los menos relevante para los acad3micos (~15 y 20% de las preferencias respectivamente). Para los usuarios (OPA), el criterio institucional fue el menos importante (< 15% de las preferencias) mientras que los m3s importantes fueron los factores tecnol3gicos y econ3micos (~25% de las preferencias). Los expertos pertenecientes a la industria asociada al uso de algas, creen que la tecnolog3a asociada a los cultivos es el criterio m3s relevante (~25% de las preferencias), mientras que los dem3s presentar3an aproximadamente la misma relevancia (alrededor del 20%).

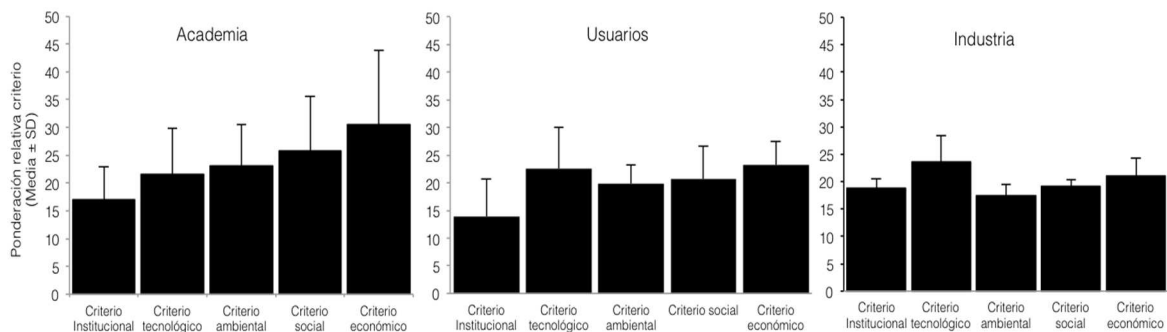


Figura 41. Ponderaciones de los criterios principales que subyacen al cultivo y repoblamiento de algas. Las ponderaciones fueron determinadas usando el an3lisis de procesos jer3rquicos desarrollado por Saaty (1990) y muestra el porcentaje relativo de importancia de los criterios generales que permiten el funcionamiento del cultivo de algas en Chile (media $\pm$ DE). Las ponderaciones corresponden al juicio de expertos acad3micos, usuarios (OPA) y de la industria de algas. Acad3micos, n = 13; Usuarios, n = 8; Industria, n = 4.

5.5.3. Propuesta preliminar de sistema de indicadores

Indicadores que contribuyen a evaluar el impacto, 3xito y sustentabilidad de acciones de acuicultura y/o repoblamiento de algas deben estar circunscritos a las dimensiones biol3gicas, econ3micas y sociales del proceso. Mediante revisi3n bibliogr3fica y an3lisis de la informaci3n disponible se estim3 re-estructurar las dimensiones o criterios, proponi3ndose indicadores para 5 criterios: Institucional, Tecnol3gico, Ambiental, Social, y Econ3mico. En la Tabla 3 se presentan ejemplos de indicadores que pueden ser medidos en el contexto de evaluaci3n de acciones de acuicultura y/o repoblamiento de algas.



Tabla 3.

Ejemplos de indicadores que pueden ser utilizados para evaluación de proyectos y acciones de acuicultura y/o repoblamiento de algas.

Dimensión/Criterio	Nombre	Descripción	Ejemplo métrica asociada (Puntaje)
Institucional	Permisos	Estado de los trámites asociados al cultivo (e.g. estado plan de manejo y explotación de recursos)	• No realizado = 1 • En trámite = 2 • Al día = 3
Tecnológico	Tipo de cultivo	Características técnicas y nivel de complejidad para la implementación necesarias para llevar a cabo el cultivo	• De implementación sofisticada = 1 • De implementación artesanal = 2
Tecnológico	Semillas	Método para obtención de semillas	• Desde banco natural local = 1 • Compra a terceros = 2 • Desde hatchery = 3
Tecnológico	Tecnología de cultivo	Nivel de desarrollo tecnológico actual alcanzado en dicha especie	• Experimental = 1 • Piloto = 2 • Comercial = 3
Tecnológico	Impacto Cultivo	Incorporación sobre del tipo de desechos y el plan de manejo de residuos y material de desecho asociado al cultivo	• Sin plan = 1 • Con plan = 2
Ambiental	Sitio de cultivo	Características/ atributos naturales del sitio destinado al cultivo. - Sustrato disponible para cultivo según especie y técnica de cultivo (arrecife rocoso, fondo de arena, planicie intermareal) - Nivel de exposición al viento u oleaje (Protegido, semi-protegido, expuesto, canal) - Presencia de bancos naturales de la especie en los sitios definidos para cultivo (i.e. acceso a semillas) - Calidad del agua (turbidez, nutrientes, metales, oxígeno disuelto). - Especies de herbívoros en el área (e.g. densidad media de erizos, caracoles, cangrejos u otros herbívoros) - Presencia de bancos naturales de otras especie en los sitios definidos para cultivo (e.g. riesgo sanitario por introducción de especies)	



Tabla 5. (continuación)

Social	Organización	Capacidad técnica de la organización para implementar un cultivo	• Sin capacitación (experiencia) previa = 1 • Con capacitación (experiencia) previa = 2
Social	Estructura de la organización	Número de personas y sus capacidades que actuarán en el cultivo, e.g. buzos, recolectores de orilla, patrones de embarcación, etc.	• < 5 personas sin especialización = 1 • > de 5 personas con algún nivel de especialización = 2
Social	Accesibilidad	Distancia del sitio de cultivo a centros urbanos	• > 50 km = 1 • < 50 km = 2
Social	Nivel de apoyo tecnológico	Asociación de la organización (previa o en curso) con alguna entidad tecnológica o que pueda proporcionar información y/ o capacitación cuando se requiera	• Organización no presenta apoyo/ contacto con Universidades/consultoras = 1 • Organización si presenta apoyo/ contacto con Universidades/consultoras = 1
Económico	Demanda del producto	Existencia de demanda definida y actual del alga	• No = 1 • Sí = 2
Económico	Poder comprador	Existencia de poder comprador algas	• Organización no presenta poder comprador y necesita intermediarios = 1 • Organización presenta un poder comprador directo = 2
Económico	Rentabilidad	Valor económico del alga en el mercado	Alto= 3, Medio= 2, Bajo= 1
Económico	Período hasta primera cosecha	Tiempo requerido para alcanzar producción	• > 10 meses = 1 • 6 – 10 meses = 2
Económico	Productividad del cultivo	Número de cosechas durante el ciclo de cultivo	• 1 = 1 • > 1 = 2



6. DISCUSI3N

La investigaci3n nacional acumulada por varias d3cadas y orientada al desarrollo de tecnolog3as de cultivos de algas nativas nos permite contar en la actualidad con t3cnicas y protocolos de cultivo con diversos grados de desarrollo, pruebas y consolidaci3n para m3s de 14 especies de macroalgas. Este amplio desarrollo contrasta con la poca diversificaci3n de la acuicultura nacional en cuanto a n3mero de especies en cultivo y la inexistencia de cultivos productivos y comerciales de algas (a excepci3n de *G. chilensis*), situaci3n similar a la que ocurre en otros pa3ses sudamericanos con gran l3nea de costa como Brasil (Reis *et al.* 2016). Es importante destacar que el desarrollo de investigaciones ha sido liderado por las universidades nacionales y con mayor 3nfasis en las etapas de laboratorio y hatchery, siendo un factor cr3tico transversal a las especies estudiadas, el poco desarrollo de experiencias en el mar y a mayor escala, y la carencia de estudios de factibilidad operativa y econ3mica (e.g. factibilidad de implementaci3n por parte de OPA).

Respecto a la identificaci3n de factores asociados a la viabilidad t3cnico-econ3mica de cultivos, si bien es cierto que el an3lisis de los cuestionarios es a3n de 3ndole preliminar, ya es posible observar algunas tendencias y patrones. De las iniciativas registradas en el proceso de recolecci3n de informaci3n a trav3s de encuestas, las especies con mayores iniciativas de cultivos fueron las con mayor demanda del mercado. Buschmann *et al.* (2001a) realizaron una recopilaci3n de informaci3n bibliogr3fica de estudios realizados de cultivos de algas, tanto rojas como pardas de importancia comercial, a nivel experimental y piloto. La especies mencionadas en este estudio coinciden en su mayor3a con las especies se3aladas por los encuestados: *G. chilensis*, *Gelidium spp.*, *M. laminaroides*, *S. crispata*, *G. skottbergii*, *C. chamissoi*, *Pyropia spp.* (antes *Porphyra columbina*) y *C. variegata*, entre las rojas, y *M. pyrifera*, *L. nigrescens* (ahora *L. berteriana* y *L. spicata*), *L. trabeculata* y *D. antarctica*, entre las pardas. Lo anterior, no es de extra3ar puesto que el estudio incluy3 un alto porcentaje de expertos de cultivos de algas a nivel nacional.

El valor comercial de las algas se consider3 el principal motivo para ejecutar las iniciativas de cultivo, esto explica que las especies con mayor iniciativa sean aquellas con mayor demanda comercial (*G. chilensis* y *Macrocystis spp.*)

El sistema de cultivo m3s utilizado hasta el momento ha sido el cultivo suspendido y cultivo de fondo en el caso de *G. chilensis* y la obtenci3n de pl3ntulas/semillas es m3s frecuente desde bancos naturales. No es de extra3ar que *G. chilensis* sea la especie que aparezca con la mayor iniciativas de cultivo, rentabilidad econ3mica y como la m3s viable para el desarrollo de actividades de acuicultura, ya que la especie tiene una alta demanda y factibilidad t3cnica de cultivo. Su agar es altamente resistente a la hidr3lisis durante el almacenaje y tiene una alta reactividad con az3cares, razones por las cuales existe una alta demanda en la industria (Buschmann *et al.* 2008). Su cultivo es posible debido a la existencia de una comprensi3n b3sica de aspectos biol3gicos clave, tales como m3todos de propagaci3n y respuestas eco-fisiol3gicas en condiciones de cultivo, lo que permite el desarrollo de metodolog3as de plantaci3n a gran escala (Buschmann *et al.* 2013). La t3cnica de cultivo de fondo consiste en la plantaci3n de talos en sustrato blando y su posterior propagaci3n vegetativa. Las zonas plantadas artificialmente muestran los mismos patrones



estacionales de fluctuaciones de biomasa que las praderas naturales (Pizarro 1986). Este patrón estacional se caracteriza por altas tasas de crecimiento durante la primavera declinando durante el verano y bajas tasas de crecimiento durante el invierno. Los análisis costo/beneficio de su cultivo indican que es económicamente rentable (Pizarro 1986, Buschmann *et al.* 1995). Sin embargo, según Buschmann *et al.* (1995) es importante optimizar la producción reduciendo los costos y aumentar la productividad mediante el establecimiento de mejores estrategias de gestión.

Otra especie que se destaca del estudio es *Macrocystis* spp. En diversas iniciativas de cultivo de estas especies se obtiene material reproductivo desde praderas naturales que luego son llevadas a hatchery para la producción de plántulas mediante sistema *free-floating* o para inocular cuerdas directamente. La demanda por esta especie va en aumento como resultado de la expansión de la industria del abalón, lo que genera un gran interés del cultivo de la especie en mar abierto (Vásquez & Vega 1999). Se han realizado cultivos a escala piloto en el sur de Chile para la producción de fertilizantes orgánicos, nuevos productos alimenticios y parece ser un buen candidato para el uso en iniciativas de biorremediación en la salmonicultura (Buschmann *et al.* 2001b). Correa *et al.* (2014), señalan que el incremento de la demanda y potenciales nuevos usos proyectan un aumento de los precios. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos en investigación, la producción es variable y pueden ir de 14.4 kg/m (Gutiérrez *et al.* 2006) a 80 Kg/m (Westermeier *et al.* 2006). Esto se explicaría por los distintos métodos de cultivo utilizados en las experiencias, el tamaño inicial de las plántulas/semillas y las condiciones ambientales en donde se desarrolla el cultivo. También señalan que estas experiencias a pequeña escala son difíciles de extrapolar. Las condiciones ambientales, la complejidad morfológica y las variaciones reproductivas de las poblaciones, tienen importantes consecuencias a nivel comercial. Correa *et al.* (2014) también estimaron el retorno de la inversión de un cultivo de algas a nivel piloto, considerando la escala de producción y el valor de mercado. Los resultados revelan que si se cultivan de 30-50 hectáreas a un valor de US\$ 78 por tonelada, el retorno de la inversión llega después del primer año. Sin embargo señala la importancia de considerar la profundidad de cultivo, velocidad de corrientes y la disponibilidad de nutrientes al momento de la selección del área de cultivo. Además, afirman que es necesario realizar investigaciones en el manejo de epibiontes, herbivoría y patógenos, factores de importancia para mantener o aumentar la producción. Estos autores concluyen que el cultivo de *M. pyrifera* es técnica y económicamente factible en el sur de Chile.

Respecto a la capacitación asociada a las iniciativas de cultivo, la gran mayoría de las capacitaciones consistieron en charlas sobre técnicas de cultivo y actividades prácticas impartidas por Universidades en el marco de la implementación de proyectos de investigación que involucraban OPA. A pesar de la adquisición de conocimientos técnicos, pocas iniciativas incluyeron la comercialización de la producción y la transferencia tecnológica. Esto se debe principalmente a que una gran proporción de estas iniciativas son a nivel experimental con tiempos acotados de ejecución y que no cuentan con autorización para la venta de la producción.

Respecto a la proyección de la acuicultura de algas, la percepción general es bastante positiva. Esta visión se fundamenta por la apertura de mercados relacionados con la alimentación humana y a la investigación realizada en el ámbito de la biotecnología. En este sentido, se mantienen las especies



con mayor iniciativa de cultivo y con mayor rentabilidad económica (i.e. *G. chilensis* y *Macrocystis* spp.) y se incorporan a la lista especies con creciente interés para consumo humano como *C. chamosoi*, *C. variegata*, *D. antarctica* y *Pyropia* spp. Buschmann *et al.* (2008) señalan que el número de especies de algas comercializadas y procesadas en el país ha ido en aumento. Existe un importante desarrollo de la industria de la carragenina, el aumento de la producción de Agar, el creciente interés por las algas pardas y la exportación de especies como *G. skottbergii*, *S. crispata* y *C. variegata*. Además del desarrollo de nuevos productos que generan mayor valor agregado y a la larga pueden generar un retorno económico cada vez mayor al país. Los autores señalan que esta tendencia debería considerarse y ser complementada con apoyo a la investigación científica en Chile de parte de los organismos gubernamentales y de esta forma dar lugar a una mayor diversificación de la actividad en los próximos años.

Respecto de la normativa vigente, la percepción de la normativa no es muy positiva, puesto que el proceso de tramitación de permisos para el cultivo se considera complejo y engorroso, ocasionando que muchas iniciativas de cultivo terminan siendo “ilegales”, debido a que los tiempos de ejecución de los proyectos y el tiempo de tramitación de un cultivo son incompatibles. Esta situación da como resultado la desmotivación por parte de los posibles acuicultores y el nulo control de las autoridades fiscalizadoras. Buschmann *et al.* (2013) señala que esta normativa tiene sesgos asociados a que solo *G. chilensis* presenta cultivos a escala comercial. Sin embargo, se augura el desarrollo del cultivo de otras especies que utilizan otros sistemas de producción como es el caso de *Macrocystis* spp., *C. chamosoi*, *S. crispata*, donde los protocolos de acuicultura apuntan hacia sistemas suspendidos de producción (Gutiérrez *et al.* 2006, Westermeier *et al.* 2006, Macchiavello *et al.* 2010). En consecuencia, parece necesario incorporar a la normativa y regulaciones de la acuicultura, las especificidades de la acuicultura de algas, con toda su diversidad y requerimientos, con el fin de no generar distorsiones reglamentarias que inhiban el futuro desarrollo de esta actividad en Chile. Respecto a la ley de bonificación para repoblamiento y cultivo de algas, recientemente promulgada, cabe señalar que aún no existe el reglamento, por lo que no permite su implementación, razón por la cual fue percibida como poco adecuada por los encuestados. Esta ley, a pesar de ser relativamente nueva, era conocida por todos los investigadores encuestados, pero por pocos representantes de OPA. Lo que nos indicaría que falta aún difusión por parte de la institucionalidad.

Respecto a las variables o factores de éxito asociadas al cultivo de algas, las más mencionadas fueron las del ámbito técnico (específicamente el conocimiento técnico de la acuicultura de algas) y del ámbito económico (e.g. demanda, mercado financiamiento de cultivos). Lo anterior nos sugiere, la existencia de brechas técnicas importantes para la implementación de cultivos a mayor escala o nivel comercial, y la incertidumbre respecto a la rentabilidad económica de la actividad. Por ejemplo, Correa *et al.* (2014) señalan que para el escalamiento productivo del cultivo de *M. pyrifera* es necesario optimizar el procedimiento de siembra y la mecanización de la cosecha, así como mejorar el diseño y operación del sistema de cultivo flotante. Además, con la incorporación de especies con alto valor económico especialmente para consumo humano, se generan nuevas necesidades de investigación en lo técnico o tecnológico.



El ámbito ambiental está muy relacionado con el ámbito técnico, ya que la variable señalada con mayor frecuencia es la identificación de áreas aptas para el cultivo, que conlleva el conocimiento biológico de la especie, los atributos del área y de la técnica de cultivo a utilizar.

En el ámbito económico, al menos una de las variables fue mencionada por todos los entrevistados. Esta corresponde al conocimiento y generación de demanda del producto o alga. Según Buschmann *et al.* (2013), sólo el descubrimiento de nuevas aplicaciones que le aporten mayor valor agregado a los ficocoloides, como alginatos en la producción de baterías de mayor eficiencia u otros usos innovadores, podrían incrementar la necesidad del cultivo de algas con mayor demanda y mejores precios. Además, el uso de biomasa para la producción de biocombustibles, se está transformando en una nueva alternativa a nivel global, por lo que es necesario desarrollar la tecnología que permita un cultivo industrializado cuyo costo sea competitivo con los precios de mercado y con otras fuentes de biocombustibles. Se debe alcanzar niveles de eficiencia energética que permitan que el desarrollo del cultivo de algas no solo sea económicamente rentable, sino que además tenga externalidades ambientales positivas (Buschmann *et al.* 2013). En Chile, pese a existir tecnologías de producción para cierta variedad de algas, el desarrollo del cultivo a escala comercial aún es escaso y poco diversificado, lo que podríamos asociarlo a una baja o desconocimiento de la demanda, precios poco atractivos, ausencia de nuevos nichos de mercado, poco volumen de oferta (e.g. revisar Radulovich *et al.* 2015).

En el contexto de la aplicación de la Ley de bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas, y dada la existencia de varias especies de algas potenciales de cultivar en Chile, definir un sistema para seleccionar una especie y modelo de producción que permita maximizar las probabilidades de éxito se transforma en una necesidad. Al respecto, y a partir de la revisión del estado del arte de las diversas especies más la consulta a expertos se cuenta con una herramienta preliminar que incorpora el conocimiento recopilado. Su desarrollo continuará para incorporar otras especies y definir ponderaciones a los diversos criterios del proceso de cultivo y que se asocian a una mejor selección de especie.

La Ley de bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas también requiere del establecimiento de indicadores de impacto y protocolos de acreditación de las acciones de repoblamiento y cultivo de algas, las cuales deberán ser monitoreadas o seguidas en el tiempo, a fin de asegurar su impacto, éxito y sustentabilidad. En el presente estudio se está trabajando en identificar y caracterizar las dimensiones/criterios asociadas a los procesos de cultivo y repoblación, y así definir indicadores de evaluación. Respecto a la ponderación de criterios por expertos, la tendencia general de los expertos académicos parece diferir de los usuarios (OPA, Acuicultores) y la Industria, las cuáles ponderaron más alto, el criterio tecnológico, entendido como un flujo garantizado de semillas/plántulas y el buen conocimiento de la tecnología de cultivo. Sin embargo, en términos generales la dimensión económica del cultivo de algas fue lo más importante para los expertos. El valor comercial de ciertas especies (*G. chilensis*, *Macrocystis spp.*, *S. crispata*), así como las alternativas de diversificación de productos para éstas podrían determinar la tendencia de la producción futura. Esto es congruente con una línea de producción que apunta a cultivos suspendidos con pre-producción en hatchery, lo cual sugiere la mejora de la calidad de la materia prima y una profesionalización en las líneas de producción. Sin embargo, esto demandaría una mayor inversión de capital.



Existe una percepción general de baja rentabilidad en esta actividad lo que también representa un aspecto económico crítico, que apuntaría a un mercado muy variable. Esto puede ser mejorado con alternativas de diversificación, nuevos nichos de mercado y dar valor agregado de la materia prima. Aparentemente existe confianza en la tecnología disponible, las capacidades de las organizaciones y la calidad del ambiente (i.e. sitios de cultivo) para el desarrollo de cultivos, ya que las especies percibidas como más viables (e.g. *G. chilensis*, *Macrocystis spp.*, *S. crispata*) presentan un crecimiento rápido tanto en el ambiente natural y en cultivo, cuentan con más 20 años de investigación y tienen un mercado relativamente conocido.

Por otro lado, aunque de menor importancia relativa, la dimensión o criterio Institucional, representado por el marco regulatorio y legal así como por el proceso de legalización de concesiones y áreas de cultivo (i.e. trámites asociados) parecen ser poco o muy poco adecuado para los expertos, por lo que una clarificación y especificación de sus contenidos así como una mejora en el proceso de legalización y tramitación de las áreas de cultivo por las instituciones relevantes debe ser considerado.

Respecto a la identificación de AMERB y CCAA para implementación de cultivos de algas, es importante recalcar la importancia de las capacidades socio-organizacionales y técnicas de las organizaciones potencialmente ejecutoras (e.g. pescadores artesanales), sobre todo en la adopción de prácticas de acuicultura que requieren de procesos de aprendizaje, capacitación y apropiación tecnológica y de gestión que posibilitarán su desarrollo como actividad productiva (Rebours *et al.* 2014). Si bien se ha recopilado información de potenciales candidatos, no se cuenta a la fecha con información suficiente para caracterizar a las OPA desde un enfoque socio-organizacional que permita estimar capital humano y organizacional para desarrollar iniciativas de acuicultura de algas. Al respecto, Krause *et al.* (2015) indican que a nivel mundial existen brechas en el intercambio de conocimientos entre la industria de la acuicultura, las autoridades que tratan de apoyar el desarrollo de la acuicultura y las personas que dependen de la acuicultura para un trabajo y/o una fuente de alimento. Lo anterior, según estos autores, debe ser abordado por los gobiernos y organizaciones internacionales que promueven la acuicultura como solución para mejorar la seguridad alimentaria, la nutrición y los ingresos económicos, si se quiere optimizar la producción de recursos en acuicultura.



7. CONCLUSIONES PRELIMINARES

- A nivel nacional existen 14 especies de algas que cuentan con desarrollo en investigaci3n y tecnologa de cultivo que las convierte en recursos potenciales de ser cultivados.
- Existe un desarrollo desigual para las diferentes especies investigadas, siendo las m1s estudiadas y con mayor desarrollo e implementaci3n de sus cultivos el pelillo *G. chilensis*, seguido de los huiros *Macrocystis spp.*, la chicorea de mar *C. chamissoi*, y la luga negra *S. crispata*.
- Desarrollo de iniciativas de cultivo han sido principalmente en el marco de proyectos de investigaci3n ejecutados por universidades y centro de investigaci3n. En la actualidad la poca oferta de capacitaci3n, transferencia tecnol3gica y provisi3n de pl1ntulas/semillas algas est3 principalmente concentrada en la academia.
- Desarrollo de iniciativas de cultivo han sido principalmente focalizadas en el desarrollo experimental y en las etapas de hatchery y laboratorio, siendo m1s escasas las experiencias de escalamiento productivo en el mar.
- Aparte de *G. chilensis*, las experiencias de cultivo por parte de pescadores artesanales o peque1os acuicultores son muy escasas.
- Existe una buena percepci3n de todos los grupos investigados respecto de que el cultivo de algunas algas constituye una alternativa de diversificaci3n de la acuicultura nacional, factible de ser escalada a mayores niveles de producci3n, con buena proyecci3n de rentabilidad econ3mica, y la mayor a de los empresarios y OPA est1n dispuestos a emprender cultivos.
- El cultivo suspendido se percibe como una buena opci3n para escalar los cultivos de algas.
- Algas para consumo humano y nuevos productos se indican como buenas oportunidades de mercado que dar a mayor valor a la biomasa producida.
- Dado que no hay muchos cultivos comerciales o de escala piloto funcionando dimensionar los costos y utilidades asociados a los cultivos es una necesidad urgente, esto permitir1 poder realizar un mejor an1lisis econ3mico y de rentabilidad de los cultivos.
- En general los diversos grupos estudiados no consideran adecuado el actual marco regulatorio para promover y facilitar el desarrollo del cultivo de algas.
- Se consideran como los principales factores para el 3xito de los cultivos de algas, los asociados a la dimensi3n/criterio t3cnico o tecnol3gico, conocimiento de la t3cnica de cultivo y disponibilidad de semillas; en lo social, capacitaci3n y cambio cultural de las OPA hacia el cultivo, en lo econ3mico, financiamiento y estabilizaci3n y diversificaci3n de la demanda; en lo institucional, apoyo



institucional hacia las OPA y agilización de trámites; y en lo ambiental, identificación de buenas áreas para el cultivo de cada especie.

-Se encuentra en desarrollo un sistema/herramienta para seleccionar especies a cultivar y su sistema de producción asociado.

-Se han descrito las dimensiones/criterios asociados a los procesos de cultivo y repoblamiento de algas, y se han explorado algunos indicadores preliminares los que serán más desarrollados durante el próximo año.

-Información del tipo socio-organizacional en pescadores para estimar capital humano y organizacional para desarrollar iniciativas de acuicultura de algas es aún escasa.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Buschmann A, Westermeier R & Retamales CA (1995) Cultivation of *Gracilaria* on the sea-bottom in southern Chile: a review. *Journal of Applied Phycology* 7: 291-301.
- Buschmann AH, Correa JA, Westermeier R, Hernández-González MC & Norambuena R (2001a). Cultivation of red algae in Chile: a review. *Aquaculture* 194: 203 – 220.
- Buschmann AH, Troell M & Kautsky N (2001b) 'Integrated algal farming: a review', *Cahiers de Biologie Marine* 42: 83–90.
- Buschmann AH, Hernández-González M, Varela D (2008) Seaweed future cultivation in Chile: perspectives and challenges. *Int J Environ Pollut*, 33: 432–456.
- Buschmann AH, Stead RA, Hernández-González MC, & Pereda SV (2013) Un análisis crítico sobre el uso de macroalgas como base para una acuicultura sustentable. *Revista Chilena de Historia Natural* 86: 251-264.
- Correa T, Gutierrez A, Flores R, Buschmann AH, Cornejo P & Bucarey C (2014) Production and economic assessment of giant kelp *Macrocystis pyrifera* cultivation for abalone feed in the south of Chile. *Aquaculture Research* 47: 1–10
- Gutiérrez A, Correa T, Muñoz V, Santibañez A, Marcos R, Cáceres C & Buschmann AH (2006) Farming of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in southern Chile for development of novel food products. *Journal of Applied Phycology* 18: 259-267.
- Hafting JT, Craigie JS, Stengel DB, Loureiro RR, Buschmann AH, Yarish C, Edwards MD & Critchley AT (2015) Prospects and challenges for industrial production of seaweed bioactives. *J Phycol* 51: 821–837.
- Krause G, Brugere C, Diedrich A, Ebeling MW, Ferse SC, Mikkelsen E, Pérez-Agúndez JA, Stead SM, Stybel N & Troell M (2015) A revolution without people? Closing the people–policy gap in aquaculture development. *Aquaculture* 447: 44-55.
- Naylor RL, Goldburg RJ, Primavera JH, Kautsky N, Beveridge MC, Clay J, Folke C, Lubchenco J, Mooney H & Troell M (2000) Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405(6790): 1017-1024.
- Neori A, Troell M, Chopin T, Yarish C, Critchley A & Buschmann AH (2007) The need for a balanced ecosystem approach to blue revolution aquaculture. *Environ. Sci. Pol. Sustain. Dev.* 49 (3): 36–43.



- Macchiavello J, Araya E & Bulboa C (2010). Production of *Macrocystis pyrifera* (Laminariales: Phaeophyceae) in northern Chile on spore-based culture. *Journal of Applied Phycology* 22: 691-697.
- Moreira D & Pires JCM (2016) Atmospheric CO₂ capture by algae: negative carbon dioxide emission path. *Bioresour Technol.* 215: 371–379.
- Pizarro A (1986) Conocimiento actual y avances recientes sobre el manejo y cultivo de *Gracilaria* en Chile. *Monogr. Biol.* 4: 63–96.
- Radulovich R, Neori A, Valderrama D, Reddy CRK, Cronin H & Forster J. (2015) Farming of seaweeds. In: Tiwari, B.K., Troy, D.J. (Eds.), *Seaweed Sustainability — Food and Non-Food Applications*. Elsevier, Amsterdam (The Netherlands).
- Rebours C, Marinho-Soriano E, Zertuche-González JA *et al.* (2014) Seaweeds: an opportunity for wealth and sustainable livelihoods for coastal communities. *Journal of Applied Phycology* 26: 1939–1951.
- Reis RP, Castelar B & dos Santos AA (2016) Why is algaculture still incipient in Brazil?. *Journal of Applied Phycology*, 1-10. doi:10.1007/s10811-016-0890-8
- Saaty TL (1990) How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research* 48: 9-26.
- Troell M, Naylor RL, Metian M *et al.* (2014) Does aquaculture add resilience to the global food system? *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 111: 13,257–13,263.
- Vásquez JA & Vega A (1999) The effect of harvesting of brown seaweeds: a social, ecological and economical important resource. *World Aquaculture* 30: 19–22.
- Vásquez JA, Zuñiga S, Tala F, Piaget N, Rodríguez DC & Vega A (2014) Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *Journal of Applied Phycology* 26: 1081–1088.
- Zuniga S, Marín MC & Bulboa C (2016). Bioeconomic analysis of giant kelp *Macrocystis pyrifera* cultivation (Laminariales; Phaeophyceae) in northern Chile. *Journal of Applied Phycology*, 28(1), 405-416.
- Westermeier R, Patiño D, Piel MI, Maier I & Mueller D (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 Research* 37: 164-171.

A N E X O S



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Sección Ediciones y Producción
Almte. Manuel Blanco Encalada 839,
Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl



www.ifop.cl