



INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2016:
Programa integral de desarrollo de acuicultura de algas
para pescadores artesanales. Etapa 1.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2017

INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2016:
Programa integral de desarrollo de acuicultura de algas
para pescadores artesanales. Etapa 1.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2017

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
Pablo Leal Sandoval
Eduardo Pérez Espinoza¹

¹ Consultor



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 (AMERB) y en concesiones de acuicultura (CCAA) 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 observa 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 del huiro (*Macrocystis pyrifera*), la chicorea de mar (*Chondracanthus chamissoi*) y la luga negra (*Sarcothalia crispata*). A partir de la información disponible para las potenciales especies cultivables, se desarrolló un sistema/herramienta para asistir en la selección de especies a cultivar y su sistema de producción asociado.

Adicionalmente, a través de aplicación de cuestionarios a organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores y acuicultores (N=50) con experiencia en desarrollo de cultivos, se identificaron 50 factores asociados a la viabilidad técnico-económica de cultivos de algas. Resultados 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 la acuicultura de algas, el conocimiento de la técnica de cultivo, mayor capacitación a los usuarios, incremento de la disponibilidad de semillas/plántulas de calidad (Dimensión Tecnológica), fortalecimiento de las OPA y el compromiso de ellas con el desarrollo de los cultivos (Dimensión social), financiamiento y aumento de la demanda (Dimensión Económica), agilización de trámites, apoyo y seguimiento de las iniciativas por parte de las autoridades (Dimensión Institucional), e identificación y selección de áreas aptas para el cultivo (Dimensión Ambiental).

Se realizaron análisis multivariados y multicriterio (e.g. PCA, FODA, AHP) para obtener una mejor comprensión del problema central estudiado, identificando y definiendo los principales factores asociados a la viabilidad técnico-económica de la acuicultura de algas en Chile. Resultados muestran que, si bien la acuicultura de algas presenta variadas fortalezas y oportunidades, el estatus general del país para el desarrollo e implementación de la acuicultura de algas aún está posicionado ligeramente en el lado de las debilidades y amenazas según la aproximación FODA-AHP. Este patrón fue claramente influenciado por efecto de las dimensiones Social e Institucional, las cuales presentan un desarrollo disímil respecto de las dimensiones Ambiental, Tecnológica y especialmente Económica.

Considerando el análisis de los resultados de las encuestas (i.e., aplicación de cuestionarios), entrevistas con informantes clave, las capacidades instaladas y potenciales para producción e



investigación en algas por región, las particularidades geográficas de cada región y el desarrollo de estudios o proyectos en esta temática, se incorpora en este informe una propuesta inicial y orientada geográficamente (i.e., macrozonas) para desarrollar acuicultura y/o repoblación en AMERB y CCAA. De esta forma se sugieren estrategias, especies y sistemas de cultivo y/o repoblación que permitirían un desarrollo más eficaz de la acuicultura de algas.

Se desarrolló el análisis bio-económico para evaluar la factibilidad económica del cultivo de 4 especies de algas (pelillo *G. chilensis*, huairo *M. pyrifera*, chicorea *C. chamissoi*, luga negra *S. crispata*) en escenarios de producción asociados a AMERB y CCAA. El estudio incluyó un análisis de riesgo para estimar las probabilidades de alcanzar un Punto de Referencia Objetivo o de exceder un Punto de Referencia Límite para las principales variables productivas y financieras del cultivo. Los resultados finales del análisis bio-económico, incorporando la información disponible en la actualidad (e.g., productiva, biológica, mercado) muestran dos grupos de algas: el primero, representado por huairo y chicorea, evidencian que bajo las condiciones del modelo de simulación, el cultivo suspendido no es una actividad económicamente atractiva. Un segundo grupo, representado por pelillo y luga negra, que genera Valor Presente Neto (VPN) positivo, lo cual representa condiciones necesarias para obtener excedentes para ser repartidos entre los socios a contar del segundo año de cultivo. De esta forma estas últimas se constituyen como especies más interesantes para implementar APE en la zona sur de Chile (e.g., Región de Los Lagos).

Respecto a la identificación de AMERB y CCAA para implementación de cultivos de algas, se recopiló información de potenciales candidatos, sin embargo, no se logró encontrar información objetiva y 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. De forma alternativa, se utilizó un enfoque más subjetivo y pragmático para selección de OPA para implementar cultivos pilotos, considerando diversos proxy para identificar en la selección, Criterios normativo (e.g., permisos y autorizaciones), Criterio capital organizacional (e.g., recopilación de recomendaciones de informantes claves), Criterio interés de la OPA (e.g., contacto directo con potenciales interesados), y Criterio accesibilidad y viabilidad del cultivo (e.g., provisión regional de semillas y factibilidad de compra). De esta forma se seleccionaron 2 áreas y OPA en la isla de Chiloé, con las cuales se ha comenzado a trabajar en la planificación e implementación de los cultivos pilotos:

- AMERB de Auchac Sector C, administrada por el Sindicato de Trabajadores Independientes, Pescadores Artesanales, Algueros, Buzos mariscadores y ramos afines de la localidad de Auchac, Chiloé.
- CCAA en el canal Dalcahue, administrada por el Sindicato de Trabajadores Independientes, Pescadores Artesanales, Acuicultores de mitilidos y Comercialización de productos del mar de la localidad de Dalcahue, Chiloé.

Para la implementación de los cultivos y a partir de la aplicación de la herramienta desarrollada en el objetivo 1 del presente estudio, se seleccionaron las especies a cultivar y modelo de producción en ambos sitios. De esta forma las especies a cultivar seleccionadas correspondieron a huairo (*M.*



pyrifera), luga negra (*S. crispata*) y chicorea de mar (*C. chamissoi*). El modelo de producción seleccionada para ambos sitios de cultivo corresponde al sistema de cultivo suspendido tipo long-line. Se obtuvieron plántulas/semillas de algas para implementación de los cultivos pilotos a partir de proveedores externos (i.e., hatchery autorizado) y a partir de producción propia IFOP (para el caso de luga negra). En el presente informe, se presentan los resultados de implementación y primeros monitoreos productivos y ambientales para uno de los cultivos experimentales (i.e., Dalcahue).

Finalmente, se levantó información para una propuesta de sistema de indicadores biológicos, económicos y sociales para evaluar el desempeño de la acuicultura y repoblación de algas en AMERB y CCAA. Para ello se han descrito y analizado las diversas dimensiones asociadas a los procesos de cultivo y repoblación de algas, y se proponen diversos indicadores con sus respectivas métricas para evaluación.

Es importante señalar que el presente programa inició actividades en los últimos meses del año 2016 (asociado al Convenio de Desempeño 2015) y ha continuado en desarrollo el presente año 2017 (asociado al Convenio 2016). Si bien el presente informe tiene carácter de final, hay actividades y resultados (e.g., los asociados a la implementación de los cultivos), que continúan en desarrollo y cuyos resultados se irán presentando en informes sucesivos. Por lo tanto, el presente informe da cuenta de las actividades y resultados obtenidos desde agosto del 2016 a noviembre del 2017, incorporando además las recomendaciones y observaciones del evaluador al informe entregado en diciembre del 2016.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	I
ÍNDICE GENERAL.....	IV
1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVO GENERAL.....	8
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
4. METODOLOGÍA	9
4.1. Revisión del estado del arte de especies de algas en Chile.....	9
4.2. Identificación de factores asociados a la viabilidad técnico-económica de cultivos.....	9
4.3. Zonificación para el desarrollo de acuicultura y/o repoblación de algas en Chile.....	14
4.4. Diseño de herramienta para seleccionar especie a cultivar y modelo de producción.....	15
4.5. Análisis bio-económico de cultivos de algas.....	15
4.6. Identificación de AMERB y CCAA para implementación de cultivos	17
4.7. Selección de especie(s) a cultivar y modelo de producción.....	17
4.8. Obtención de semillas/plántulas de algas para cultivos.....	17
4.9. Implementación y seguimiento de cultivos de algas.....	17
4.10. Levantamiento de información para propuesta de sistema de indicadores	18
5. RESULTADOS.....	19
5.1. Revisión del estado del arte de especies de algas en Chile.....	19
5.2. Identificación de factores asociados a la viabilidad técnico-económica de cultivos.....	64
5.3. Propuesta de zonificación para el desarrollo de acuicultura y/o repoblación de algas en Chile ..	91
5.4. Diseño de herramienta para seleccionar especie a cultivar y modelo de producción.....	100
5.5. Análisis bio-económico de cultivos de algas.....	108
5.6. Identificación de AMERB y CCAA para implementación de cultivos	146
5.7. Selección de especie(s) a cultivar y modelo de producción.....	148
5.8. Obtención de semillas/plántulas de algas para cultivos.....	149
5.9. Implementación y seguimiento de cultivo de algas.....	152
5.10. Propuesta de sistema de indicadores.....	159
6. DISCUSIÓN	166
6.1. Desarrollo actual y proyección de la acuicultura de algas.....	166
6.2. Análisis FODA-AHP para la acuicultura de algas.....	170
6.3. Propuesta de zonificación para el desarrollo de acuicultura y/o repoblación de algas en Chile....	174
6.4. Análisis bio-económico de cultivos de algas	174
6.5. Identificación de AMERB y CCAA para implementación de cultivos.....	181
6.6. Indicadores para evaluar acuicultura y repoblación de algas.....	181
7. CONCLUSIONES	183
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	187



ANEXOS

- Anexo 1.** Cuestionarios para identificación de factores asociados a la viabilidad técnico-económica de cultivos de algas en Chile
- Anexo 2.** Lista de entrevistados para identificación de factores asociados a la viabilidad técnico-económica de cultivos de algas en Chile
- Anexo 3.** Cuestionario a expertos para ponderación de criterios asociados a cultivos de algas en Chile
- Anexo 4.** Tablas de resultados análisis de cuestionarios para identificación de factores asociados a la viabilidad técnico-económica de cultivos de algas en Chile
- Anexo 5.** Tablas de resultados identificación de AMERB y CCAA para implementación de cultivos
- Anexo 6.** Datos Ambientales Sitio de Cultivo Dalcahue



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 repoblación 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 AMERB 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 Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y concesiones de acuicultura (CCAA) cuyos titulares sean pescadores artesanales.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Proponer modelos de gestión y producción 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 geográficas del país.
3. Proponer un sistema de indicadores biológicos, económicos y sociales para evaluar el desempeño 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

4.2.1. Instrumento de recolección de datos

Para dar cumplimiento de esta actividad se realizó una revisión de iniciativas de cultivo y organizaciones y particulares 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 elaboró una lista de OPA, instituciones de investigación, empresas y consultoras relevantes para la acuicultura de algas a lo largo del país. Esta información sirvió de guía inicial para el desarrollo de la toma de datos mediante encuestas.

El instrumento de recolección de datos correspondió a un cuestionario con preguntas abiertas y cerradas orientado a recopilar la experiencia y percepción de actores relevantes a nivel nacional e involucrados en la investigación y desarrollo de iniciativas de cultivos de algas. Con esto se apuntó a identificar los principales factores que han permitido (o permitirían) dar viabilidad técnico-económica a los cultivos de algas. La aplicación del instrumento (i.e., encuesta) estuvo dirigida a organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y representantes de empresas de cultivo y proceso de algas (EMP). Para cada grupo se diseñó un cuestionario ligeramente diferenciado, pero que contenía las mismas temáticas (ANEXO 1). El cuestionario constó de tres secciones: La primera colecta información general del encuestado y de la organización, empresa o institución a la que pertenece. 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. La tercera parte 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.



Cuestionarios fueron aplicadas entre octubre del 2016 y junio del 2017, a una muestra de 50 encuestados del universo de estudio, incluyendo 13 acuicultores, 20 OPA y 17 investigadores/académicos de universidades o centros de investigación (ANEXO 2).

4.2.2. Análisis general de las encuestas

Para un análisis inicial, y bajo un enfoque univariado, los datos fueron codificados, tabulados y graficados para su mejor interpretación.

4.2.3. Análisis multivariado y multicriterio de las encuestas

Para obtener una mejor representación de la preponderancia de los factores asociados a la viabilidad técnico-económica de la acuicultura de algas en Chile, se incorporó un enfoque más integral para analizar la información de las encuestas. Para ello se realizaron los siguientes análisis.

Análisis FODA

Respuestas de las preguntas abiertas del cuestionario fueron analizadas desde el enfoque de la teoría emergente o Grounded theory (Glaser & Strauss 1967), para lo cual las respuestas fueron codificadas asignándolas a categorías (e.g., factores) y dimensiones (e.g. criterios/ ámbitos) emergentes para su posterior interpretación y análisis (Miles & Huberman 1994). Una vez definidos las dimensiones generales y los factores internos que las componen, éstos últimos fueron clasificados dentro de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (FODA). Los factores fueron entonces, ordenados y ponderados en una matriz de datos, donde la frecuencia con que cada encuestado se refirió positivamente a cada uno de los factores correspondió a la prioridad relativa de cada factor ponderado de acuerdo a un criterio aditivo simple proporcional al total de la muestra (N=50).

Análisis de procesos jerárquicos (AHP)

El análisis de procesos jerárquicos (AHP), es usado para estimar rangos cuantitativos desde comparaciones pareadas discretas o continuas. Estas comparaciones pueden ser tomadas desde mediciones que reflejan una escala fundamental o importancia/ prioridad relativa de una preferencia o percepción. El método ha tenido amplia aplicación en la toma de decisiones que involucran criterios múltiples, planificación, distribución de recursos y resolución de conflictos (para mayor detalle ver Saaty 1987). Además, este método permite determinar la inconsistencia de las respuestas a través de un índice en torno a las respuestas debido a que cualquier juicio o percepción de preferencia está sometido a inconsistencias y/o ambigüedades inherentes al pensamiento humano.

Para analizar las dimensiones generales asociados al cultivo y repoblación de algas y los factores internos que las componen (incluidos en el análisis FODA), se utilizó un enfoque de análisis multicriterio que permite la toma de decisiones basado en la preferencia de expertos que involucran un enfoque multidimensional. La ponderación de los criterios generales corresponde a las



dimensiones donde operan los factores claves del proceso. Por ejemplo, el conocimiento sobre en cuál dimensión recae la mayor prioridad y en que magnitud respecto de las demás dimensiones a su vez indicará la relevancia de los factores internos que las componen. Así, los resultados muestran el grado de importancia de las dimensiones que subyacen al desarrollo de la actividad de cultivo y repoblación. A través del método AHP (Saaty 1990) las dimensiones: Institucional, Tecnológica, Ambiental, Social y Económica del proceso de cultivo y repoblación de algas fueron ponderadas. Para determinar la importancia relativa de las 5 dimensiones se construyó un cuestionario de comparación pareada (cuestionario ponderación de dimensiones, ANEXO 3). Un total de 30 expertos en investigación, desarrollo, cultivo y comercialización de algas fueron entrevistados (ANEXO 2). El número de dimensiones a contrastar, en este caso = 5, disminuye la confusión de los encuestados representa de acuerdo con Saaty (1990), quién determinó que el número crítico para evitar confusión no debe ser mayor a 7 (± 2). Las respuestas de los cuestionarios sirven para el cálculo de ponderaciones promedio las cuáles son extraídas desde eigenvalores (eigenvalues) calculados a través de matemática matricial. Por lo tanto, el valor final de cada ponderación, expresado en porcentaje de prioridad para una dimensión dada, fue determinado usando el principio de composición jerárquica que resulta en un vector (R) que incluye todos los juicios o elecciones para cada nivel jerárquico como sigue:

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

Donde: W_j = coeficiente de importancia de j-ésimo criterio, W_i = coeficiente de prioridad de la i-ésima alternativa.

El análisis de preferencias fue llevado a cabo construyendo matrices de reciprocidad para comparaciones pareadas de las cinco dimensiones, por lo tanto, se obtuvo una matriz de 5 x 5, como se muestra en la Tabla 1. A continuación, algunas consideraciones respecto del análisis:

- La matriz de reciprocidad muestra los resultados del cuestionario pareado de preferencias. En la matriz triangular superior aparecen los rangos asignados a la preferencia de criterios, mientras que en la parte de la matriz triangular inferior aparecen sus valores recíprocos.
- La matriz normalizada es obtenida con el cociente entre la sumatoria de cada columna de la matriz de reciprocidad y el valor de cada comparación pareada incluyendo sus valores recíprocos.
- El vector de prioridad es el valor promedio de cada fila normalizada y entrega un el valor que cada criterio representa respecto a todos los criterios derivado de la preferencia de cada experto.
- La ponderación relativa es la expresión en porcentaje de cada vector de prioridad
- El índice de inconsistencia se calcula determinando el Eigen-valor principal.
- El Eigen-valor principal es el producto entre la suma de las columnas de la matriz de reciprocidad y el vector de prioridad para cada criterio y la suma final de este producto.



- Saaty (1990) determinó que para una matriz recíproca consistente el Eigen-valor más alto es igual al tamaño de la matriz de comparación, en este caso $n = 5$. Entonces, esta desviación se determina restando al Eigen-valor principal el tamaño de matriz dividido por $n-1$. Este valor se expresa en porcentaje donde rangos de consistencia menores o iguales a 10, la consistencia de las respuestas es aceptable, de lo contrario, puede que el juicio subjetivo deba ser revisado.

Los valores de prioridad alcanzados por cada dimensión fueron expresados como el valor promedio de todos los expertos (Prioridad relativa) y también como la prioridad relativa separada por el grupo al que cada experto pertenece.

Tabla 1.

Modelo de matrices de reciprocidad para cálculo de vectores de prioridad e índice de inconsistencia según Saaty (1989)

Matriz de reciprocidad			CI	CT	CA	CS	CE
			CI	1	1	0,5	1
CT	1	1	1	1	2		
CA	2	1	1	0,5	0,33		
CS	1	1	2	1	0,33		
CE	0,5	0,5	3	3	1		
Sum	5,5	4,5	7,5	6,5	5,66		

Matrix normalizada (Eigen-vectores)			CI	CT	CA	CS	CE
			Ponderación relativa	0,18	0,22	0,07	0,15
CI	0,18	0,22	0,13	0,15	0,35		
CT	0,36	0,22	0,13	0,08	0,06		
CA	0,18	0,22	0,27	0,15	0,06		
CS	0,09	0,11	0,40	0,46	0,18		
CE	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		
Sum	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		

Vector de prioridad	Ponderación relativa	Consistencia	
0,10	10,02	1,01	
0,17	16,64	1,08	
0,21	20,98	1,22	
0,25	24,64	0,99	
0,28	27,72	0,97	
1,0	100,0	5,3	Eigen-valor principal
		0,1	Índice de consistencia
		0,06	
		5,9	Rango de consistencia

Donde CI = Dimensión Institucional, CT = Dimensión Tecnológica; CA = Dimensión Ambiental, CS = Dimensión Social, CE = Dimensión Económica.



Análisis híbrido (FODA-AHP)

El análisis FODA es ampliamente usado como base en planificación estratégica para evaluar el ambiente interno y externo (a menudo incontrolable) donde existe una empresa o sistema. Sin embargo, este análisis presenta limitaciones. A menudo, en la literatura se presentan descripciones literales de las tablas resultantes (i.e., lista de factores) sin ninguna representación cuantitativa del análisis, también aparecen numerosos criterios generalmente interdependientes o la expresión de factores individuales está sesgada por la importancia relativa de algunos factores dominantes, lo que usualmente lleva a generalizaciones imprecisas que tienen efecto en la interpretación y aplicación de estrategias (Kurttila et al. 2000, Chang & Huang 2006, Scolozzi et al. 2014).

Recientemente y buscando mejorar la utilidad del análisis FODA, algunos autores han propuesto métodos híbridos que combinan cuantificación analítica del FODA y el análisis de procesos jerárquicos (AHP) desarrollado por Thomas L. Saaty (Saaty 1987).

El concepto de Toma de Decisiones en sistemas complejos compuestos por atributos múltiples y que incluye los cuatro factores que determinan la toma de decisiones: alternativas, criterio, desempeño y ponderaciones, puede también ser aplicado a la construcción de un análisis FODA tradicional.

- Alternativas: Se refiere a lo que será comparado, en este caso, las dimensiones principales donde tiene lugar el cultivo de algas dentro del sistema completo, i.e., las dimensiones Económica, Tecnológica, Ambiental, Social e Institucional.
- Criterios: Investigar a través de revisión bibliográfica o juicio de expertos para la obtención los factores internos y externos que serán evaluados.
- Desempeño: Los datos fueron colectados a través de cuestionarios cuantitativos y cualitativos.
- Ponderación: La ponderación inicial será expresada, de manera cuantitativa, y a su vez agrupados dentro de las dimensiones antes señaladas incluidas en al análisis de procesos jerárquicos según Saaty (1989).

Se calcularon las ponderaciones de los elementos internos y externos para cada subsistema comparando las dimensiones separadamente (i.e., normalización de las ponderaciones), obteniéndose un valor de referencia. Para esto se calculó el valor medio de la ponderación de cada elemento interno y externo de cada dimensión. Este valor de referencia se sustrae de la suma de cada elemento interno y externo. El valor final corresponde a una coordenada que bien refleja las ponderaciones internas y externas de cada elemento. Para poder incluir el valor de cada dimensión se debe considerar que las fortalezas y oportunidades constituyen atributos positivos y por lo tanto mantienen su valor absoluto en cada cálculo. Por otro lado, las debilidades y amenazas corresponden a atributos negativos por lo tanto su signo será negativo para los cálculos de coordenadas.



Adicionalmente, los valores de cada dimensión fueron ponderados utilizando los valores obtenidos en el análisis de procesos jerárquicos, donde, por ejemplo, la dimensión Económica tiene la mayor ponderación, mientras que la dimensión Institucional muestra el menor. Esto pondera cada elemento con el nivel de jerarquización o prioridad obtenido del AHP.

Estos valores son incluidos en un sistema de coordenadas de cuatro cuadrantes. En este sistema dos grupos de datos son obtenidos: El primero es el grupo de coordenadas que mide el estado interno del sistema a evaluar, el otro, determina el estado externo dentro del sistema de coordenadas. Finalmente, para comparar resultados de los distintos elementos en el sistema de coordenadas, los factores externos u Oportunidades y Amenazas son incluidos en la ordenada y los factores internos o Fortalezas y Debilidades en la abscisa. Por lo tanto, cada dimensión posee una coordenada (x, y) que determina su posición respecto de los demás elementos. Esta representación gráfica permite medir de manera efectiva la situación de cada dimensión, así como, su situación promedio. Lo más importante, puede servir como un indicador del estado actual de la actividad y por consiguiente como base para la generación de políticas o incentivos que promuevan la mejora del sistema.

Análisis multivariado

Para contrastar las posibles diferencias entre los grupos encuestados y considerando la elevada frecuencia de ceros que presentaron los datos, se construyó una matriz de similitudes usando el software PRIMER 6.0. Se usaron como variables la frecuencia de respuesta a los diferentes factores determinados con los cuestionarios y cuantificados en el análisis FODA de cada experto asociado a su especialidad. Como factores a medir se usaron la especialidad/rubro al cual cada encuestado experto pertenecía. Se examinó la distribución multivariada usando un análisis de ordenación de componentes principales (PCO). Además, se calcularon correlaciones de Spearman ($r > 0.6$) para determinar aquellos factores que se correlacionaron de mejor manera con la distribución de los datos y expresados como vectores sobrepuestos en la ordenación de componentes principales. Diferencias entre los grupos de expertos fueron determinadas comparando las distribuciones de los datos a través de permutaciones (PERMANOVA).

4.3. Zonificación para el desarrollo de acuicultura y/o repoblación de algas en Chile

A sugerencia del evaluador, se incorpora en este informe un catastro de capacidades instaladas y potenciales para producción de algas en hatchery o laboratorio. Para ello se realizó una búsqueda de centros inscritos en el Registro Nacional de Acuicultura (RNA) para producción de algas, además de consulta a informantes claves. Adicionalmente, se incorpora una propuesta inicial y orientada geográficamente (i.e, macrozonas) para el desarrollo de acuicultura y/o repoblación en AMERB y CCAA. Para ello se consideró el análisis de los resultados de las encuestas, entrevistas adicionales con informantes clave (e.g., investigadores que ejecutan o han ejecutado estudios de cultivo y/o repoblación de algas, empresas ligadas al cultivo de algas y profesionales de las Direcciones Zonales de Pesca y Acuicultura ligados a temáticas de acuicultura en el territorio nacional), catastro



de capacidades instaladas y potenciales para producción de algas en cada región, presencia de centros de investigación en el área de la acuicultura de algas, las particularidades geográficas de cada macrozona, y el desarrollo de estudios o proyectos en esta temática.

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

Se desarrollaron varias herramientas metodológicas didácticas para que el usuario (i.e. acuicultor, OPA, consultor) pueda 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 cultivo y 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. Para su construcción se recopiló información de procedimientos y resultados experimentales y piloto existentes en la literatura especializada, así como experiencias de cultivo reales de empresarios y OPA.

4.5. Análisis bio-económico de cultivos de algas

Se realizó un análisis bio-económico dinámico a través de modelación, para evaluar la factibilidad económica del cultivo de 4 especies de algas (*G. chilensis*, *M. pyrifera*, *C. chamissoi*, *S. crispata*) en escenarios de producción asociados a AMERB y CCAA. El análisis incluyó la identificación de las fuentes de incertidumbre asociadas al cultivo suspendido de los recursos anteriormente mencionados, el desarrollo y parametrización del modelo bio-económico, identificación de variables de desempeño para el cultivo de macroalgas, definición de los PRO (Punto de Referencia Objetivo) y PRL (Punto de Referencia Límite) para cada uno de ellos, y el desarrollo de un análisis de riesgo para estimar las probabilidades de alcanzar un Punto de Referencia Objetivo o de exceder un Punto de Referencia Límite para las principales variables productivas y financieras del cultivo.

Para la construcción de los modelos bio-económicos se realizó la división del sistema productivo en tres subsistemas a saber: biológico, tecnológico, económico. Debido a que no se han encontrado todavía evidencias suficientes y confiables que enlacen las variables productivas a nivel comercial, con factores ambientales locales, el submodelo ambiental no fue desarrollado.

- Submodelo Biológico: este submodelo contiene las variables y parámetros que permiten describir la dinámica de la biomasa a través del tiempo. El Submodelo Biológico es común en todos los recursos a modelar. Está basado en el modelo logístico de crecimiento el cual ha sido ampliamente usado para modelar la dinámica de la biomasa. En cada recurso los parámetros representan la disponibilidad de biomasa, así cambios en los parámetros representan cambios en el curso modelado.



- Submodelo Tecnológico: contiene las variables y parámetros que permiten describir las diversas condiciones de cultivo, tales como: sistemas de cultivo, insumos de cultivo, volumen cultivado, estrategias de cultivo y cosecha. Básicamente, el cambio en la tecnología de cultivo en el modelo es representado por el valor de los sistemas de cultivo. Un sistema de cultivo suspendido basado en parcelas con líneas horizontales tendrá necesidades de productos para su construcción distinta a un sistema suspendido de cuerdas verticales, por ejemplo. A través de este submodelo fue posible representar el efecto bio-económico de generar dos tipos de productos alternativos para cada recurso: uno basado en alga húmeda y limpia; y un segundo basado en alga seca a un 30% de humedad. Del mismo modo, por medio del Submodelo Tecnológico se exploró alternativas de producción entre 3 y 10 hectáreas para cada alga.
- Submodelo Económico: contiene las variables y parámetros relacionados a mercado, ingresos, costos variables y fijos, rentabilidad, gastos corrientes, entre otros. El cultivo de cada especie posee una estructura de costos particular. Así, es posible diferenciar el tipo de recurso y el tipo de tecnología de cultivo a través de su estructura de costos. Se incluye en el modelo la posibilidad de evaluar el origen del capital para la inversión sobre el efecto financiero del cultivo. Una opción es a través de financiamiento propio. La segunda es mediante un crédito bancario otorgado como personas naturales a través de un crédito de consumo. Este crédito tiene una Carga Anual Equivalente. Esta CAE "...se expresa en un porcentaje que revela el costo de un crédito en un período anual, cualquiera sea el plazo pactado para el pago de la obligación..."². Para los efectos del modelo, la CAE fue de 19,8% y es pagadero en 24 cuotas de igual monto. Adicionalmente, se integra en el análisis un incentivo a la Acuicultura de Pequeña Escala por parte del Estado consistente en la devolución del 70% de la inversión inicial realizada en el cultivo. Este reintegro ocurre, dentro del modelo, al final del primer año de simulación.
- Submodelo Ambiental: debe incorporar las variables y parámetros que interactúan en el sitio de cultivo y que afectan el crecimiento y rentabilidad de los cultivos. En la medida que la experiencia en cultivos comerciales demuestre qué variables ambientales son las más importantes sobre la producción biológica, éstas pueden ser incorporadas en versiones futuras del modelo.

En el presente informe se entregan resultados finales del análisis bio-económico para pelillo (*G. chilensis*), huiro (*M. pyrifera*), luga negra (*S. crispata*) y chicorea de mar (*Ch. chamissoi*).

² <http://www.sernac.cl/proteccion-al-consumidor/consumidor-financiero/la-carga-anual-equivalente/>



Objetivo específico 2: *Desarrollar cultivos pilotos de algas en AMERB y CCAA de diferentes zonas geográficas del país.*

4.6. Identificación de AMERB y CCAA para implementación de cultivos

Se identificaron áreas y organizaciones/administradores potenciales para realizar nuevos cultivos de algas o hacer seguimiento del funcionamiento de cultivos existentes. Se propuso construir un ranking objetivo, identificando 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 (e.g., Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Fondo de Fomento de Pesca Artesanal, Fondo de Administración Pesquero).

A partir de la propuesta de selección obtenida el año 2016 y presentada a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), se seleccionaron AMERB y CCAA en dos zonas geográficas del país para implementar cultivos de algas. Se propuso implementar un cultivo en la zona norte (e.g., I Región) y 2 en la zona sur (X Región). Se realizaron reuniones y gestiones con las OPA respectivas para formalizar su participación e iniciar la tramitación e implementación de los cultivos.

4.7. Selección de especie(s) a cultivar y modelo de producción

A partir de la aplicación de la herramienta desarrollada en el objetivo 1 se seleccionaron la especie(s) a cultivar, el sitio de cultivo y el modelo de producción más adecuado para el área seleccionada. Lo anterior fue consensuado con las OPA cuyas AMERB o CCAA fueron seleccionadas.

4.8. Obtención de semillas/plántulas de algas para cultivos

La obtención de semillas/plántulas de algas para cultivo en el mar se realizó, dependiendo de la especie, a través de producción propia en el Centro Experimental Hueihue del Instituto de Fomento Pesquero (para el caso de luga negra) y mediante compra en hatchery autorizado (para el caso de huiro y chicorea de mar). La producción en hatchery y el traslado a los sitios de cultivo, se realizó de acuerdo a los protocolos vigentes a nivel nacional.

4.9. Implementación y seguimiento de cultivos de algas

Los cultivos experimentales están siendo implementados, en todas las fases asociadas al cultivo en mar, bajo un enfoque participativo junto a las OPA. Lo anterior incluye instalación de sistemas de fondeo, flotación y soporte de cultivo en el mar, traslado, y mantención e instalación de plántulas. Los modelos de producción de algas y todas las actividades de producción y manejo asociadas han sido socializadas permanentemente y en conjunto con las organizaciones seleccionadas para aumentar las probabilidades de éxito del cultivo. Se está realizando un monitoreo periódico (quincenal) del desarrollo del cultivo, considerando variables propias del cultivo como tasas de crecimiento, densidad de cultivo, epifitismo, y variables ambientales del sitio de cultivo como



temperatura, salinidad y oxígeno. Lo anterior permitirá en el mediano plazo evaluar los procesos asociados a la implementación y éxito de cultivos pilotos de algas con pescadores artesanales.

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.*

4.10. Levantamiento de información para propuesta de sistema de indicadores

La Ley de Bonificación 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 deberán ser monitoreadas en el tiempo, a fin de asegurar su impacto, éxito y sustentabilidad. Para ello se debe sugerir un sistema de indicadores biológicos, económicos y sociales para evaluar el desempeño de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA y el repoblamiento en AMERB. Mediante revisión bibliográfica y entrevista a expertos (e.g., investigadores en acuicultura, manejo costero, ecología bentónica) se recopiló y analizó información para proponer un sistema de criterios e indicadores para evaluar los procesos de cultivo y repoblamiento de manera integral (e.g., incluyendo las dimensiones ecológicas, socio-económicas, tecnológica y productivas).



5.RESULTADOS

Objetivo espec3fico 1: *Proponer modelos de gesti3n y producci3n asociados al desarrollo de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA.*

5.1. Revisi3n 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 caracter3sticas biol3gicas, ecol3gicas, tecnol3gicas principales, as3 como tambi3n, los factores cr3ticos asociados al desarrollo de su cultivo. La agrupaci3n de especies correspondi3 a algas: algin3fitas, agar3fitas, carragen3fitas y comestibles.

5.1.1. Algin3fitas

A este grupo pertenecen las algas productoras de 3cido alg3nico: *Macrocystis pyrifera*-*Macrocystis integrifolia*, *Lessonia spicata*-*Lessonia berteroana*, *Lessonia trabeculata*, *Durvillaea antarctica*.

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

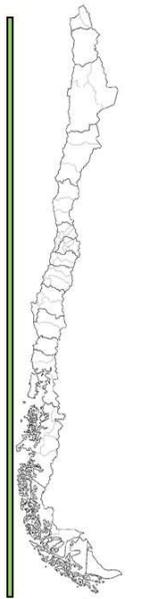


Figura 1. *M. integrifolia* (Foto: Helmo P3rez, IFOP).



Antecedentes Biol3gicos y Ecol3gicos

G3nero de alga parda de amplia distribuci3n en el mundo, costas de California y M3xico, Isla Revillagigedo, Argentina, Islas Malvinas, Per3, Uruguay, Sur de Australia, Nueva Zelanda, Islas Ant3rticas y Subant3rticas, Sud3frica e Islas Canarias. En Chile, su distribuci3n es en parches de tama1o irregular desde Arica hasta el Cabo de Hornos (Figura 2), sin embargo, la mayor biomasa se encuentra desde Puerto Montt al sur.



Macrocyctis pyrifera

Figura 2. Distribuci3n natural de *M. pyrifera* en Chile.

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 c3nico denominado gramp3n, 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 flotaci3n.

En la parte basal y sobre el disco de fijaci3n se encuentran las esporofilas que carecen de aerocistos y que llevan las esporas, las cuales al germinar desarrollar3n la fase sexual.

La morfolog3a del disco permite que albergue numerosas especies de invertebrados cuyo n3mero y riqueza puede incrementar a medida que aumenta el tama1o de la planta. Por otra parte, tanto los estipes como las frondas tambi3n pueden ser h3bitat para especies de fauna y flora caracter3sticas del intermareal, tanto en sus fases larvrias como juveniles y adultos. Debido a esta caracter3stica, 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.

Etapa 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 produce 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 fijaci3n y se inicia el proceso de la inoculaci3n 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).



Figura 3. Cultivo en etapa mar de *M. pyrifera* (Foto: Patricio Chávez, Algas Chile SPA).



Factores Críticos de su Cultivo

La implementación y rendimiento de sus cultivos dependen de la estacionalidad, distribución latitudinal, así 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, así como especies de algas de rápido crecimiento (e.g. *Ulva* spp.) sobre las líneas de cultivo.

Se recomienda realizar el cultivo durante los meses de otoño- invierno y cosechar antes de comenzar el verano para evitar la aparición de epifitismo. (Gutiérrez *et al* 2010).

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.

Gutiérrez A. 2010. Programa de difusión tecnológica INNOVA CHILE Proyecto CORFO 208-7572 "Difusión y fomento de la tecnología del cultivo y comercialización de *Macrocystis* "huiro" en la Región de Coquimbo, como alimento para abalones y otros usos industriales".

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) Contratación de un servicio de consultoría para la implementación 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 Acuícola*. 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 Riffo 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, chascón)



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

Antecedentes Biológicos y Ecológicos

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 (Figura 5). Crecen fijas 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.

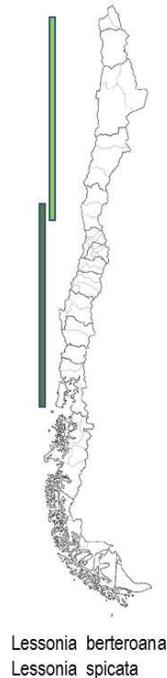


Figura 5. Distribución natural de *L. berteriana* y *L. spicata* en Chile.

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. berteriana*. 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 (Westermeier *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.



Etapa 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.

Etapa 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 se mantienen en probetas hasta alcanzar un tamaño adecuado para ser amarrados a cuerdas y posteriormente llevados al mar.

Etapa Mar

La etapa de cultivo en el mar ha sido desarrollada principalmente por la Universidad Austral de Chile 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 6. *L. trabeculata* (Foto: Helmo Pérez, IFOP).

Antecedentes Biológicos y Ecológicos

Alga de color café claro a café 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 número variable divididos en forma dicotómica terminando en una fronda. La fronda tiene un aspecto lineal o lineal lanceolado con márgenes lisos y dentados.

Presentan un ciclo de vida heteromórfico, con alternancia de generaciones de una fase microscópica (gametofito) con una fase macroscópica (esporofito). El esporofito corresponde a la planta visible y el gametofito a los filamentos microscópicos.



En Chile se encuentra desde Arica (15° 28' S) hasta Chiloé (42° 40' S) (Figura 7). Crece en ambientes submareales y forma bosques en áreas expuestas y semiexpuestas hasta 20 metros de profundidad.

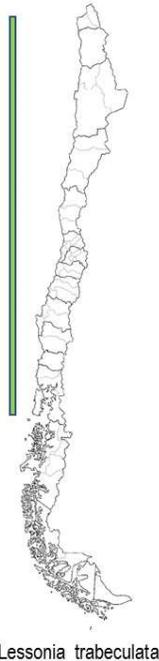


Figura 7. Distribuci3n natural *L. trabeculata* en Chile

Antecedentes Tecnol3gicos del Cultivo

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

Etapa 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 se mantienen en probetas hasta alcanzar un tama1o adecuado para ser amarrados a cuerdas y posteriormente llevados al mar.



Etapa 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, repoblaci3n y manejo de algas marinas en Chile. Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile. Presentaci3n SUBPESCA

Durvillaea antarctica (Cochayuyo, ulte, huilte)



Figura 8. *D. antarctica* (Foto: Francisco Galleguillos, IFOP).

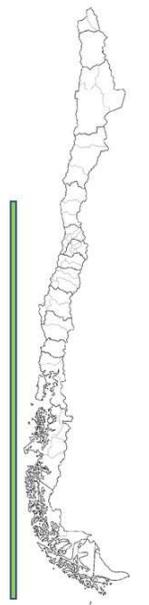


Antecedentes Biológicos y Ecológicos

Alga de gran tamaño de color pardo verdoso cuando están en el mar y pardo rojizo después 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 flotación. Consta de un disco macizo de forma cónica para la adhesión al sustrato rocoso, del disco se originan un estipe cilíndrico, cuyo extremo se aplanan 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 diplobióntico, con una fase diploide independiente. La meiosis ocurre en la gametogénesis, es una especie dioica y presenta gametofitos pequeños de corta duración. Se reproduce sexualmente mediante producción de gametos femeninos inmóviles (oóferas) y gametos masculinos bi-flagelados (anterozoides) que son liberados al agua (Collantes *et al.* 2002). La temporada de reproducción 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) (Figura 9). 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 también en Australia, Nueva Zelanda, Argentina, Islas Malvinas, Islas Heard, Islas McDonald e Islas Kerguelen, Tasmania, Islas Antárticas y Subantárticas. *D. antarctica* ha sido descrita como una importante especie estructuradora de comunidades, debido a su gran tamaño y a que sus estructuras de fijación, conforman un micro hábitat para un gran número de especies de invertebrados.



Durvillaea antarctica

Figura 9. Distribución natural *D. antártica* en Chile.



Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

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

Etapa Laboratorio y Hatchery

Se han desarrollado algunas iniciativas que pretenden desarrollar la tecnología de cultivo de este recurso en hatchery y con resultados auspiciosos; se han generado juveniles en laboratorio y en estanques en tierra (e.g. Gutiérrez *et al.* 2016). En general la técnica de cultivo se basa en recolectar trozos de individuos reproductivos desde praderas naturales (principalmente en invierno y primavera) para la obtención 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 morfología distinta a la que poseen en estado natural. Los juveniles obtenidos tienen una forma ovalada y plana sin la presencia de disco de fijación y estipe.

Se debe tener en consideración factores fundamentales tales como la densidad de los gametos y la estación del año en que se obtiene el material reproductivo para la generación óptima de juveniles en laboratorio. Se postula que la generación de este tipo de juveniles en laboratorio representa la generación de un producto innovador que podría ser atractivo para el mercado alimentario, que constantemente busca dar valor agregado a sus productos.

Etapa 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 plántulas obtenidas en hatchery en el ambiente natural; por el momento se ha estado instalando plantas grandes.

Factores Críticos de su Cultivo

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

Referencias Bibliográficas

Collantes G, Merino A & Lagos V (2002) Fenología de la gametogénesis, madurez de conceptáculos, fertilidad y embriogénesis en *Durvillaea antarctica* (Chamisso) Hariot (Phaeophyta, Durvillaeales). Revista de biología marina y oceanografía 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. Agar3fitas

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

Gracilaria Chilensis (Pelillo)



Figura 10. *G. chilensis* (Foto: Francisco Galleguillos, IFOP).

Antecedentes Biol3gicos y Ecol3gicos

El pelillo es un alga roja com3nmente extra3da desde el intermareal en la zona sur del pa3s y una de las principales fuentes de ingresos para los pueblos costeros.

Posee un ciclo de vida isom3rfico trif3sico en el cual el gametofito haploide presenta una reproducci3n sexual. Ocurrida 3sta, el gametofito femenino cambia y genera estructuras reproductivas diploides com3nmente llamadas cistocarpos. En esta fase la que la reproducci3n es asexual y ocurre por esporas que dan origen a una fase tetrasp3rica diploide. Esta fase puede generar gametofitos femeninos y masculinos y continuar con su ciclo.

Es utilizado com3nmente para la extracci3n de agar, compuesto qu3mico muy importante en procesos productivos para la industria farmac3utica y alimentaria.

En Chile, se distribuye desde la regi3n de Atacama hasta la regi3n de Ays3n (Figura 11); el principal foco de cultivo de esta especie se centra en la regi3n 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.

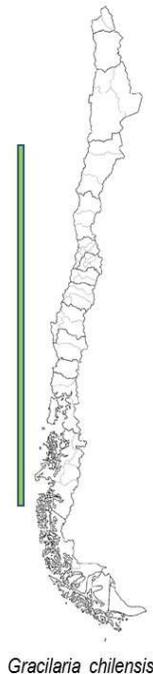


Figura 11. Distribución natural de *G. chilensis* en Chile.

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.



Etapa Mar

En el mar se desarrolla la etapa de crecimiento, es decir, la obtenci3n de la biomasa cosechable; los m3todos para conseguir esta biomasa pueden ser: mediante siembra directa, indirecta o cultivo suspendido.

El m3todo de siembra directa consiste en plantar un “manejo” de pelillo en el fondo, por medio de horquetas o herramientas que permitan hacer surcos.

Tambi3n se utilizan m3todos 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 m3todo de siembra en cuerdas de fondo es uno de los m3s utilizados en la zona de Chilo3, a pesar de que acumulan una gran carga de epifitos debido a variaciones ambientales. En ambos m3todos de cultivo se utilizan plantas adultas como medio de propagaci3n y crecimiento de este recurso, utilizando talos individuales o “manejos” de plantas.

El cultivo suspendido se ha utilizado comercialmente y es una opci3n viable para la diversificaci3n en lugares como la zona norte del pa3s, donde las condiciones ambientales han permitido su desarrollo. El cultivo suspendido se ha llevado a cabo con pl3ntulas provenientes de hatchery, es decir, pl3ntulas provenientes de cultivo mediante esporas. En el pa3s s3lo la empresa Algas Marinas S.A. (Mejillones y Ancud), proveen a organizaciones de pescadores artesanales interesadas en desarrollar este cultivo, pl3ntulas encordadas para su crecimiento en mar.



Figura 12. Cultivo en etapa de mar de *G. chilensis* (Foto: Sandra Saavedra, IFOP).

Factores Críticos de su Cultivo

En el m3todo directo de cultivo es importante mantener las algas j3venes y controlar la presencia de epifitos (e.g. *Rhizoclonium spp.*) que son una amenaza a la producci3n. Respecto al cultivo suspendido, la empresa Algas Marinas es la 3nica que provee de pl3ntulas aptas para ser cultivadas.



Referencias Bibliogr3ficas

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, G3mez I & Rivera P (1993). Suspended farming of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta, Gigartinales) at Cariquilda River, Maull3n, Chile. *Aquaculture* 113: 215-229.

Gelidium rex - Gelidium chilense - Gelidium lingulatum (Chasca)



Figura 13. *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) (Figura 14). Las tres



especies se distribuyen en cinturones en el intermareal bajo, a lo largo de costas rocosas más 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 zonación o segregación 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 distribución diferencial entre especies determina mayor tolerancia a la duración de las horas de luz e intensidad en las especies que se distribuyen más 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 distribución y producción (tanto desde praderas naturales como desde cultivo). Los pocos estudios ecológicos 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 máximas 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 está 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.

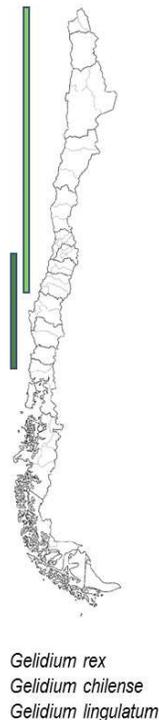


Figura 14. Distribución natural de *Gelidium* spp en Chile.



Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

Etapa 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. linguatum*, 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.

Etapa 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 (Titlyanov *et al.* 2006). Por otro lado, Titlyanov *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, necesiándose 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, León N & Rojas R (1996) Practical and descriptive techniques for *Gelidium rex* (Gelidiales, Rhodophita) culture. *Hydrobiologia* 326:367-370.

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

Ahnfeltia plicata
(Líquén gomoso)



Figura 15. *A. plicata* (Foto: http://www.seaweed.ie/descriptions/Ahnfeltia_plicata.php).

Antecedentes Biológicos y Ecológicos

A. plicata es una especie de alga agarófito que en los últimos años se ha propuesto como una de las que presenta un alto potencial de comercialización, debido a que posee agarosa neutra baja en



sulfatos de mejor calidad (Ojeda *et al.* 2016). Seg3n los estudios realizados en especies del hemisferio norte, esta especie presenta un ciclo de vida heterom3rfico trif3sico (Chen, 1997).

Su crecimiento es ramificado, con filamentos de aproximadamente 1 mm de di3metro y presentan distinta pigmentaci3n dependiendo de su fase de crecimiento, puede llegar hasta los 35 cm de longitud con un disco basal peque1o. Se distribuye en praderas submareales que alcanzan una gran biomasa. Su distribuci3n se limita a zonas circumpolares tanto en el hemisferio norte (otras especies *Ahnfeltia*) como en el hemisferio sur. En nuestro pa3s, se distribuye en Islas Subant3rticas y las regiones patag3nicas (Magallanes y Tierra del Fuego) (Figura 16).

Habita com3nmente 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, 3ste atrapa sedimentos los cuales tienen aspecto de sedimentos an3xicos. La mayor biomasa promedio no reproductiva se observa en la estaci3n de oto1o 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 m3ximo de salinidad de esta especie es hasta 40 PSU. La mayor parte de los estudios fisiol3gicos realizados para esta especie se concentran en el hemisferio norte, en cuanto a las especies del hemisferio sur siguen en proceso de investigaci3n.



Figura 16. Distribuci3n natural *A. plicata* en Chile.



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 laminarioides*, *Chondrus canaliculatus*).



Gigartina skottsbergii
(Luga roja, cuero de chancho)



Figura 17. *G. skottsbergii* (Foto: Mario N3ñez).

Antecedentes Biol3gicos y Ecol3gicos

Alga roja de gran tama1o presente en las costas del sur de Chile. Ha desarrollado gran relevancia econ3mica en las 3ltimas d3cadas debido a la obtenci3n de carragenanos, los que son utilizados com3nmente por diversas industrias.

Se fija al sustrato gracias a un disco de fijaci3n peque1o en comparaci3n 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 isom3rfico trif3sico, donde se observa la fase gametof3tica, con reproducci3n sexual dando origen a la fase cistoc3pica. Esta fase genera carp3sporas con reproducci3n asexual, las que originan individuos tetrasporof3ticos. Esta fase puede producir organismos gametof3ticos de ambos sexos. Su ciclo de crecimiento es de aproximadamente dos a1os 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 distribuci3n geogr3fica en la zona sur de Am3rica, y est3 presente tanto en las costas de Chile, Argentina, la Pen3nsula Ant3rtica y las Islas Malvinas (Ram3rez & Santelices 1991). En Chile se distribuye desde la regi3n de Los R3os hasta Cabo de Hornos (Figura 18)

Habita en sustratos rocosos y crece entre los 5 m hasta los 20 m aproximadamente. Generalmente est3 asociada a bosques de "huiros" pero tambi3n se observan praderas independientes. Es una especie de aguas templadas-fr3as, su rango de tolerancia a la temperatura alcanza hasta los 14° C



como m3ximo y 4°C como m3nimo. Se observa en lugares expuestos, fiordos y praderas submareales de la zona sur.



Gigartina skottsbergii

Figura 18. Distribuci3n natural de *G skottsbergii* en Chile.

Antecedentes Tecnol3gicos 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 caracter3sticas b3sicas para mantener las pl3ntulas.

Etapa Laboratorio y Hatchery

Para empezar con el cultivo se deben recolectar frondas reproductivas cistoc3rpicas o tetrasp3ricas 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 marr3n 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 3stos. La siembra consiste en verter el contenido l3quido con esporas en estanques con agua de mar donde se encuentran los bastidores. Estos estanques se deben mantener aproximadamente por 15 d3as 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.

Etapa 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 19. 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 20. *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 presenta 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 (Hommsand *et al.* 1993) desde Valparaíso (33° 02' S) hasta el Estrecho de Magallanes (Punta Santa María) (54° 28' S) (Ramírez & Santelices 1991) (Figura 21), 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.).

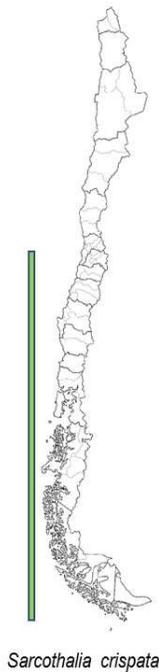


Figura 21. Distribución natural *S. crispata* en Chile.

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.

Etapa 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 Coliumo), 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* está en condiciones de ser integrada en Concesiones de Acuicultura y Áreas de Manejo, luego que existe autorización por la Subsecretaría de Pesca para realizar actividades de acuicultura en estas áreas.



Figura 22. Etapa de mar del cultivo de *S. crispata* (Foto: Francisco Galleguillos, IFOP).



Factores Críticos de su Cultivo

Para obtener una óptima producción es primordial la calidad del material reproductivo; de esta manera, se obtiene una buena esporulación lo que permite obtener altas densidades de plántulas.

Referencias Bibliográficas

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

Ávila M, Ask E, Rudolph B, Núñez 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 Católica 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. Alveal & 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)

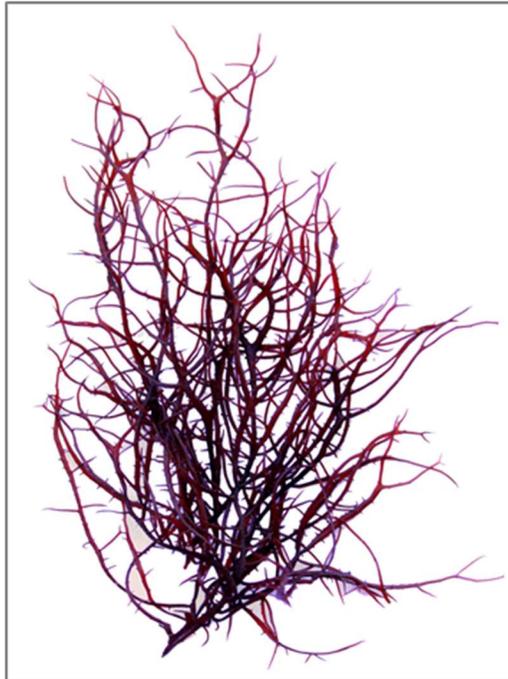


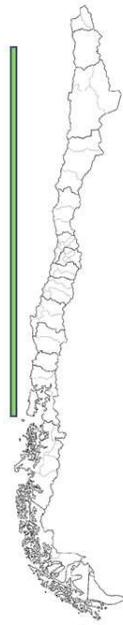
Figura 23. *C. chamissoi* (Foto: Facultad de Ecología y Recursos Naturales, Universidad Andrés Bello).

Antecedentes Biológicos y Ecológicos

C. chamissoi 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) (Figura 24). 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.



Chondracanthus chamissoi

Figura 24. Distribuci3n natural de *Ch. chamissoi* en Chile.

Antecedentes Tecnol3gicos del Cultivo

Se han identificado diferentes mecanismos para el cultivo de chicorea de mar; entre los que se encuentran la propagaci3n vegetativa, la reproducci3n sexual por esporas o esporocultivo y la formaci3n de discos de fijaci3n secundaria.

El m3todo de propagaci3n 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 ep3fitos.

El m3todo de reproducci3n sexual por esporas o esporocultivo permite, a partir de algas f3rtils (cistoc3rpicas o tetrasp3ricas) extra3das de praderas naturales, obtener esporas y fijarlas sobre sustratos artificiales, para luego incubarlas hasta obtener plantas microsc3picas (1–2 mm de altura) para transplantar los sustratos inoculados al mar y desarrollar as3 praderas explotables comercialmente (Alveal *et al.* 1995).

El m3todo de formaci3n de discos de fijaci3n secundaria o de re-adhesi3n de fragmentos de Chicorea de mar es un mecanismo importante para la regeneraci3n de biomasa, para la mantenci3n 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 m3todo de Formaci3n de Discos de Fijaci3n Secundaria: 1) Obtenci3n y Selecci3n de Chicorea de mar, 2) Limpieza de algas, 3) Mantenci3n de algas en estanques, 4) Corte de las



algas (fragmentaci3n), 5) Mantenci3n en hatchery, 6) Fijaci3n de algas sobre sustrato artificial, 7) Siembra en sistema suspendido (lnea de cultivo tipo long-line), 8) Monitoreo biol3gico.



Figura 25. 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 peri3dica 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, Mart3nez R, V3squez 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 Cat3lica 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, Sep3lveda C, S3ez F & M3ndiz N (2013) Manual de cultivo de *Chondracanthus chamissoi* (Chicoria de mar). Proyecto Acuicultura en 3reas de Manejo: Una innovaci3n para mejorar su desempe1o mediante el cultivo suspendido de chicoria de mar (*Chondracanthus chamissoi*) en la Regi3n de Antofagasta. C3digo 12BPCR – 16600.

V3squez 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 26. *M. laminariodes* (Foto: <http://static.wixstatic.com/media>).



Antecedentes Biol3gicos y Ecol3gicos

Esta alga presente en el intermareal ha mostrado una gran importancia econ3mica en los 3ltimos a3os, ya que tambi3n es una de las materias primas para la obtenci3n de carragenanos utilizados en procesos industriales. Presenta al igual que la mayor3a de las algas carragen3fitas un ciclo de vida isom3rfico trif3sico donde se observa una fase gametof3tica (ambos sexos y reproducci3n sexual), una fase carposporof3tica y una fase tetrasporof3tica. Durante su fase de reclutamiento son capaces de presentar coalescencia con otras especies lo que les permite alcanzar mayor tama3o para poder sobrevivir (Santelices & Aedo 2006).

Est3 presente en cordones o parches en roquer3os protegidos, como tambi3n expuestos, del intermareal medio bajo. Se distribuye desde Tierra del Fuego hasta la zona central del pa3s (Figura 27). La biomasa de esta alga en las zonas altas del intermareal, presenta una mayor cantidad de frondas cistoc3rpicas, llegando casi al 100 %, lo que disminuye hacia los estratos m3s bajos del intermareal. Se adosa a los roquer3os y es capaz de resistir fuertes oleajes y tambi3n periodos de desecaci3n por mareas (Hoffman & Santelices 1997).

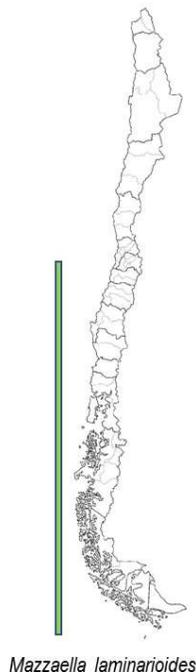


Figura 27. Distribuci3n natural *M. laminarioides* en Chile.

Antecedentes Tecnol3gicos del Cultivo

Al igual que las dem3s carragen3fitas, los procesos de obtenci3n de esporas desde las fases carposporof3tica y tetrasporof3tica est3n descritos para lograr la fijaci3n de individuos juveniles, aunque para esta especie no hay informaci3n respecto a su cultivo. Las experiencias de cultivo por



esporas para la repoblaci3n, consiste en recolectar frondas con evidencia de cistocarpos y tetr3sporas, las cuales son cortadas con un sacabocado, por donde se pasa una cuerda de polipropileno de 2 a 3 mm de di3metro y de 1 m de largo, en la cual se disponen las frondas con una separaci3n 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 l3nea de costa para permitir su esporulaci3n y generar nuevos individuos.

Factores Cr3ticos de su Cultivo

Solamente se han realizado experiencias de cultivo de esporas para la repoblaci3n. El cultivo se encuentra en fase experimental.

Referencias Bibliogr3ficas

Hoffmann A & Santelices B (1997). Flora marina de Chile central. Ediciones Universidad Cat3lica 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 28. *C. canaliculatus* (Foto: Masahiru Suzuki)

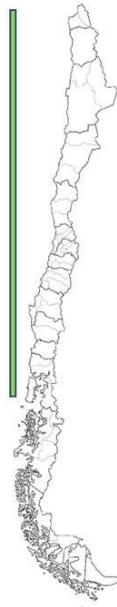


Antecedentes Biológicos y Ecológicos

Alga de tamaño pequeño, aproximadamente 15 cm de largo en algunos casos, de color rojizo parduzco. Presentan un disco de fijación el que puede coalescer con otras especies para formar plántulas y permitir un mejor desarrollo en su fase de crecimiento. Crece de forma ramificada generando filamentos conectados entre sí. Presenta un ciclo de vida isomórfico trifásico, con alternancia de fases.

Es una especie endémica de las costas del pacífico sur, se distribuye desde Perú hasta Chile. En el país está presente desde la zona norte hasta la Isla de Chiloé (Figura 29). 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 explotación humana las praderas de esta alga disminuyeron notablemente por la poca información de su ciclo de vida y por el mal manejo extractivo. No presenta una respuesta a cambios de salinidad amplios.



Chondrus canaliculatus

Figura 29. Distribución natural *C. canaliculatus* en Chile.

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

Las experiencias de cultivo de esta especie sólo 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). También 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 30. *Pyropia* spp. (Foto: Helmo P3rez, IFOP).

Antecedentes Biol3gicos y Ecol3gicos

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 morfol3gicos. Hasta antes del estudio realizado por Guillemin *et al.* (2015), se reconocían para toda la costa de Chile (Figura 31) 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 macrosc3pica, y corresponde a las algas que se pueden encontrar adheridas a rocas. Estas algas macrosc3picas pueden tener células reproductivas masculinas, femeninas o ambas. Al reproducirse, estas plantas generan un tipo de esporas denominado cigotoespora, que generará una fase microsc3pica denominada conchocelis. Esa fase microsc3pica filamentosa que crece dentro de conchas de moluscos, y al madurar, produce esporas denominadas conchoesporas que generarán nuevas plantas de luche.

Las poblaciones de luche son intermareales, algunas de ellas dominan el intermareal superior. Estas especies tienen una gran resistencia a la desecaci3n cuando baja la marea, llegando a estar prácticamente deshidratadas cuando la radiaci3n 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 luche resiste bajas salinidades y es tolerante a períodos de congelación, propiedad que también es utilizada en los cultivos para extender el período de crecimiento y cosechas.



Figura 31. Distribución natural *Pyropia* spp. en Chile

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

El cultivo del luche 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, éstas 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 luche

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 luche (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 fijan 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 fijación 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 línea de costa, ocupando la franja de distribución que normalmente ocuparía en luche en condiciones naturales, y son amarradas a estacas a una altura que permita que experimenten los períodos de desecación e inmersión propios de un ciclo mareal, evitando así 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 estén 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 metálicas al fondo. Las redes deben someterse a períodos de desecación diario mediante el uso de sistemas parecidos a caballotes, que produzcan la emersión frecuente (ojalá



diaria) de las redes. Una variante de este sistema es el uso de soportes metlicos 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 crítico que las redes sean sometidas a períodos de desecaci3n, para evitar el fouling y así 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 podría ser cultivada hasta 5 veces entre otoño e invierno.



Figura 32. Etapa de mar del cultivo de *Pyropia sp.* (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 estarán en directa relaci3n con la cantidad de redes que se desee inocular. Se requiere de técnicos con habilidades específicas para verificar crecimiento y maduraci3n de la fase conchocelis.

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

Referencias Bibliográficas

Guillemin ML, Contreras-Porcía 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.



González 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.

Ramírez ME & Santelices B (1991) Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa templada del pacífico de Sudamérica. Monografías Biológicas 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, Candia A, Núñez M, Oyarzo C, Galleguillos F & Cáceres J (2005) Manual de técnicas de cultivo de “Luche” (*Porphyra* sp.) Proyecto FONDEF D0111148. IFOP, 32 pp.

Callophyllis variegata
(Carola)



Figura 33. *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 Templado 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) (Figura 34), 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 tetraspóricas se mantuvieron bajo las 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 tetraspóricas (Filún *et al.* 1999, Güttler 1999, Buschmann *et al.* 2001).

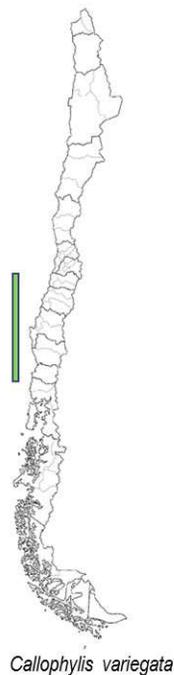


Figura 34. Distribución natural *C. variegata* en Chile

Antecedentes Tecnológicos del Cultivo

Durante la ejecución del proyecto Fondef D0811067, 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. Cultivo en mar fue probado mediante cultivo en redes suspendidas a escala experimental (Ávila et al. 2012).



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) Kützing (“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) Kützing (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.

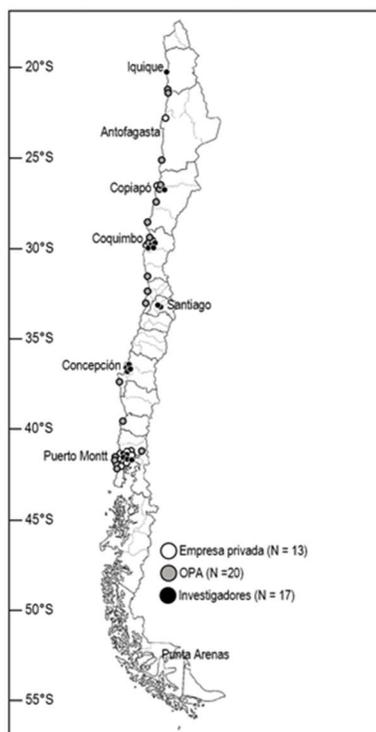
Las otras algas comestibles, *C. chamissoi* y *D. antártica*, han sido desarrolladas en la sección de carragenófitas y alginófitas respectivamente.



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

A partir de una lista inicial de 101 actores relevantes identificados para la acuicultura de algas en Chile, se encuestaron a 50, correspondiendo 13 a acuicultores (empresas), 17 a investigadores/académicos y 20 a OPA (Figura 35) (ANEXO 2). Esta muestra equivale al 49.5 % del universo de estudio, representando el 60% de los productores de semillas de algas del país, alrededor del 80% de los investigadores/académicos que han desarrollado líneas de investigación en torno a ecología, fisiología, biología productiva y acuicultura de algas en Chile, y alrededor del 68% de empresas asociadas al uso de algas como materia prima. Las encuestas se realizaron desde la región de Tarapacá (I región) hasta la región de Los Lagos (X región). Desafortunadamente, en la muestra analizada no se logró incluir una o más de las 4 organizaciones de la provincia de Palena (X región sur) que gestionaron permisos de acuicultura de algas y un académico de la región de Magallanes que desarrolla investigación en torno a algas.

La distribución de las muestras muestra claramente un mayor número de actores relevantes en las regiones de Coquimbo y Los Lagos, regiones que históricamente han presentado los mayores desembarques de algas del país (Sernapesca 2016) y han liderado los esfuerzos de acuicultura de algas. Considerando esto, se encuestaron 22 actores expertos al norte de la capital y 24 expertos hacia el sur hasta la décima región (Figura 35).



Región	OPA	INV	EMP
Tarapacá	2	1	
Antofagasta	2		1
Atacama	3	1	1
Coquimbo	3	4	1
Valparaíso	2		
Metropolitana		2	
Biobío	1	4	
De los Ríos	2		
De los Lagos	5	5	10
Total	20	17	13

Figura 35. Distribución geográfica de representantes de organizaciones pescadores artesanales (OPA), investigadores y empresas privadas que accedieron a participar en el presente estudio.



5.2.1. Resultados sobre experiencia en acuicultura de algas

En esta sección se realizaron preguntas con el objeto de recabar información de las iniciativas de cultivo de algas que ya se han realizado o que se están llevando a cabo actualmente. Se consultó en primera instancia por las especies en las que han tenido experiencias de cultivo. De las 149 iniciativas de cultivo, la especie con mayor frecuencia fue *G. chilensis* (pelillo) sumando 34 iniciativas de cultivo (7 por la empresa, 13 por investigadores y 14 por OPA), luego *M. pyrifera* con 26 iniciativas (5 desde la empresa, 12 de investigadores y 9 de las OPA) y *C. chamissoi* con 14 iniciativas (1 vez por empresa, 8 veces de investigadores y 5 iniciativas por OPA). En total 21 especies han tenido alguna iniciativa de cultivo (Figura 36). Cabe señalar que las OPA han realizado cultivos en sólo 6 especies: *C. variegata* (carola), *C. chamissoi*, *G. skottsbergii*, *G. chilensis*, *M. pyrifera* y *S. crispata*, y los encuestados relacionados con la empresa, 7 especies: *D. antarctica*, *C. chamissoi*, *G. skottsbergii*, *G. chilensis*, *M. pyrifera*, *Pyropia* spp y *S. crispata*, todas ellas de importancia comercial.

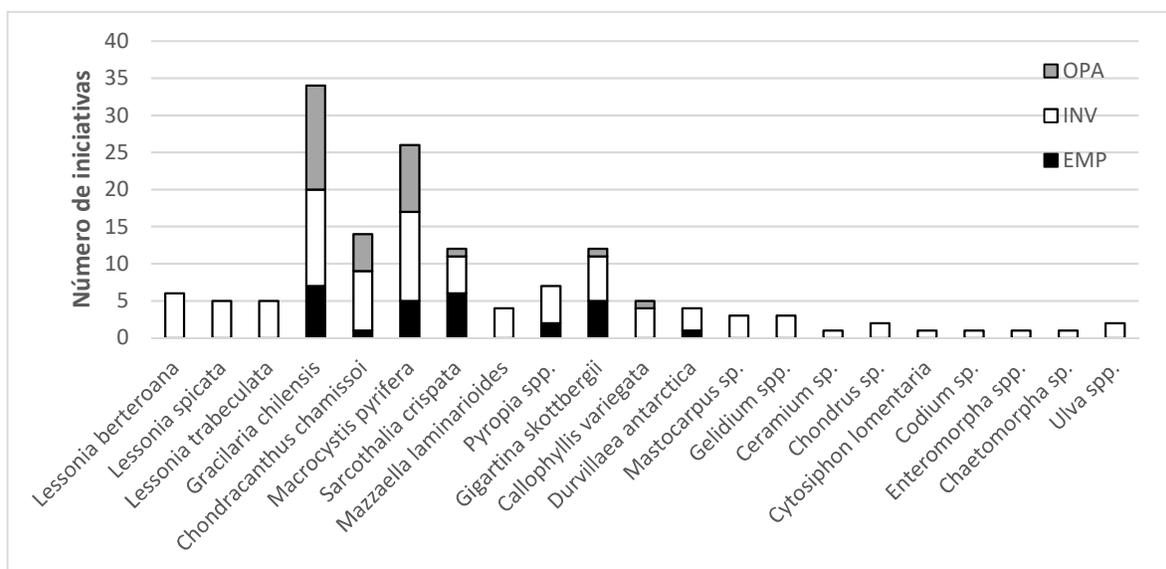


Figura 36. Número de iniciativas de cultivo por especie ejecutadas por representantes de organizaciones pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

Se clasificaron los motivos de las iniciativas de cultivo en 16 factores, las cuales se agruparon en 4 dimensiones: Ambiental, Económico, Social y Tecnológico (Figura 37). El motivo más frecuente para desarrollar una iniciativa de cultivo es el valor comercial del alga, mencionado 80 veces (14 veces por representantes de empresas, 56 por investigadores y 10 veces por OPA). Otras razones frecuentes fueron: aportar al conocimiento tecnológico y científico (45 veces, mencionado 1 vez por empresa, 41 por investigadores y 3 por OPA), desarrollo de nuevos productos (24 veces, mencionado 4 veces por empresas y 20 veces por investigadores) y repoblación (21 veces, 2 por empresas y 19 por investigadores). Los encuestados señalaban hasta tres razones por iniciativa de cultivo. La especie con mayor frecuencia de iniciativas fue *G. chilensis*, 17 encuestados señalaron



como una de las razones de cultivo el valor comercial del alga y 9 iniciativas para aportar al desarrollo cient3fico tecnol3gico del cultivo (Tabla 1 en ANEXO 4).

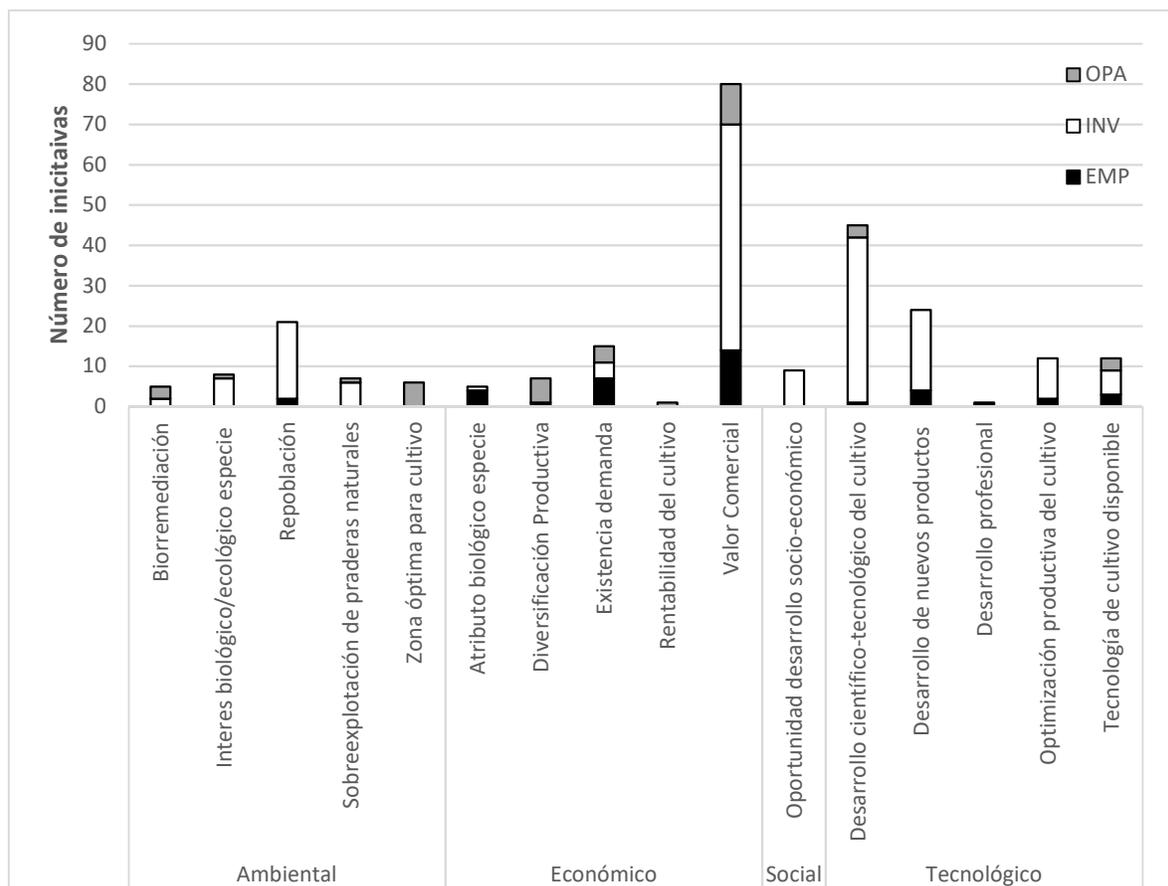


Figura 37. Frecuencia de principales motivos para la elecci3n de la especie en las iniciativas de cultivo ejecutadas por representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

En cuanto al financiamiento, proyecto u instancia en la cual se desarroll3 la iniciativa, se mencionaron 36 formas de financiamiento. Los fondos m3s frecuentes fueron fondos propios, FONDEF, fondos internacionales, FAP, fondos internos de las universidades, fondos privados y FIC. Cabe se~alarse que las empresas y las OPA se~alaban haber financiado las iniciativas por fondos propios, mientras que los investigadores han obtenido financiamiento a trav3s de proyectos de distintas instancias, inclusive son los 3nicos en haber recibido fondos internacionales para el desarrollo de iniciativas de cultivo (Figura 38).

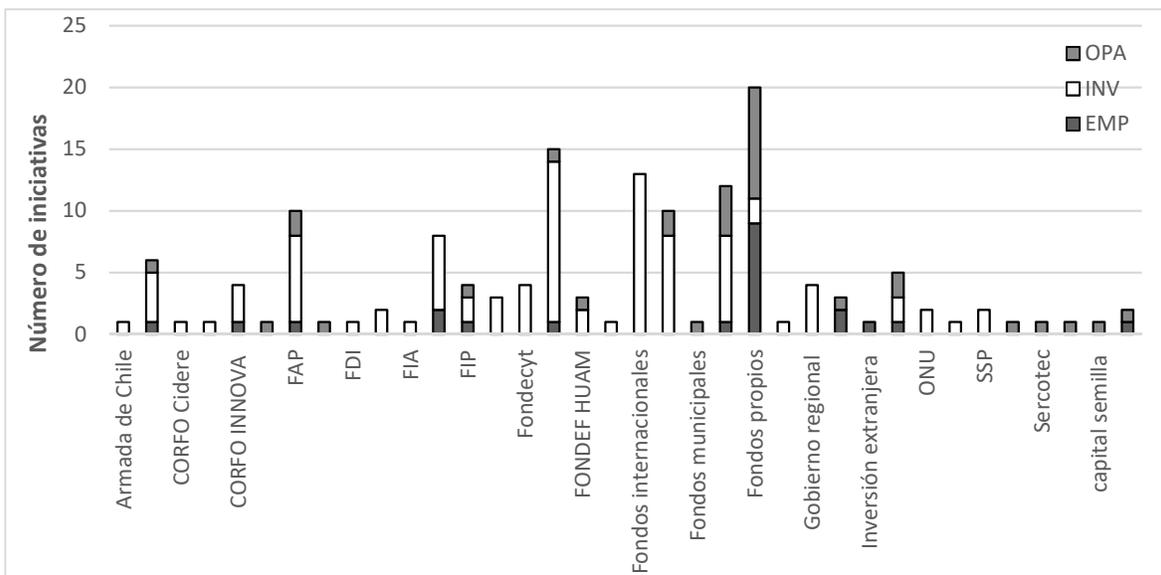


Figura 38. Frecuencia del tipo de financiamiento usado en proyectos o instancias de cultivo de algas desarrollado por representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

Se reportaron 7 sistemas de cultivo, de las cuales el más frecuente resultó ser el cultivo en long-line con 68 menciones (Figura 39). Las especies con más frecuencia de instancias por long line fueron *M. pyrifera* con 25 iniciativas, *G. chilensis* con 9 iniciativas y *S. crispata* con 9 iniciativas. Los cultivos de fondo fueron principalmente de *G. chilensis* (23 veces) (Tabla 2 en ANEXO 4).

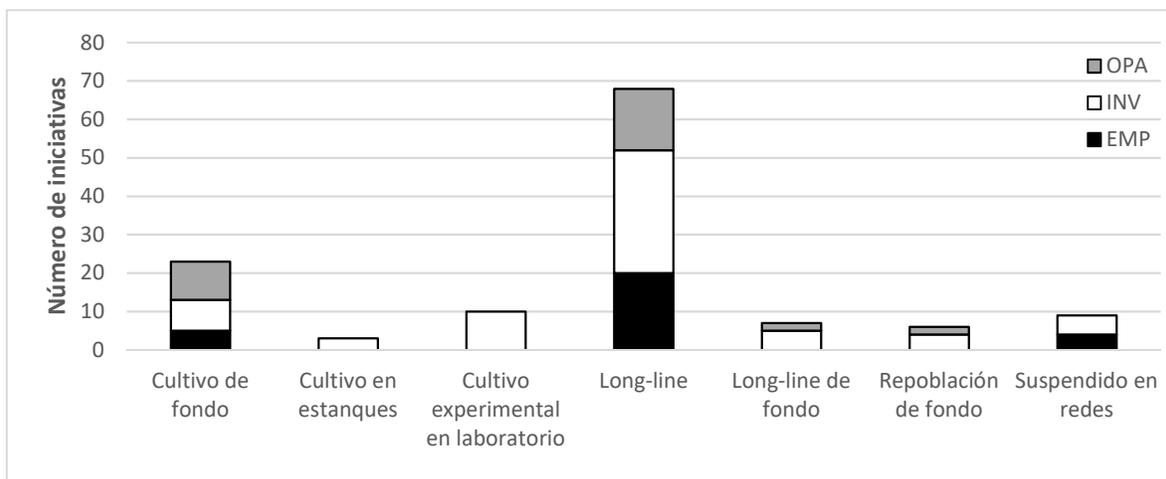


Figura 39. Frecuencia del uso de sistemas de cultivo utilizados por representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).



Respecto al origen de las plántulas/semillas, de las 122 iniciativas reportadas para esta pregunta, en 51 ocasiones se realizaron cultivos vegetativos, en 31 ocasiones se utilizó sustrato inoculado con esporas en hatchery para el cultivo, en 25 ocasiones se utilizó plántulas producidas por free-floating en laboratorio y solo en 13 iniciativas se recurrió a la captación natural de semillas para la actividad. La especie con mayor frecuencia en iniciativas en las que se utilizó material algal para un cultivo vegetativo fue *G. chilensis* (33 ocasiones). En 14 iniciativas las plántulas de *M. pyrifera* fueron producidas por el método free-floating y en 7 ocasiones por utilización de sustrato inoculado con esporas (Figura 40).

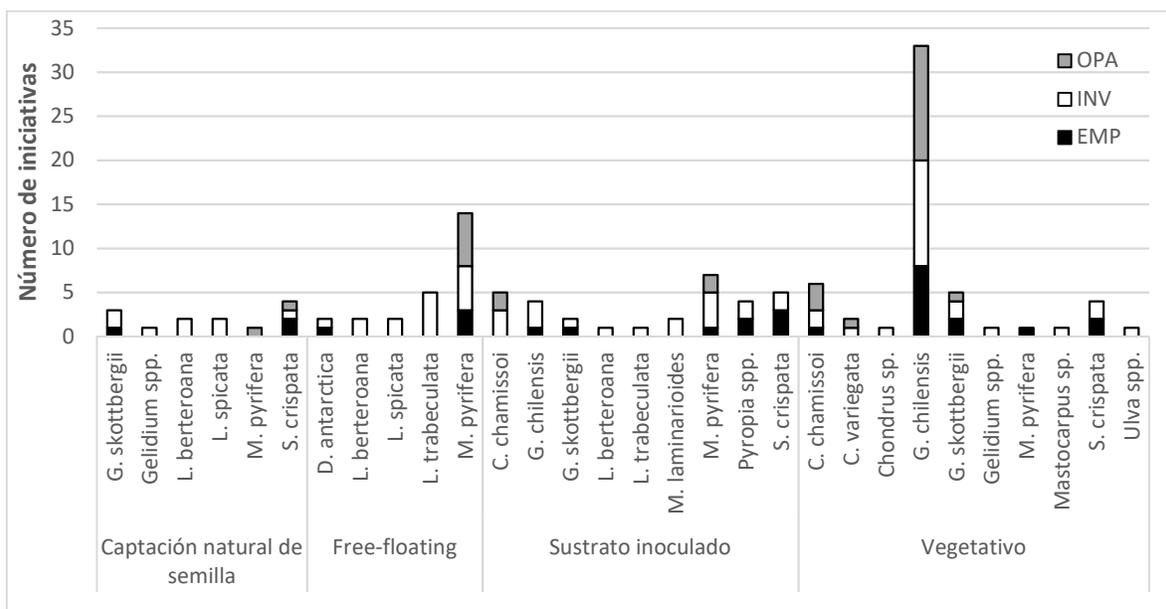


Figura 40. Frecuencia de la procedencia plántulas/semillas utilizadas en iniciativas de cultivos por representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

Respecto a la capacitación involucrada en las iniciativas de cultivo, de las 91 iniciativas reportadas el 67% (61 iniciativas) recibieron capacitación, mientras que el 33% (30 iniciativas) señala no haber recibido. Las capacitaciones, en su mayoría consistieron en una charla sobre técnicas de cultivo (29 veces) y una charla y una actividad práctica o solo en la actividad práctica en 13 ocasiones cada uno (Figura 41).

Sobre las instituciones que realizaron capacitaciones, las universidades fueron las mayores instituciones capacitadoras sobre los cultivos, siendo mencionadas en 36 iniciativas. En segundo lugar, aparece IFOP con 11 iniciativas (Figura 42).



De las iniciativas que recibieron capacitaci3n, el 93,4% dice que fue 3til. Las razones por la cual consideraron 3tiles las capacitaciones fueron principalmente por la adquisici3n de conocimientos t3cnicos (mencionado en 37 ocasiones) (Figura 43).

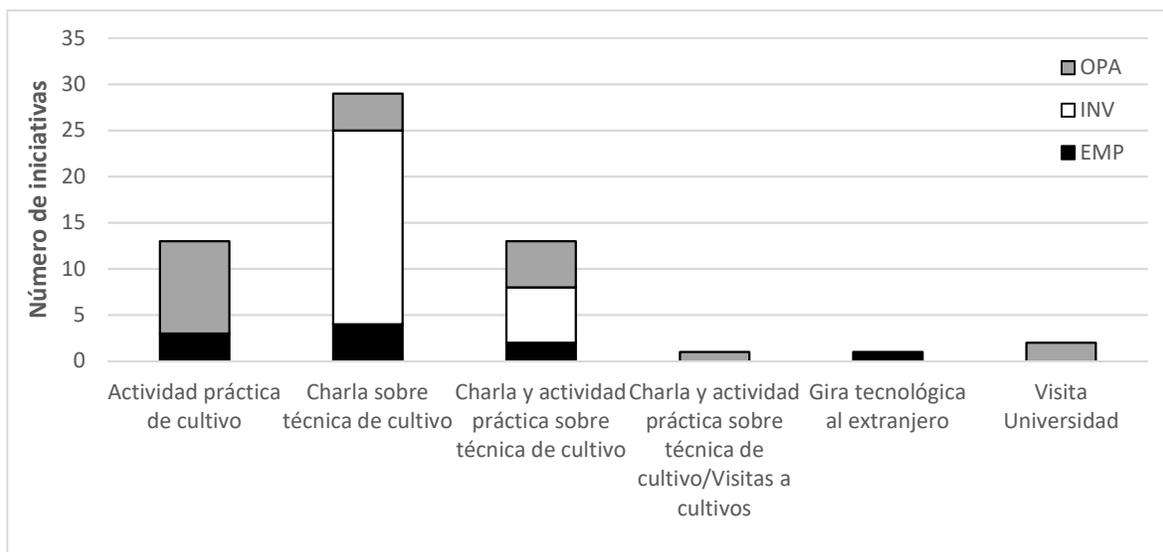


Figura 41. Frecuencia del tipo de capacitaci3n recibida en distintas iniciativas de cultivo por representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

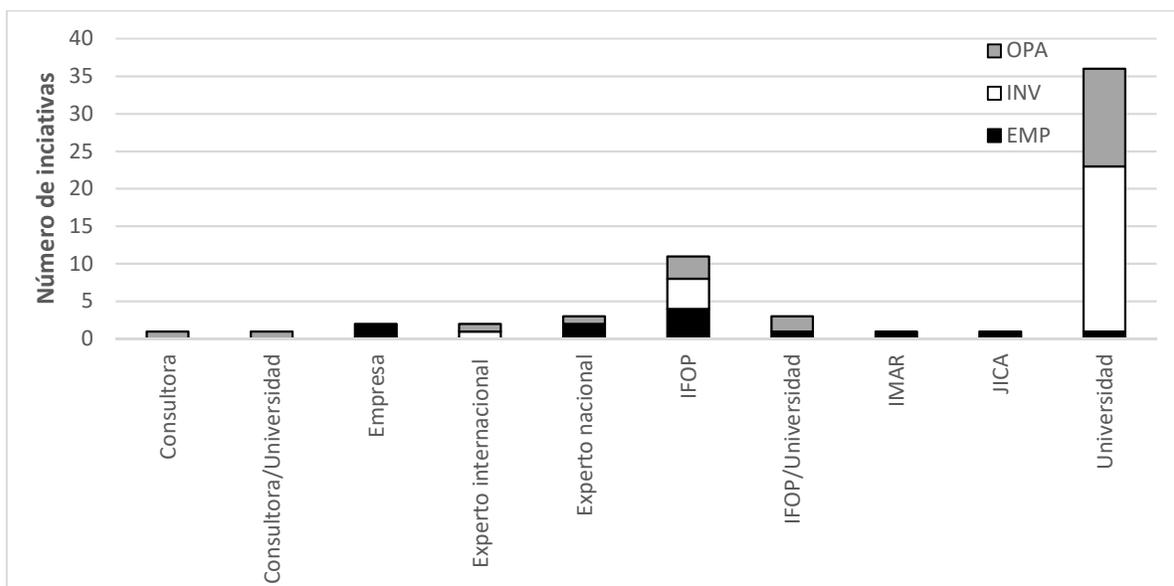


Figura 42. Frecuencia de Instituciones que capacitaron a organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

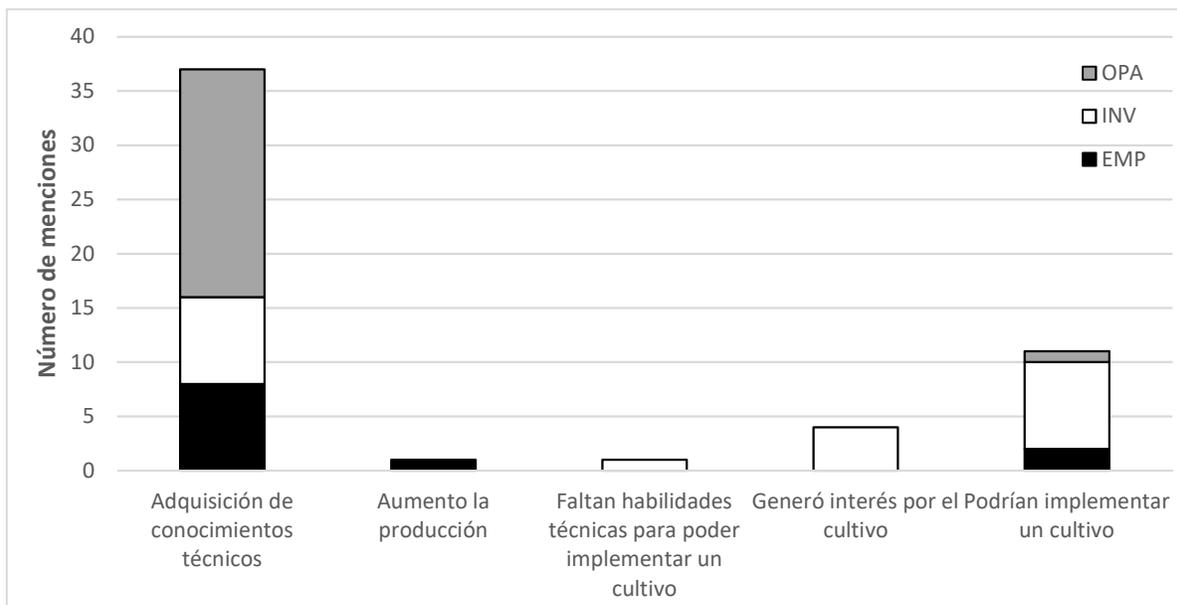


Figura 43. Frecuencia de la percepci3n de los esfuerzos de capacitaci3n en cultivo de algas en representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

Sobre los resultados del cultivo, de un total de 94 respuestas, un 30,9% (29) seala no haber tenido producci3n, un 68,1% (64) seala que la iniciativa tuvo producci3n y una persona no sabe o no contesta (1.1%). Un 65,6% de los encuestados sealan como resultado de producci3n un aumento de biomasa. Respecto a las especies, *G. chilensis* aparece con 26 iniciativas en la que hubo producci3n, de ellas en un 65% seala el resultado del cultivo como un aumento de biomasa (17 ocasiones), luego aparece *M. pyrifera* en 15 iniciativas con resultados de producci3n, y finalmente *S. crispata* fue mencionada con resultado de producci3n en 7 ocasiones (Tabla 3 anexo 4).

Respecto a la proyecci3n de rentabilidad econ3mica de la acuicultura de algas, de las 70 respuestas obtenidas tanto de investigadores como representantes de la empresa, 7 personas sealaron que el cultivo era nada rentable, 15 que era poco rentable, 19 que era medianamente rentable, 24 que era rentable y solo 5 que era muy rentable (Figura 44). Los encuestados sealaron que las algas tienen demanda permanente (11 veces), sin embargo, el mercado de las algas es inestable (7 veces) y adem3s las especies cultivadas tienen bajo precio (6 veces). Las especies calificadas como m3s rentables fueron *M. pyrifera* y *G. chilensis* (Tabla 4 en anexo 4)

Frente a la pregunta efectuada a representantes de las OPA respecto a la percepci3n de beneficios del cultivo de algas, un 11,1% seala considerarla medianamente beneficiosa (4 veces), un 50% la considera beneficiosa (18 veces) y un 38,9% muy beneficiosa (14 veces) (Tabla 5 Anexo 4).

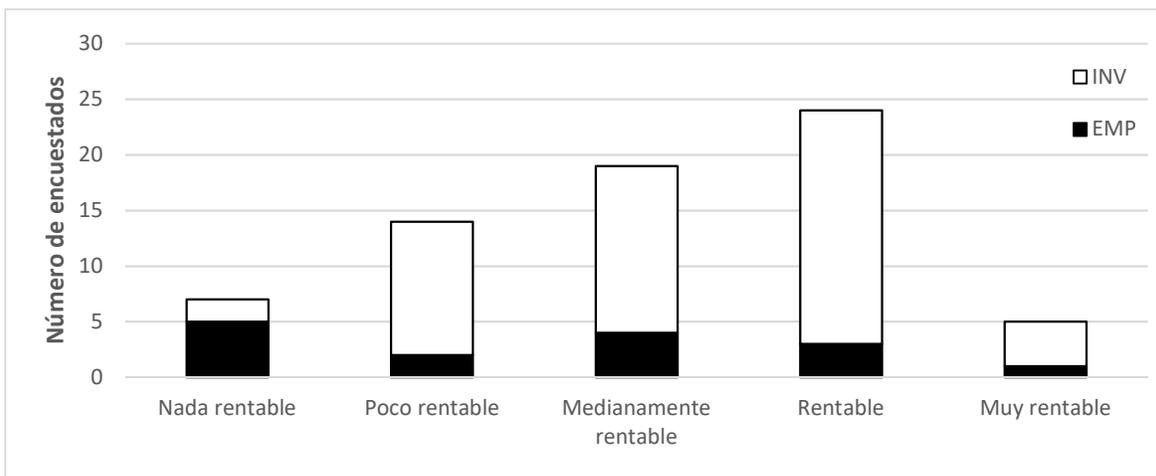


Figura 44. Frecuencia en la percepci3n de la rentabilidad econ3mica de la acuicultura de diversas especies de algas por representantes de investigadores (INV) y empresas asociadas (EMP).

Respecto a la percepci3n de cu3n capacitados se encuentran para iniciar una actividad de cultivo, 36 encuestados se considera muy capacitado (42,4%), 25 se considera capacitado (35,6%), 12 encuestados se considera medianamente capacitado (11,9%), solo 4 encuestados se considera poco capacitado (6,8%) y finalmente solo 2 encuestados se considera nada capacitado (3,4%) (Figura 45).

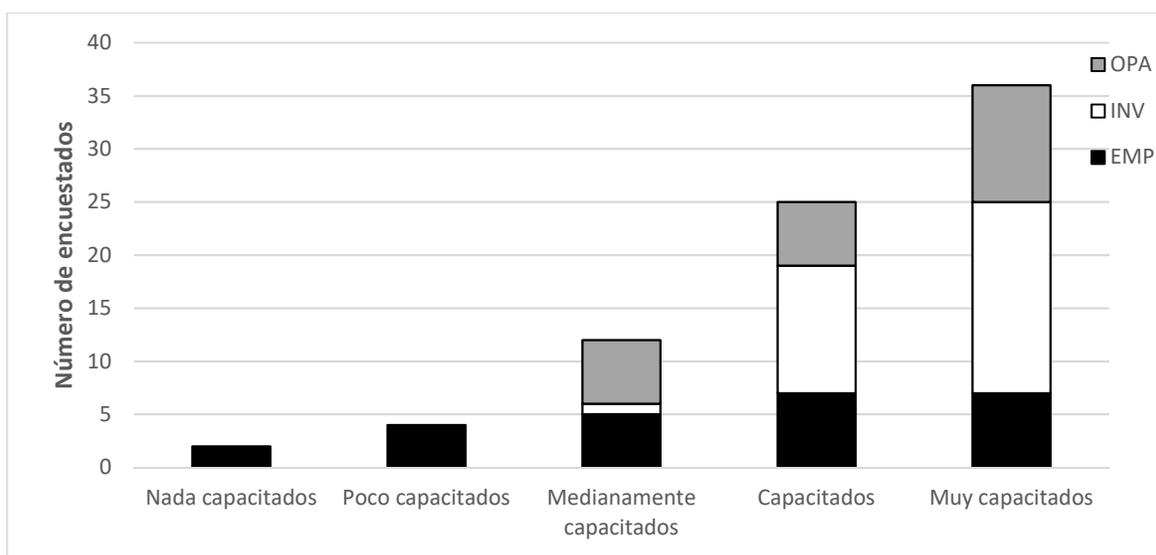


Figura 45. Frecuencias absolutas de la percepci3n de capacidad para emprender un cultivo y sus razones. Organizaciones de pescadores artesanales (OPA), Investigadores (INV) y empresas (EMP).



5.2.2. Resultados sobre proyecci3n de la acuicultura de algas

Frente a la pregunta de si su organizaci3n (dirigida a representantes de empresas y OPA) est1 dispuesta a diversificar sus actividades productivas mediante cultivos de algas, el 97,2% (35 encuestados) sostiene que su organizaci3n est1 dispuesta a diversificar sus actividades productivas a trav1s de un cultivo de algas y s3lo 1 (2,8%) se1al3 que no lo estar1an. Las razones m1s frecuentes tienen relaci3n con el potencial de diversificaci3n de productos con valor agregado (un 33,3%). La existencia de capacidades, que los cultivos de algas pueden disminuir la explotaci3n de las praderas naturales y el uso potencial de policultivos son mencionadas 3 veces (9,1%) cada una (Tabla 2).

Tabla 2.

Frecuencias de los motivos por la cual la organizaci3n de pescadores artesanales y acuicultores estar1an dispuestos a diversificar sus actividades productivas a trav1s de acuicultura de algas (EMP= empresa y OPA= Organizaci3n de pescadores artesanales).

	EMP	OPA	Total
Cultivo puede disminuir explotaci3n de praderas naturales		3	3
Deficiencia en el abastecimiento de semillas de calidad certificada	2		2
Existencia de capacidades	2	1	3
Existencia de demanda permanente	1		1
Existencia de sitios aptos para cultivo		1	1
Falta de subsidios para incentivar cultivo de algas	1		1
Falta estudios de factibilidad econ3mica	1	1	2
Fuente alternativa de ingresos	1		1
No es sensible a floraciones de algas t3xicas	1		1
No transfiere toxinas de floraciones de algas nocivas		1	1
Potencial de diversificaci3n de productos con valor agregado	4	7	11
Potencial de repoblaci3n		2	2
Potencial mercado local		1	1
Potencial uso en policultivos		3	3
Total	13	20	33

Al preguntar a OPA, empresas e investigadores si consideran la acuicultura de algas como una real alternativa de diversificaci3n productiva para el sector pesquero artesanal, de un total de 50 respuestas, un 98% (49) se1alaron que la consideran como una alternativa real, y solo un encuestado se1ala que no lo es (2%). Entre las razones de considerar la acuicultura de algas como una alternativa de diversificaci3n, la m1s frecuente fue que el cultivo de algas es una fuente alternativa de ingresos (11 veces), existencia de bases tecnol3gicas de cultivo (8 veces) y que falta diversificaci3n de productos con valor agregado (10 veces) (Tabla 3).



Tabla 3.

Frecuencias de motivos porque se considera la acuicultura como real alternativa de diversificación productiva para el sector pesquero artesanal (EMP= Empresa, INV=Investigador y OPA=Organización de pescadores artesanales).

	EMP	INV	OPA	Total
Bajo costo de implementación	2	1		3
Buen precio de algunas especies	1		2	3
Cadena de comercialización no favorece a cultivadores			1	1
Capacidad limitada para desarrollar acuicultura		3		3
Ciclo de producción corto	1	1	3	5
Cultivo puede disminuir explotación de praderas naturales		3	2	5
Deficiencias tecnológicas en los procesos de cultivo	2	2		4
Existencia de bases tecnológicas de cultivo	2	3	3	8
Existencia de demanda permanente	2		1	3
Existencia de praderas naturales	1			1
Existencia de sitios aptos para cultivo	1	3		4
Falta diversificación de productos con valor agregado	1	7	2	10
Fuente alternativa de ingresos	3	4	4	11
Marco regulatorio inadecuado			1	1
Mercado inestable		2		2
No requiere adición de alimento		1		1
No transfiere toxinas de floraciones de algas nocivas	1			1
Potencial de biorremediación		1		1
Potencial de diversificación de productos con valor agregado			1	1
Potencial de mercado local	1		1	2
Potencial uso en biorremediación		1		1
Potencial uso en policultivos		2	1	3
Programas de fomento y desarrollo a corto plazo	1		1	2
Proveedor de servicios ecosistémicos			2	2
Total	19	34	25	78

En cuanto a la pregunta sobre si estarían dispuestos a iniciar un nuevo cultivo de algas, orientado a investigadores y OPA, el 95,1% respondió que sí (39 veces) y un 4,8% respondió de forma negativa debido a que existe un marco regulatorio inadecuado, según un representante de OPA, y que prefiere realizar investigación orientada a la búsqueda de nuevos productos que den valor agregado a las algas, por parte de un investigador. Entre los encuestados que respondieron de forma positiva, las respuestas más frecuentes de los investigadores fueron porque aún existen deficiencias tecnológicas en los procesos de cultivo que hay que subsanar (6 veces), y que la investigación en los cultivos tiene una relevancia para el desarrollo científico tecnológico nacional (5 veces). En tanto los representantes de las OPA señalan que estarían dispuestos a iniciar una actividad de cultivo debido a que existe un potencial de diversificación de productos con valor agregado (4 veces), que



es una fuente de ingresos alternativa (2 veces) y que existen bases tecnol3gicas de cultivo (3 veces), sin embargo, tambi3n se3alan que el marco regulatorio les parece inadecuado (3 veces) (Tabla 6 Anexo 4).

Respecto a las algas de inter3s para cultivo, de un total de 108 respuestas, las especies de algas con mayor inter3s para cultivar son *M. pyrifera* mencionadas 19 veces (17,6%), *G. chilensis* mencionada 16 ocasiones (14,8%), *Lessonia* spp mencionadas 14 veces (13%), *S. crispata* nombrada 12 veces (11,1%), *C. chamissoi* (11 veces, es decir 10,2%) y *G. skottsbergii* (9 veces, un 8,3% del total de respuestas) (Figura 46). Los motivos del inter3s por cultivar estas especies, est3n relacionado con la existencia de demanda permanente (28 veces), su potencial de diversificaci3n en productos con valor agregado, ciclo de producci3n corto (10 veces mencionado) y en el buen precio de mercado de algunas especies de algas (14 veces) (Tabla 7 Anexo 4).

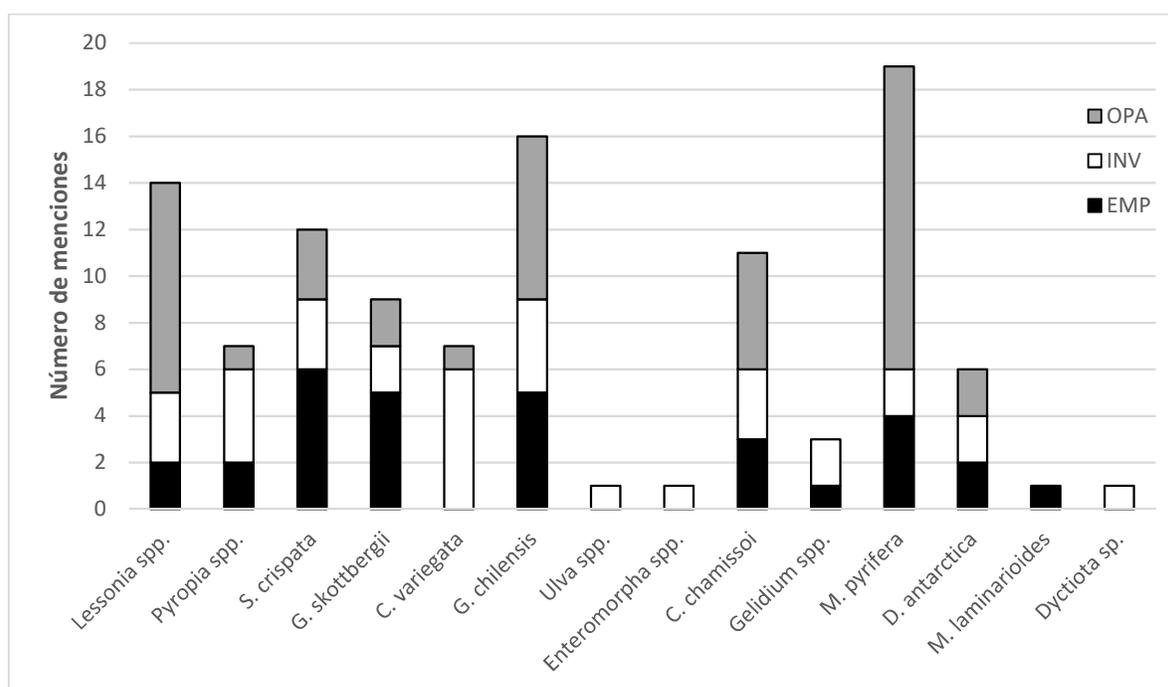


Figura 46. Frecuencia de las principales especies de algas mencionadas en respuesta a la pregunta sobre que algas le interesar3a cultivar. De organizaciones de pescadores artesanales (OPA), investigadores (INV) y empresas (EMP).

Al preguntar por las especies con mayor viabilidad y proyecci3n para masificar su cultivo, de un total de 85 respuestas que inclu3a a "Todas" (2 veces) y a "Ninguna" (1 vez), la mayor frecuencia fue *G. chilensis* (18 veces, es decir un 21,2% de las menciones), *S. crispata* (15 veces, un 17,6%), *M. pyrifera* (14 veces, 16,5%) y *C. chamissoi* (11 veces, 12,9%) (Figura 47). Los encuestados se3alan que las razones m3s frecuentes de la elecci3n fueron: existencia de demanda permanente (21 veces, un 24,7% de las respuestas), la existencia de bases tecnol3gicas de cultivo (16 veces, un



16,8%), potencial de diversificación de productos con valor agregado y potencial para consumo humano directo (11 veces cada una, es decir un 11,6% del total de respuestas) (Tabla 8 Anexo 4).

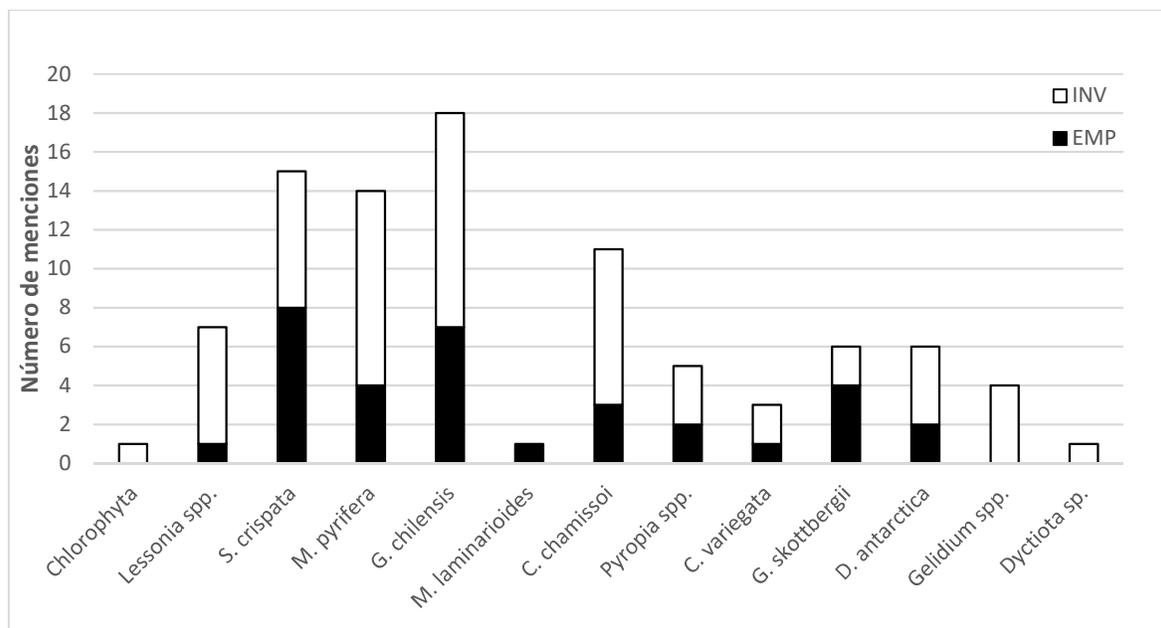


Figura 47. Frecuencia absoluta en la percepción de investigadores (INV) y empresas (EMP), respecto a las especies de algas con mayor viabilidad y proyección para masificar su cultivo.

Entre las técnicas con mayor viabilidad para masificar la acuicultura de algas mencionadas por los encuestados, destaca el cultivo suspendido en long-line (11 veces), 5 encuestados señalaron que la inoculación de esporas sobre sustrato en hatchery y posterior cultivo suspendido en mar es la técnica de cultivo más viable (Figura 48). Las razones principales de estas elecciones son la facilidad de realizarlo (6 veces) y el conocimiento que hay sobre estas técnicas (5 veces) (Tabla 9 Anexo 4).

Respecto al marco regulatorio, de 50 respuestas un 75% (39 encuestados) afirman conocer el marco regulatorio y la tramitación necesaria para iniciar una actividad de cultivo y un 24% (12) lo desconocen. Un 35% de los representantes de OPA, un 32% de representantes de la empresa y solo un 12% de los investigadores dicen desconocer la reglamentación (Figura 49).

De los encuestados que conocen la reglamentación, 18 la consideran “Nada adecuada” (33.3%), 13 “Poco adecuada” (25.6%), 13 “Medianamente adecuada” (28.2%), 3 “Adecuada” (7.8%) y finalmente, solo 2 encuestados como “Muy adecuada” (5,1%) (Figura 50). Las razones principales de estas consideraciones son considerar la reglamentación con burocracia excesiva (25 veces) y marco regulatorio inadecuado (18 veces) (Tabla 10 Anexo 4).

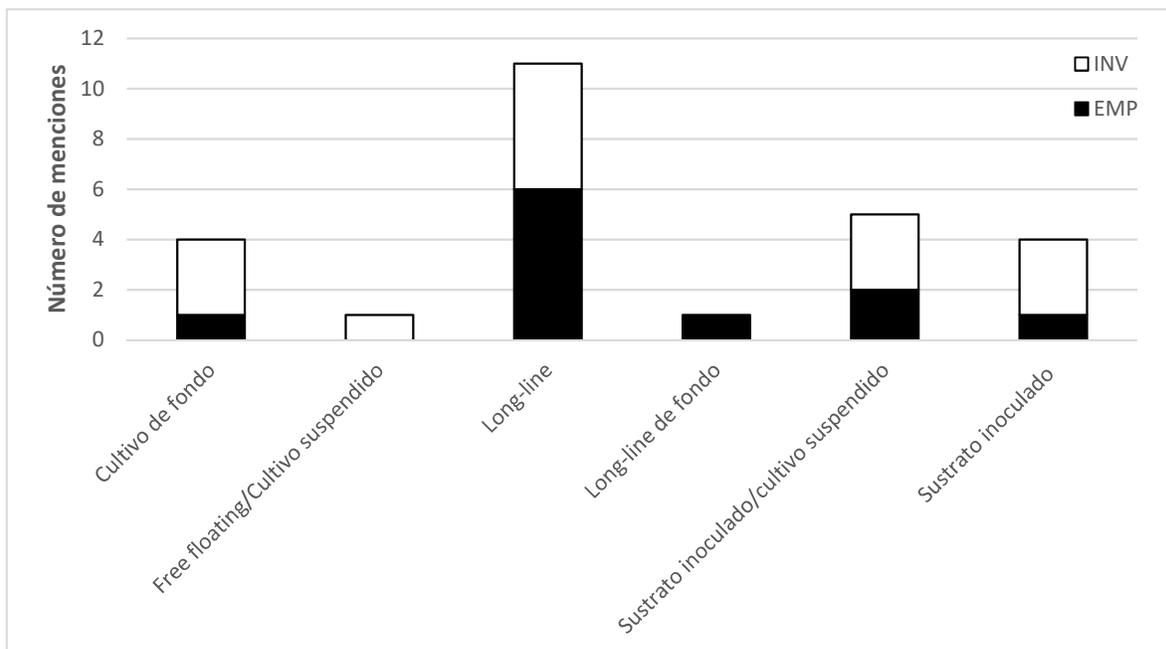


Figura 48. Frecuencia en la elecci3n de los sistemas de cultivo de algas por investigadores (INV) y representantes de empresas del rubro (EMP); que presentarían la mayor viabilidad para masificar la acuicultura de algas.

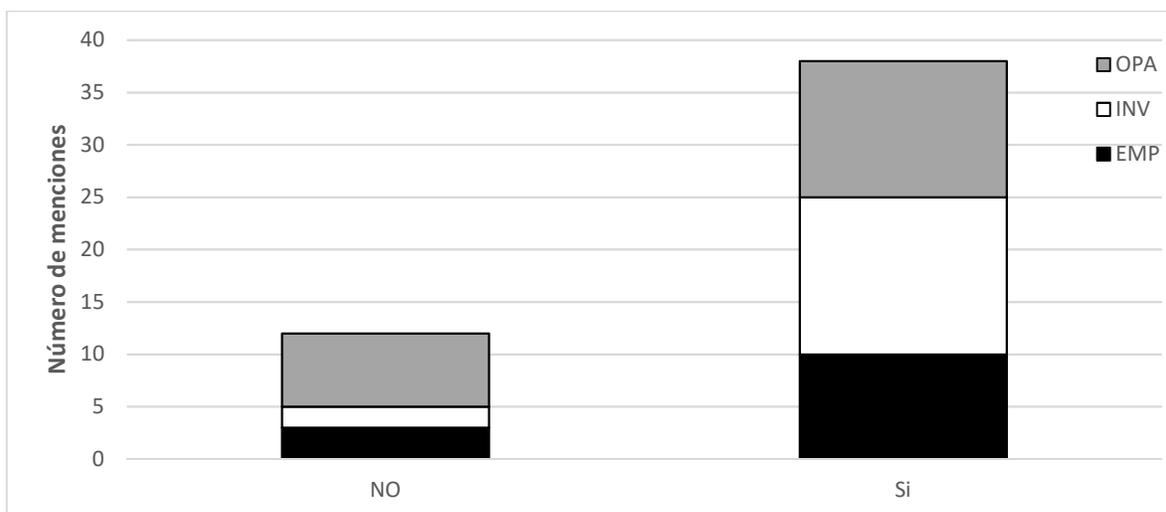


Figura 49. Frecuencia en el conocimiento de la reglamentaci3n y trámites asociados al cultivo de algas por investigadores (INV), organizaciones de pescadores artesanales (OPA) y empresas (EMP).

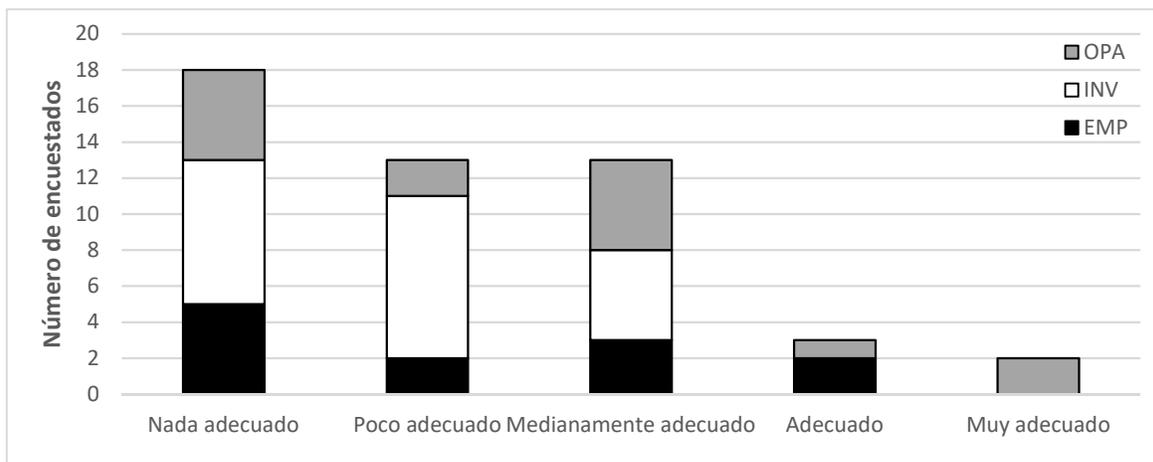


Figura 50. Percepción sobre la idoneidad del marco regulatorio actual para promover y facilitar el desarrollo del cultivo de algas y sus motivos. Investigadores (INV), representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA) y empresas (EMP).

Respecto a la ley de bonificación para repoblamiento y cultivo de algas, de un total de 50 respuestas, un 60% (30 respuestas) señalan conocer la ley y un 40% (20 respuestas) no la conoce. Un 60% de las OPA encuestadas, en un 46,2% de los representantes de empresa y solo el 11,8% de los investigadores señalan no conocer la ley (Figura 51).

De las 33 respuestas afirmativas, un 33,3% (11) lo consideran "Poco adecuado", un 30,3% (10) "Medianamente adecuado", un 15,2% (5) "Adecuado" y 21,2% (7) "Muy adecuado". Cabe señalar que ningún encuestado considero la ley como "Nada adecuada" (Figura 52). Los encuestados señalan que aún hay incertezas en la implementación de esta ley (16 veces) y que el marco regulatorio es aún insuficiente (8 veces) (Tabla 11 Anexo 4).

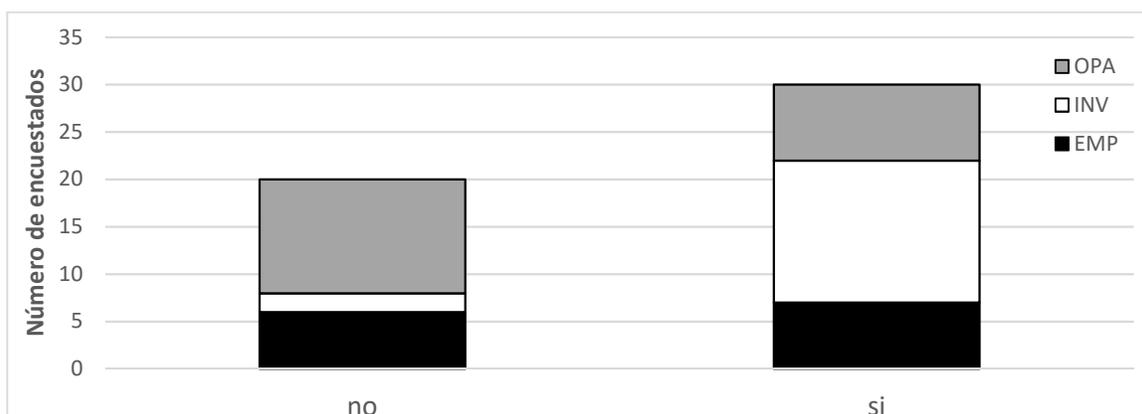


Figura 51. Conocimiento de la ley de bonificación al cultivo y repoblamiento de algas. Investigadores (INV), representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA) y empresas (EMP).

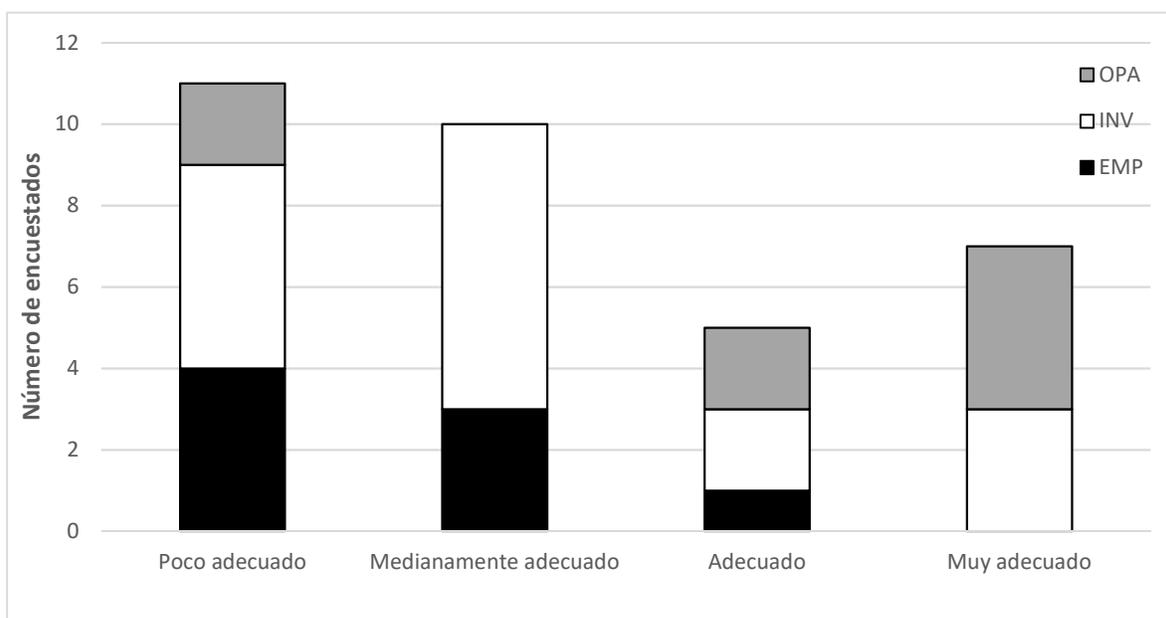


Figura 52. Frecuencia de la percepción sobre la idoneidad de la ley de bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas por Investigadores (INV), representantes de organizaciones de pescadores artesanales (OPA) y empresas (EMP).

Finalmente, al consultar por los aspectos claves para desarrollar cultivos de algas exitosos, las respuestas fueron encasilladas en las siguientes dimensiones para un mejor análisis: Ambiental, Económica, Institucional, Social y Tecnológico. Siendo esta última, la dimensión más mencionada (71 veces), mientras que la dimensión Económica fue considerada 45 veces. Las variables más frecuentes dentro de la dimensión Tecnológica fueron el conocimiento técnico, mayor capacitación a los usuarios y la disponibilidad de plántulas/semillas de calidad. En la dimensión Social, las variables más frecuentes fueron el fortalecimiento de las OPA y el compromiso de ellas con el desarrollo de los cultivos. En la dimensión Institucional, se mencionaron variables relacionadas con la reglamentación, siendo las más frecuentes, mejorar el marco regulatorio, la agilización de trámites, y el apoyo y seguimiento de las iniciativas por parte de las autoridades. En la dimensión Económica, destacan las variables del financiamiento de la actividad, y la generación de demanda. En la dimensión Ambiental, la variable gravitante fue la identificación de áreas aptas para el cultivo (Figura 53).



Figura 53. Aspectos claves para un cultivo exitoso segun representantes de investigadores (INV), organizaciones de pescadores artesanales (OPA) y empresas (EMP).



5.2.3. Resultados análisis multivariado y multicriterio de las encuestas

Análisis FODA

La revisión detallada de la diversidad de respuestas entregadas por los encuestados permitió identificar y definir el significado de 50 factores que reflejaron problemas y oportunidades fundamentales, así como las ventajas y fortalezas existentes en nuestro país para la implementación de la acuicultura y repoblación de algas.

La naturaleza de los factores determinados por las respuestas se ajustó intuitivamente a una ordenación FODA. Este listado de factores e indicadores fue más fácil de agrupar y cuantificar clasificándolos de acuerdo a sus características esenciales como: factores internos - fortalezas y debilidades y factores externos - oportunidades y amenazas. A su vez, estos factores fueron asignados a las dimensiones generales identificadas anteriormente, permitiendo establecer una estructura jerárquica que facilita su interpretación (Figura 54).

Factores Internos. Fortalezas

1. **Baja inversión inicial:** Se requiere relativamente poca biomasa para comenzar un cultivo. A su vez, la infraestructura y materiales de cultivo tienen un costo relativamente bajo si se compara con otros modelos de cultivo como el de salmónidos. Lo anterior implica una inversión comparativamente baja para comenzar un cultivo.
2. **Ciclos de producción corto:** Las altas tasas de crecimiento de algunas especies (e.g., *M. pyrifera*, *C. chamissoi*, *G. chilensis* y *S. crispata*) permiten un retorno económico en un tiempo relativamente corto, lo que además permite más de una temporada de cosecha por ciclo productivo.
3. **Fuente alternativa de ingresos:** La actividad es reconocida en forma general como una fuente alternativa y complementaria de ingresos económicos para pescadores artesanales, aumentando su oferta de productos.
4. **Técnica de cultivo simple:** Técnicas de cultivo (e.g., cultivo directo vegetativo, long-lines), obtención de semillas de macroalgas, siembra, crecimiento y cosecha son fáciles de realizar. Así mismo, técnicas más avanzadas de cultivo en hatchery, aunque requieren entrenamiento especial, son fácilmente transferibles a los usuarios.
5. **Algas de cultivo poseen mejor calidad:** Algas en cultivo han mostrado mejoras en rendimiento y calidad, por ejemplo, respecto a ficocoloides de algas de praderas naturales (e.g., *S. crispata* y *G. chilensis*). Además, se han demostrado diferencias en germinación y el crecimiento (Bulboa et al. 2013, Hayashi et al. 2014).
6. **Tecnología de cultivo disponible:** La literatura disponible y el juicio de expertos evidencia la existencia de suficiente conocimiento científico-tecnológico para la producción de varias especies comerciales (e.g., hatchery, cultivo en mar, domesticación). También se han desarrollado esfuerzos para el escalamiento de cultivo en long-lines a escala comercial para especies como *M. pyrifera* y *G. chilensis*. *G. chilensis* ha sido cultivada a gran escala (Cultivo directo vegetativo) tradicionalmente en Chile (Santelices 1996, Buschmann et al. 2001, Buschmann et al. 2008).
7. **No requiere fuentes de alimento externo:** La acuicultura de algas corresponde a un cultivo del tipo extensivo que no requiere de un suplemento energético exógeno para su crecimiento (Folke et al. 1998). De esta manera, el costo energético de la producción de biomasa es bajo para el ecosistema comparado con la producción de mitilidos y salmones.



8. **Provee servicios ecosist3micos:** Las algas proporcionan m3ltiples servicios ecosist3micos, tales como suministro de ox3geno, reservorio de carbono y antioxidantes naturales, extracci3n de nutrientes inorg3nicos (e.g., P y N) y metales pesados disminuyendo la eutrofizaci3n y contaminaci3n costera (Buschmann et al. 2001, Buschmann et al. 2013). Algas pardas son estructurados de h3bitats facilitando el desarrollo y la permanencia de las comunidades biol3gicas costeras (Graham 2007, Almanza et al. 2012).
9. **No transfieren toxinas de floraciones de microalgas nocivas:** Macroalgas no acumulan ni transfieren toxinas generadas por FAN (e.g., *Alexandrium catenella*) a otros eslabones tr3ficos como ocurre con especies filtradoras.
10. **Especies se adaptan a un amplio rango de condiciones ambientales:** Dada la gran variedad ambiental de la costa de Chile, especies como *M. pyrifera* y *G. chilensis* presentan plasticidad fenot3pica maximizando su desempe1o bajo variadas condiciones ambientales permitiendo su cultivo en un amplio rango geogr3fico.

Factores Internos. Debilidades

11. **Falta de escalamiento productivo:** El desarrollo de cultivos a gran escala en casi todas las especies es a3n limitado, con la excepci3n de *G. chilensis* y algunos intentos de escalamiento productivo para *M. pyrifera* en el sur de Chile.
12. **Bajo nivel de asociatividad entre cultivadores:** Bajo nivel o falta de organizaci3n y asociaci3n a nivel nacional entre pescadores artesanales y peque1os productores de macroalgas para enfrentar desaf3os, tales como cadena de producci3n, precios, comercializaci3n y calidad de productos.
13. **Falta de estudios bio-econ3micos:** La parametrizaci3n econ3mica que cuantifique costos de inversi3n, retornos y mercados de nuevos cultivos es escasa (e.g., an3lisis costo-beneficios, modelos bio-econ3micos), especialmente para especies nuevas. Esto puede desincentivar la inversi3n.
14. **Bajo desarrollo de productos con valor agregado:** La actividad nacional se centra en la generaci3n y exportaci3n de materia prima de bajo precio y no en el desarrollo de productos con valor agregado que mejoren los retornos econ3micos. Adem3s, no existe una pol3tica de estado para su desarrollo.
15. **Abastecimiento deficiente de semillas de calidad certificada:** No existe una red de producci3n de semillas de algas a nivel nacional que satisfaga la potencial demanda y que cuente con certificaci3n de calidad. La producci3n de semillas es deficiente en capacidades instaladas (i.e., hatchery) y vol3menes de producci3n y est3 centrada en la regi3n de Los Lagos (sur) y en las regiones de Atacama y Coquimbo (norte chico).
16. **Deficiencias tecnol3gicas en procesos de cultivo:** Existe incertidumbre sobre procesos espec3ficos del cultivo tales como, tiempo 3ptimo de cosecha, t3cnica de cosecha 3ptima, manejo de reproductores, manejo de pestes, epifitismo, selecci3n y mejoramiento de cepas, domesticaci3n, as3 como, gen3tica aplicada a la producci3n.
17. **Falta de infraestructura adecuada:** En muchos casos los potenciales cultivadores no cuentan con la infraestructura de cultivo adecuada tanto para establecer los cultivos en el mar y hatchery, ni infraestructura secundaria, tales como muelles, instalaciones para el secado y acopio de la biomasa.
18. **Baja participaci3n en programas de capacitaci3n:** Existe, de manera general, una baja participaci3n de potenciales cultivadores (e.g., pescadores artesanales) en programas o actividades de capacitaci3n orientadas al desarrollo de cultivo de algas.
19. **Ciclo de producci3n largo para algunas especies:** Bajas tasas de crecimiento de algunas especies (e.g., *Lessonia* spp., *G. skottsbergii*, *C. variegata*) desincentivan el desarrollo de su cultivo.



- 20. Capacidad limitada de desarrollar acuicultura:** Muchas OPA no poseen un capital humano especializado y capital social organizacional (o es limitado aún), lo que dificulta la adopción tecnológica que implica el desarrollo exitoso de los cultivos. Además, se sugiere una baja apropiabilidad de las prácticas de la acuicultura, existiendo una percepción general de que muchas de las OPA no desarrollan una cultura de cultivo en donde la mantención y el monitoreo constante, como en otras ramas de acuicultura, son necesarias para obtener resultados económicos en el mediano plazo en vez de ingresos inmediatos, característica de otras actividades pesqueras. Esto ha llevado al fracaso o mal funcionamiento de experiencias de cultivo desincentivando la participación.

Factores externos. Oportunidades

- 21. Existencia de demanda permanente:** El mercado actual de ficocoloides sigue expandiéndose (Bixler & Porse 2011, Hayashi et al. 2014) por lo que hasta hoy existe demanda permanente de materia prima.
- 22. Desarrollo potencial de productos con valor agregado:** Posibilidad de desarrollar diversos productos derivados de algas en nuestro país. Existe a nivel mundial desarrollo de productos tan diversos como: suplementos alimenticios, subproductos farmacéuticos, biocombustible, compuestos para baterías y aplicaciones industriales (Chisti 2007, Kovalenko et al. 2011, Wargacki et al. 2012, Lorbeer et al. 2013), que ejemplifican la oferta de productos derivados que pueden dar valor agregado a la materia prima.
- 23. Potencial para consumo humano:** Existe un potencial de mercado para el consumo humano directo de algas que puede ser abastecido con especies como *D. antarctica*, *Pyropia* spp y *C. chamissoi*.
- 24. Buen precio de algunas especies:** Algunas especies pueden alcanzar precios convenientes para incentivar su cultivo por parte de pescadores artesanales que han centrado su actividad en la explotación de praderas naturales.
- 25. Cultivo puede disminuir explotación de praderas naturales:** La generación de biomasa desde cultivos podría suplir la demanda actual del mercado y mejorar la calidad de la materia prima, además de disminuir la presión de explotación en praderas naturales.
- 26. Ley incentiva la acuicultura de macroalgas:** La implementación de una ley que promueva específicamente el cultivo de algas puede fomentar el desarrollo de cultivos en el sector artesanal y pequeños productores de CCAA.
- 27. Potencial desarrollo de un mercado local:** Se reconoce la existencia de oportunidades para insertar productos derivados de cultivos de algas en el mercado local nacional.
- 28. Potencial para repoblación de praderas naturales:** La generación de biomasa desde cultivos puede aumentar la disponibilidad de semillas para acciones de repoblación de ambientes impactados o incrementar el aporte de propágulos desde los sitios de cultivo.
- 29. Potencial desarrollo de policultivos:** Los cultivos de algas de interés comercial pueden ser integrados en policultivos o cultivos multi-específicos y constituirse en una alternativa de diversificación para la APE.
- 30. Potencial de biorremediación:** Existe evidencia científica de que algas en cultivo suspendido o en estanques pueden utilizar nutrientes de desechos producidos por otras actividades de acuicultura, reduciendo la eutrofización costera y los problemas asociados (Troell et al. 1999, Chopin et al. 2001, Buschmann et al. 2008).
- 31. Existencia de sitios aptos para cultivo:** El país cuenta con una costa privilegiada para la acuicultura con alrededor de 80,000 km de costa incluyendo líneas costeras insulares (Häusermann & Försterra, 2009) con gran diversidad de ambientes expuestos y protegidos que albergan a su vez ecosistemas altamente productivos



- 32. Relevancia para el desarrollo científico y tecnológico del país:** En el contexto nacional y mundial la acuicultura de algas es considerada como un polo de desarrollo en expansión (Buschmann et al. 2001, Buschmann et al. 2013, Hayashi et al. 2014), por lo tanto, estudios sobre biología, fisiología, reproducción, fenología, genética y finalmente biotecnología son de relevancia para el desarrollo científico tecnológico del país en el contexto mundial.
- 33. Actividad puede ser liderada por ambos géneros:** La recolección de algas ha sido tradicionalmente desarrollado por mujeres, por lo tanto, el cultivo podría significar un polo de desarrollo laboral para las mujeres que pertenecen a OPA.

Factores externos. Amenazas

- 34. Programas de fomento y desarrollo de corto plazo:** Los programas de fomento y desarrollo de la acuicultura de algas que involucran investigación básica, investigación aplicada, desarrollo de cultivos piloto, capacitación y monitoreo han sido de corto plazo. Se requiere en cambio, estudios, capacitación y seguimiento a largo plazo para fortalecer definitivamente la transferencia de tecnología y prácticas de cultivo a nivel nacional
- 35. Falta de subsidios para incentivar cultivo de algas:** Existe una percepción de que instancias de financiamiento para incentivar la acuicultura de algas, por parte del estado y las empresas, son escasas.
- 36. Marco regulatorio inadecuado:** Existe una percepción de que las bases sobre las cuales se pretende desarrollar la acuicultura de algas (i.e., la combinación de estatutos, regulaciones, leyes y la práctica real) no es capaz de relacionar armónicamente las interacciones, obligaciones, el alcance y la naturaleza de la participación de las distintas entidades que la componen, así como, la interacción de las dimensiones en la cual la actividad ocurre (i.e., económico, tecnológico, social, institucional y ambiental).
- 37. Exceso de burocracia:** El proceso de obtención de permisos de acuicultura es percibido, por la mayoría de los usuarios, como engorroso, oneroso, largo y confuso.
- 38. Incerteza en la implementación de la ley de bonificación:** Existe una percepción de que la ley no es adecuada para promover el desarrollo de la acuicultura de algas.
- 39. Falta de identificación de sitios aptos para cultivo:** No existen estudios sistemáticos que identifiquen zonas y sitios que presenten las condiciones bio-físicas óptimas para el desarrollo de cultivos de las diversas especies de algas.
- 40. Mercado inestable:** Demanda y precios de algas es fuertemente afectada por la oferta del mercado internacional, especialmente el asiático.
- 41. Calidad deficiente de capacitaciones:** Existe una percepción desfavorable de la efectividad y calidad de las capacitaciones que promueven la acuicultura de algas.
- 42. Baja asociatividad Empresa-OPA-Estado:** Existe una percepción de que esfuerzos coordinados entre aquellos que proveen del recurso alga, aquellos que lo compran y las instituciones estatales que administran y regulan el uso de los recursos no favorece el desarrollo exitoso de la actividad.
- 43. Materia prima de escaso valor.** al proveniente de praderas naturales, desincentivando la inversión en los cultivos, aun cuando el producto de cultivo pueda ser de mejor calidad.
- 44. Falta de políticas educativas orientadas a la acuicultura:** No existe una aproximación a nivel país para integrar desde la política educativa y formativa el conocimiento existente, así como el uso sustentable de recursos promoviendo el cultivo de algas como una instancia de desarrollo real para sectores vulnerables de la sociedad (e.g., comunidades costeras, pescadores artesanales).



45. **Cadena de comercialización no favorece a cultivadores:** La cadena de comercialización con diversos agentes intermediarios involucrados implica un bajo precio de compra a los productores.
46. **Pobre difusión de las regulaciones:** Existe la percepción de que no hay instancias participativas, extensivas y permanentes para la divulgación de la actual regulación, lo que lleva a un estado de desconocimiento e incertidumbre por parte de los usuarios.
47. **Existencia de praderas naturales:** La accesibilidad a praderas naturales de algas aún viables, y la facilidad que involucra su explotación, constituyen un desincentivo para la inversión en cultivo en términos de costo, esto ha generado una presión de cosecha que puede llevar a la sobreexplotación de las praderas (e.g., *Lessonia* spp. en el norte de Chile).
48. **Falta de estudios interacción cultivo-ambiente:** No existen estudios respecto de la variabilidad ambiental (e.g., calentamiento global, ENSO, FAN) sobre la productividad de los cultivos. Por otro lado, tampoco existen estudios sobre el efecto de la acuicultura de algas en el ambiente (ver Buschmann et al., 2014).
49. **Falta de información pública de beneficios de algas para la salud:** No existen programas de difusión permanentes sobre los beneficios nutricionales, ambientales y sociales asociados al consumo y cultivo de algas.
50. **Falta de difusión de instancias de financiamiento:** No existe claridad, por parte de los usuarios, sobre las posibilidades de financiamiento y apoyo estatal para el desarrollo de proyectos de cultivo de algas.

La prioridad relativa de los factores internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas) incluidos en el FODA se muestran en las Figuras 55 y 56.

Las mayores fortalezas identificadas por los encuestados (Figura 55) fueron que la acuicultura de algas es ampliamente reconocida por tener una base tecnológica disponible relativamente confiable (84% de los encuestados). Mientras que ciclos de producción corto y el reconocimiento de que la acuicultura de algas constituye una fuente alternativa de ingresos fue reconocido por el 34% de los encuestados. Baja inversión inicial (14%) y técnicas de cultivo simples (12%) fueron también percibidas como fortalezas de esta actividad. Además, la percepción de que la acuicultura de algas provee servicios ecosistémicos (producción de oxígeno, retención de nutrientes, y carbono, etc.), las algas provenientes de cultivo tienen mejor calidad, y el hecho de que no transfiere toxinas producidas en blooms de microalgas tóxicas fueron otras ventajas competitivas reconocidas por los encuestados (mencionadas por 10%, 8% and 6 %, respectivamente).

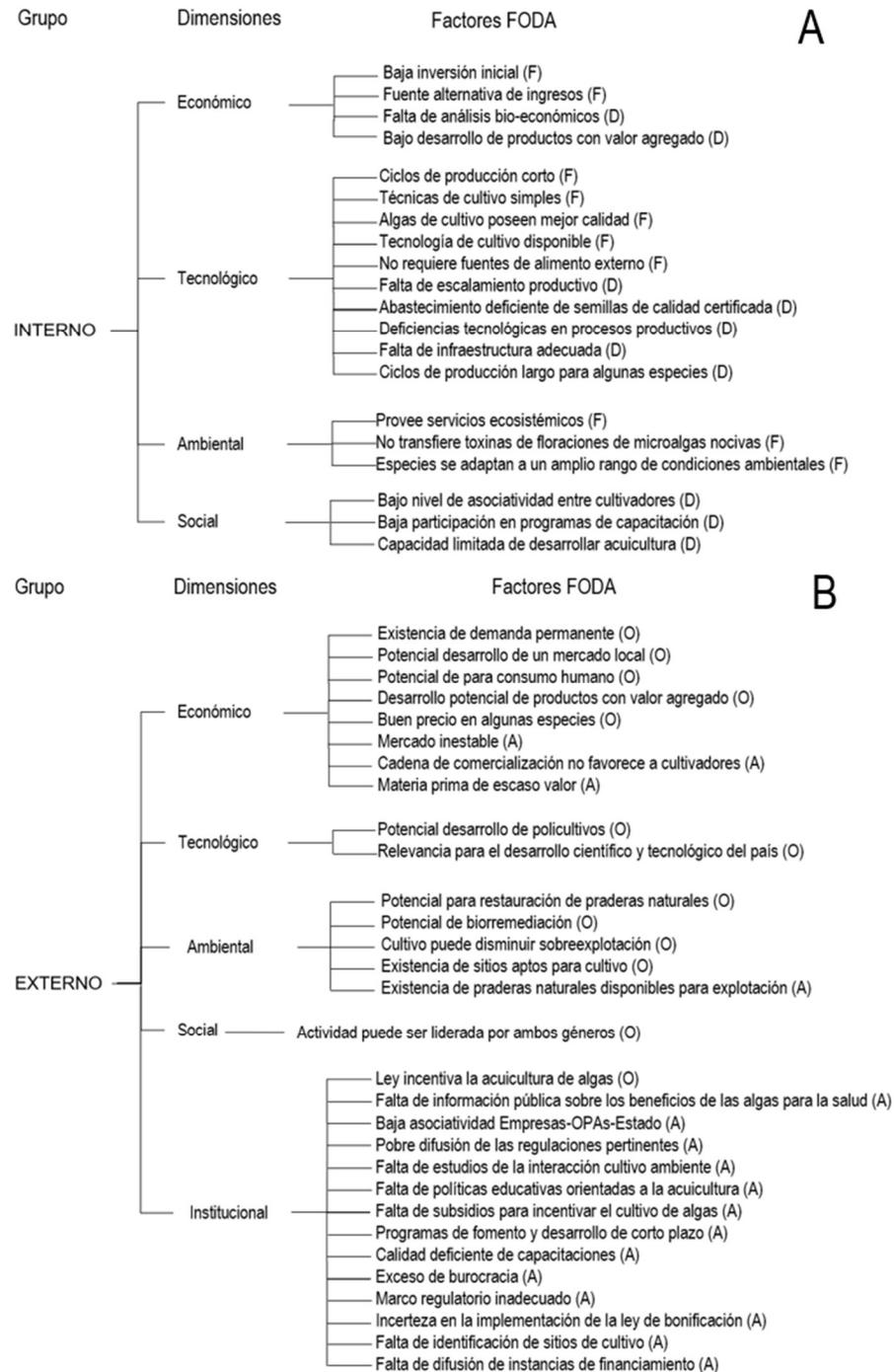


Figura 54. Estructura jer3rquica de factores (A) internos y (B) externos del an3lisis FODA. F = fortalezas, D = debilidades; O = oportunidades, A = amenazas.



En cuanto a las debilidades (Figura 55), el 64% de los encuestados sugirió que la falta de escalamiento productivo a niveles comerciales en la mayoría de las especies, es una de las debilidades más significativas para la acuicultura de algas en nuestro país. Adicionalmente, la baja asociatividad entre cultivadores y el reducido número de análisis bio-económicos también fueron mencionados como debilidades por el 34% y 32% de los encuestados, respectivamente.

Así mismo, el 28% percibe que el bajo desarrollo de productos con valor agregado corresponde una debilidad importante para iniciativas a pequeña escala. Aunque la tecnología de cultivo disponible fue mencionada anteriormente como una de las fortalezas, el 20% de indicó que aún existen deficiencias en las tecnologías de cultivo. Un número similar indicó que el abastecimiento de semillas de calidad certificada es deficiente si se pretende facilitar las futuras operaciones de cultivo a pequeña escala.

El análisis de los factores externos (oportunidades y amenazas, Figura 56), mostró que el 58% de los expertos mencionaron que la existencia de una demanda de materia prima permanente, es la mayor oportunidad para la actividad, dado que garantiza un intercambio comercial relativamente confiable. Además, el potencial de desarrollo de productos con valor agregado y el uso de algas de cultivo en alimentación humana, también fueron indicados como oportunidades importantes por el 52% y el 30% de los encuestados, respectivamente. Adicionalmente, un 30 % consideró que algunas especies alcanzan buen precio, lo que aumenta su atractivo de cultivo. La oportunidad de disminuir el estado de explotación de praderas naturales a través de acuicultura de algas y repoblación fue mencionada por el 22% de los encuestados. De igual manera, se reconoció como una oportunidad, que la ley de bonificación realmente favorece e incentiva el desarrollo de la acuicultura de algas (18%) y esto podría promover el crecimiento de un mercado local (16%). La premisa de que esta ley puede aumentar iniciativas de repoblación y restauración fue mencionado por el 14%. Otras oportunidades interesantes que emanaron de las opiniones de los encuestados fueron el potencial de desarrollo de policultivos (12%) y biorremediación (10%).

Las amenazas estuvieron principalmente compuestas por factores institucionales que fueron reconocidos por todos los grupos de encuestados (Figura 56). Programas de fomento y desarrollo para investigación y capacitación de corto plazo, fue percibido como la amenaza más importante (50% de los encuestados), mientras que, la falta de subsidios para incentivar la acuicultura de algas fue indicada por el 48%. Un marco regulatorio percibido como inadecuado (44%) y el exceso de burocracia (38%), que a su vez llevan a la incertidumbre sobre el desempeño futuro de la nueva ley (26%) también aparecieron como amenazas importantes. Por otro lado, los encuestados expresaron que la falta de identificación de sitios óptimos de cultivo (26%) y un mercado inestable (24%), también corresponden a amenazas externas. Finalmente, calidad deficiente de los programas de capacitación (20%) y falta de una red de cooperación (e.g., inversionistas, OPA, gobierno) y bajo precio de la materia prima fueron percibidas como amenazas constantes para el desarrollo de la acuicultura de algas (ambas con un 16%).

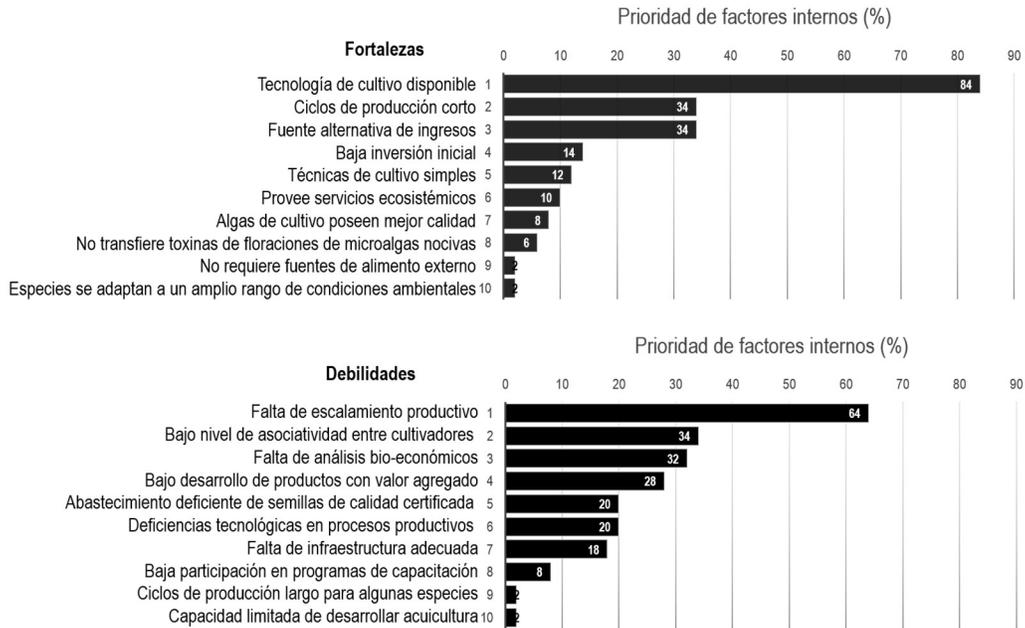


Figura 55. Frecuencia relativa de la preferencia de los encuestados (Prioridad) respecto a factores internos (Fortalezas y Debilidades) para la implementación de acuicultura de algas.

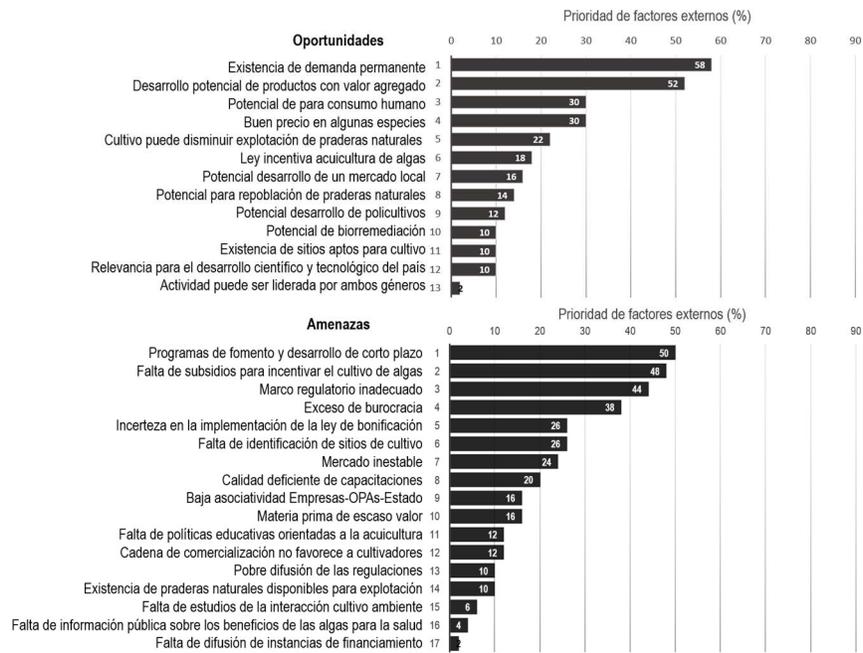


Figura 56. Frecuencia relativa de la preferencia de los encuestados (Prioridad) respecto a factores externos (Oportunidades y Amenazas) para la implementación de acuicultura de algas.



Análisis de procesos jerárquicos (AHP)

Los resultados del análisis AHP sugieren que no existe una dimensión que destaque significativamente respecto de las otras (Figura 57 A). Sin embargo, los vectores de prioridad fluctuaron entre 0.14 – 0.24 permitiendo establecer un orden de importancia. Aparentemente la dimensión Económica fue la más importante para la implementación de la acuicultura de algas (0.24) seguido por las dimensiones Social y Tecnológica (~0.21), mientras que la dimensión Ambiental (0.19) y la Institucional (0.15) representaron la prioridad promedio más baja. Este análisis también sugiere leves diferencias entre grupos de encuestados, donde OPA y empresas priorizan las distintas dimensiones de manera más similar (Figura 57 B y C). Para estos grupos las dimensiones Económica y Tecnológica son más relevantes, mientras que las Económica y Social mostraron ser los más prioritarios para los investigadores (Figure 57 D). Sin embargo, considerando la prioridad promedio de todos los grupos no hubo diferencias substanciales entre dimensiones.

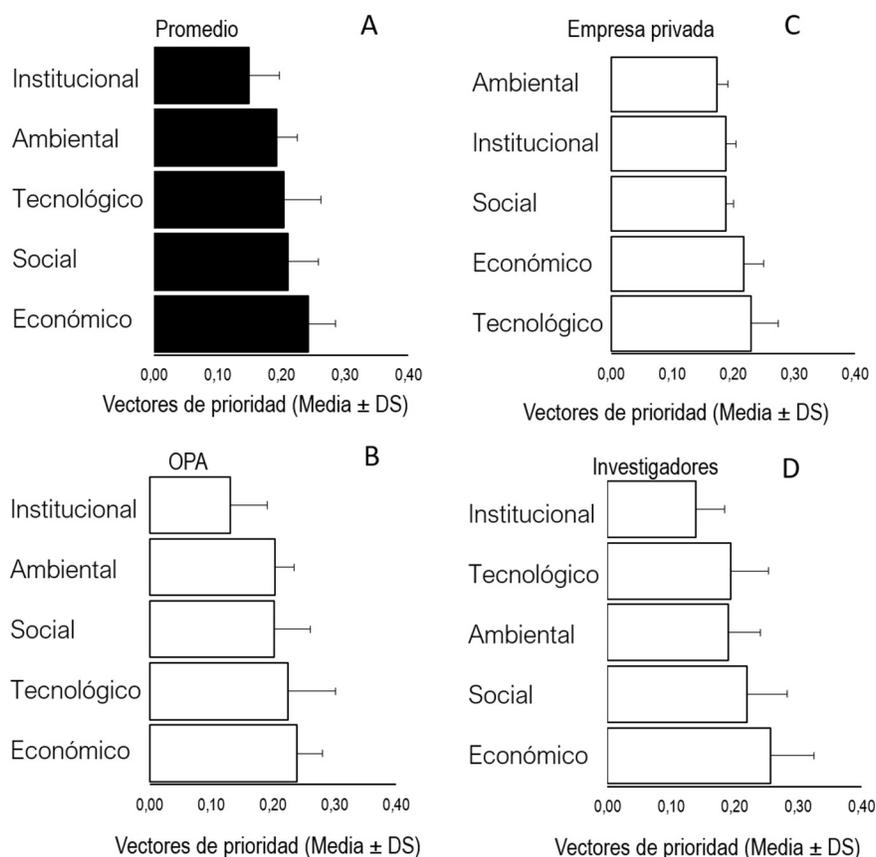


Figura 57. Prioridad de las dimensiones generales del proceso de cultivo y repoblación de algas por grupos de encuestados. Los valores se muestran como vectores de prioridad promedio (\pm DS). A) Promedio total (N=30). B) OPA (N=10), C) Empresa (N=5); D) Investigadores (N=5).



Análisis híbrido (FODA-AHP)

Se observó gran dispersión entre las dimensiones que operan sobre la acuicultura de algas como se muestra en el gráfico de coordenadas (Figura 58).

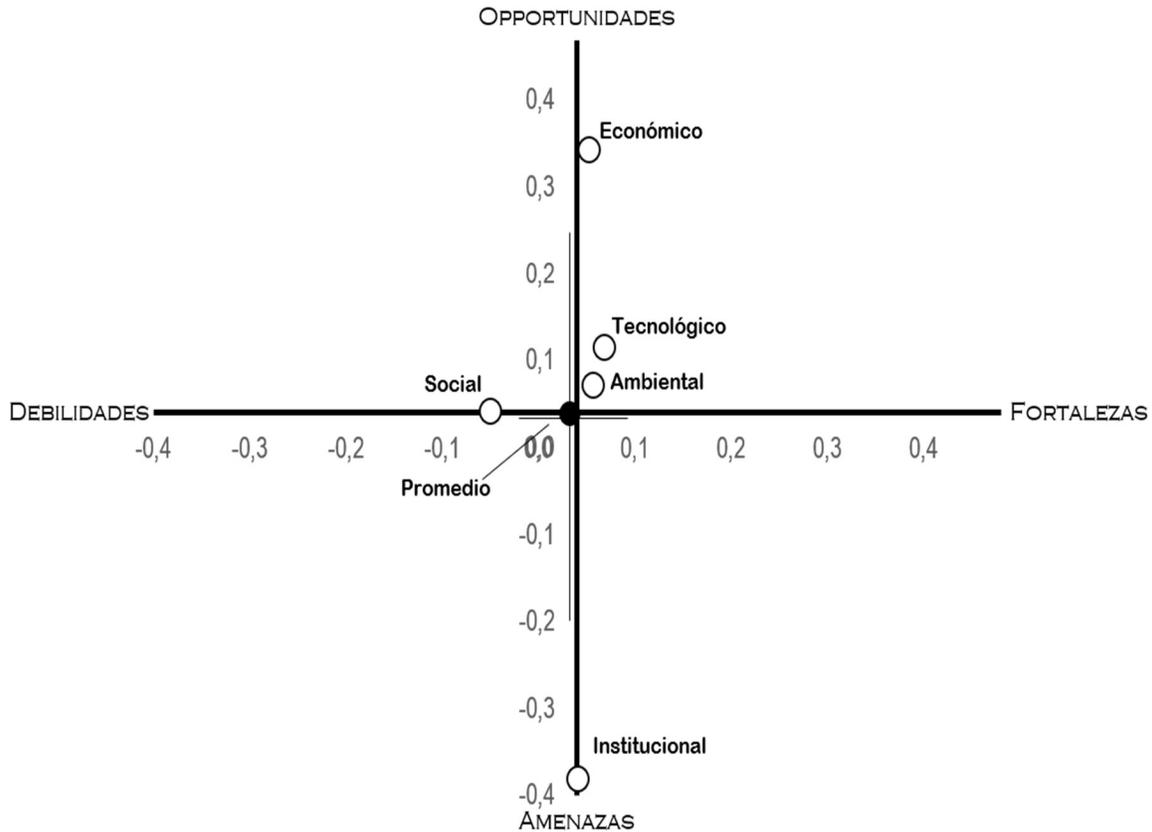


Figura 58. Gráfico de coordenadas del análisis SWOT — AHP sobre la acuicultura de algas en Chile. El círculo negro muestra el valor de coordenadas promedio (\pm DS) considerando todas las dimensiones. Los círculos blancos corresponden a las dimensiones evaluadas. Eje-y representa las Oportunidades y Amenazas, mientras que el eje-x las Fortalezas y Debilidades

En general, las dimensiones Económica, Tecnológica y Ambiental estuvieron ampliamente mejor posicionadas que las dimensiones Social e Institucional. Estas brechas entre dimensiones interrelacionadas dentro de un sistema, podrían significar una disminución en el impacto que la ley de bonificación pretende alcanzar (i.e., desarrollo de la acuicultura de algas). De esta manera, el valor promedio, que representaría el estatus general del país para el desarrollo e implementación de la acuicultura de algas quedó posicionado ligeramente en el lado de las debilidades y amenazas del FODA. Este patrón fue claramente influenciado por efecto de las dimensiones Social e Institucional. La dimensión Económica, la más relevante de acuerdo al análisis AHP, apareció bien posicionada a lo largo del eje de las oportunidades (i.e., eje y), la cual estuvo caracterizada por poseer diversas



fortalezas y oportunidades. Sin embargo, las debilidades, liderado por la falta de análisis bio-económicos y la falta de productos con valor agregado, contrarrestó las fortalezas y oportunidades económicas intrínsecas disminuyendo su posición a lo largo del eje de las fortalezas (i.e., eje x). Las dimensiones Tecnológica y Ambiental, también presentaron un balance positivo al quedar posicionadas sobre el cuadrante de las fortalezas y oportunidades. La dimensión Tecnológica fue promovida por la presencia de bases tecnológicas de cultivo, ciclos de producción cortos y técnicas simples de cultivo, factores que pueden asegurar la implementación a pequeña escala a pesar de la escasa experiencia en escalamiento productivo, inseguridad en el abastecimiento de semillas y algunas falencias en las tecnologías de cultivo. Ambientalmente, los beneficios ecosistémicos del cultivo de algas y la buena calidad de sitios para cultivo parecen, a su vez, fortalecer la implementación de las actividades de acuicultura a pesar de que la presencia de praderas naturales disponibles y la falta de identificación de sitios óptimos fueron establecidos como factores negativos. Por otro lado, la dimensión Social, aunque de menor importancia de acuerdo al análisis AHP (Figura 58), se posicionó dentro del cuadrante de las debilidades, probablemente debido a la baja asociatividad entre cultivadores, baja participación en programas de capacitación y la falta de políticas educativas en torno a la acuicultura de algas. La situación más preocupante fue observada con la dimensión Institucional posicionada ampliamente dentro de las amenazas. Esta tendencia negativa estuvo promovida por la existencia de programas de financiamiento a corto plazo, un marco regulatorio percibido como inadecuado, un exceso de burocracia y la incerteza de la implementación efectiva de la ley de bonificación, entre otras.

Análisis multivariado

La ordenación de componentes principales (PCO) mostró que una limitada porción de la variabilidad pudo ser explicada por los dos primeros ejes (18% de la variabilidad total) evidenciando la gran variabilidad alcanzada por los datos (Figura 59). Los factores mejor correlacionados y que explican tal patrón de dispersión fueron: 1) las deficiencias tecnológicas en los procesos de cultivo (Dimensión Tecnológica), 2) el potencial de consumo humano directo (Dimensión Económica), 3) la burocracia excesiva (Dimensión Institucional), 4) el marco regulatorio inadecuado (Dimensión Institucional), y 5) la presencia de programas de fomento y desarrollo a corto plazo (Dimensión Institucional). Esta tendencia es consistente con los resultados previos del análisis FODA.

A pesar de la amplia dispersión en los datos, se observaron diferencias significativas entre las distribuciones que representaron las opiniones de los distintos grupos de expertos encuestados (Tabla 4). El análisis *a posteriori* mostró que las opiniones de los investigadores presentaron mayores diferencias respecto de las OPA y los representantes de las empresas ($t = 1,7$, $p < 0,05$, $t = 1,6$, $p < 0,05$, respectivamente), comparado con estos dos últimos grupos entre sí ($t = 1,5$, $p < 0,05$) (Tabla 4). Estos resultados son consistentes con lo que sugiere el AHP (Figura 58).

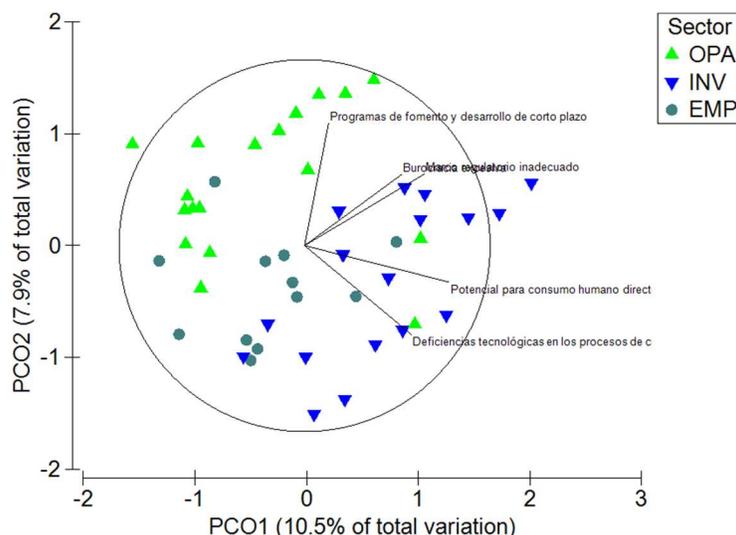


Figura 59. Ordenación de componentes principales (usando distancias Euclidianas) para la distribución de datos agrupado por especialidad de los expertos encuestados (18% de las variaciones explicadas). Los vectores muestran una correlación de Spearman ($r > 0.6$) para los factores mejor correlacionados con los dos primeros ejes (el círculo indica un radio de $r = 1$).

Tabla 4.

Análisis de varianza permutacional (PERMANOVA) para grupos de expertos encuestados.

Fuente de variación	df	SS	MS	Pseudo-F	p	Permutaciones
Especialidad	2	36	18	2,7	> 0.01	4643
Residual	44	295	6,7			
Total	46	331				

5.3. Propuesta de zonificación para el desarrollo de acuicultura y/o repoblación de algas en Chile

5.3.1. Catastro y caracterización de capacidades de producción de algas en Chile

En la Tabla 5 y Figura 60 se identifican para el territorio nacional los hatcheries o laboratorios y su capacidad de producción de algas, tanto cualitativa (tipo de recursos) como cuantitativa (métrica de capacidad de producción por recurso).

- En la Región de Arica y Parinacota, no se identifican instituciones (privadas, públicas o de investigación) con capacidades para la producción de semillas de algas con fines de cultivo o repoblación.
- En la región de Tarapacá, se identifica el hatchery de la Universidad Arturo Prat, ubicado en el sector Huaiquique de la comuna de Iquique, que cuenta con capacidades de producción para *L.*



trabeculata y *L. berteroana*. Por otro lado, se identifica un hatchery perteneciente a la Fundación Almirante Carlos Condell, ubicado en el sector Caleta Bajo Molle, dedicado a fines pedagógicos para la producción de algas (*G. chilensis* y *Macrocystis* spp), el que se encuentra debidamente inscrito en el RNA.

- En la región de Antofagasta, se identifican capacidades de producción en hatchery asociadas a la empresa Algas Marinas para *G. chilensis*. El hatchery operado por esta empresa tiene capacidad de producción de cuerdas inoculadas con esporas (54.000 metros lineales al año) como cuerdas inoculadas con material vegetativo de pelillo. En relación a este último tipo de cuerdas, es necesario mencionar que cada cuerda tiene 20 m de largo y está inoculada con 2,5 kg de biomasa F1 de pelillo. En base a la capacidad productiva instalada en esta empresa (3 operarias por turno; 3 turnos), anualmente se estima una producción de 202.500 cuerdas de 20 m cada una, aproximadamente (es decir 4.050.000 m año⁻¹) (Nelson León, com. pers). Por otro lado, se identifica un hatchery para producción de algas no clasificadas perteneciente a la Universidad de Antofagasta.
- En la región de Atacama se han identificado capacidades productivas para *M. pyrifera* y *L. trabeculata* en el centro de investigación CRIDESAT, asociado a la Universidad de Atacama, en la empresa Camanchaca, y en Cultivos Marinos San Cristóbal. Llama la atención que en esta última empresa se logró catastrar además una autorización para producción de algas carragenófitas (luga negra, luga roja y luga cuchara).
- En la región de Coquimbo se identifican capacidades productivas asociadas a la Universidad Católica del Norte (UCN), Cultivos Marinos San Cristóbal, y la Municipalidad de Coquimbo. Para la UCN (David Yañez, com. pers) se identifican capacidades de producción en *C. chamosoi* y *M. pyrifera*. En el caso de *C. chamosoi*, la capacidad productiva instalada permite una producción de 24.000 unidades de inoculación anuales. Una unidad de inoculación es una malla sintética, generalmente del tipo usada para envasar ajos, que contiene en su interior un inóculo de alga de 6 g fijado a este sustrato. Esta unidad de inoculación mide aprox. 1 m. Un batch de producción toma aproximadamente 60 días. Para huiro se estima una capacidad de producción de 6.300 metros lineales de cuerda con plántulas entrelazadas por año, y con una densidad de 1 planta cada 10 cm.
- En la región de Valparaíso se identifican capacidades de producción asociados a la Universidad Andrés Bello y la Universidad Católica de Valparaíso. En el caso de la primera, las capacidades productivas se relacionan con *M. pyrifera* principalmente, y en el ámbito de proyectos de investigación. En el caso de la Universidad Católica de Valparaíso, las capacidades identificadas se relacionan principalmente con cultivos experimentales para diversos recursos, como pelillo, luga roja, huiro negro, huiro flotador, luce y cochayuyo. Sin embargo, no fue posible constatar la magnitud de los cultivos eventualmente ejecutados.
- En la región del Bio Bío se identificó un hatchery asociado a la Universidad Católica de la Santísima Concepción, para producción de pelillo.
- En la región de la Araucanía se identificó un hatchery asociado a la Universidad Católica de Temuco, también para producción de pelillo.
- En la región de Los Lagos es donde concentra la mayor capacidad productiva en hatchery, y donde es más diversa la matriz de producción. En el caso de la Universidad de Los Lagos, se logró dimensionar cuantitativamente la capacidad de producción de huiro *M. pyrifera* con un máximo de 45.000 metros lineales de cuerda inoculada con plántulas de huiro por ciclo de producción (45 días



aprox) (Javier Infante, com. pers). Para esta institución también se encuentra autorizada la producción de pelillo y luga negra. En el caso de Algas Chile SpA (centro privado de producción de algas), está mejor estimada la capacidad de producción de huiro, pudiendo producir 10.000 m lineales de cuerda (con una densidad de 2 plantas de huiro cada 10 cm) por batch de producción (cada 3 meses) (Patricio Chávez, com. pers). Para la empresa Algas Marinas, con asiento en Ancud, se estima una capacidad de producción anual de 158.000 cuerdas de 20 m lineales, cada cuerda con un inóculo de 2,5 kg de biomasa de pelillo de similares características a las producidas en Mejillones por la misma empresa (Ramiro Rojas, com. pers.). En IFOP (Centro de Maricultura Hueihue) se estima una producción máxima de luga negra *S. crispata* (cuerdas inoculadas con esporas) de 19.600 m lineales por batch de producción (cada 4 a 5 meses en las condiciones actuales de producción). Se logró catastrar en esta región autorizaciones de producción de algas en hatchery para la Universidad Austral de Chile y la Fundación Chiquihue, en los recursos pelillo, luce, huiro negro, huiro flotador, chicorea de mar y luga negra, sin embargo, no existe evidencia de que esta capacidad autorizada haya sido puesta en marcha en esas instituciones.

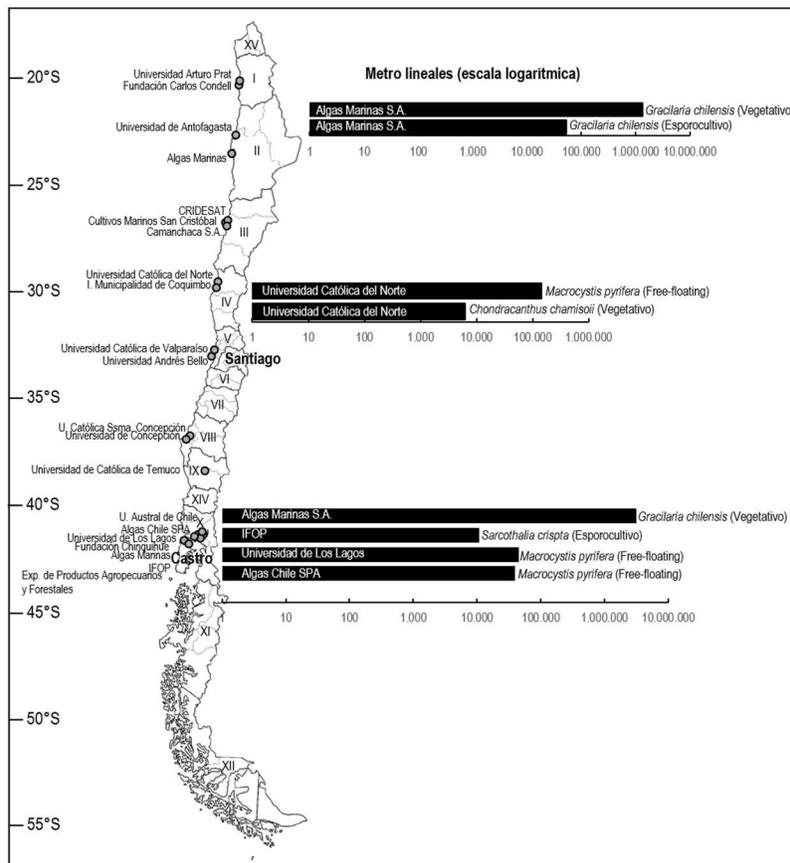


Figura 60. Distribución de núcleos de producción de algas en hatchery por especie. Barras negras indican producción conocida en metros lineales anuales. A la izquierda se indican los nombres de la instituciones y empresas con capacidad actual y latente de producción o abastecimiento.



Tabla 5.

Capacidades productivas de hatchery instaladas (operativas) y latentes (potencial) en el territorio nacional.

Capacidades “latentes” corresponde a instituciones que, habiendo desarrollado producción de semillas a escala experimental o pre-comercial, se desconoce la cuantía de su capacidad productiva a escala comercial. En todos esos casos, no se conoce o no se informó la forma en que se entrega la semilla (?).

Recurso	Región	Capacidad Productiva	Tipo de Semilla	Institución
<i>Lessonia spp</i>	Tarapacá	Latente	?	UNAP
<i>G. chilensis</i>	Antofagasta	54.000 m año ⁻¹	Cuerdas inoculadas con esporas	Algas Marinas
<i>G. chilensis</i>	Antofagasta	4.050.000 m año ⁻¹	Cuerdas inoculadas con biomasa F1	Algas Marinas
<i>Lessonia spp</i>	Atacama	Latente	?	Camanchaca
<i>Macrocystis spp</i>	Atacama	Latente	?	Camanchaca
<i>Macrocystis spp</i>	Coquimbo	6.300 m año ⁻¹	?	UCN
<i>C. chamissoi</i>	Coquimbo	144.000 m año ⁻¹	Cuerdas inoculadas con material vegetativo	UCN
<i>Lessonia spp</i>	Valparaíso	Latente	?	UV
<i>Macrocystis spp</i>	Valparaíso	Latente	?	UAB
<i>G. chilensis</i>	Araucanía	Latente	?	UCT
<i>G. chilensis</i>	Los Lagos	3.160.000 m año ⁻¹	Cuerdas inoculadas con biomasa F1	Algas Marinas
<i>Lessonia spp</i>	Los Lagos	Latente	?	Fundación Chiquihue
<i>M. pyrifera</i>	Los Lagos	40.000 m año ⁻¹	Cuerdas con plántulas originadas de cultivo free floating	Algas Chile SpA
<i>Macrocystis</i>	Los Lagos	45.000 m ciclo ⁻¹ (45 días ciclo ⁻¹)	Cuerdas con plántulas originadas de esporas	ULA
<i>C. chamissoi</i>	Los Lagos	Latente	?	Fundación Chiquihue
<i>C. chamissoi</i>	Los Lagos	Latente	?	UACH
<i>S. crispata</i>	Los Lagos	18.000 m ciclo ⁻¹	Cuerdas inoculadas con esporas	IFOP



5.3.2. Propuesta de zonificación para el desarrollo de acuicultura y/o repoblación en AMERB y CCAA

Consideraciones generales

El desarrollo de actividades de cultivo y/o repoblación de algas (entendiendo las acciones de repoblación como eventos dependientes del suministro de “semillas” desde un hatchery), están fuertemente condicionadas por la capacidad instalada de hatcheries a lo largo del país. La Tabla 5 y Figura 60, indican que la capacidad productiva está concentrada en *G. chilensis*. Solo para esta especie se están desarrollando de manera regular (todos los años) y a escala pre-comercial (producción de semillas destinadas a concesiones de acuicultura de 4 hectáreas) actividades de APE de algas en las localidades de Mejillones (Región de Antofagasta) y Ancud (Chiloé, Región de Los Lagos). Para todas las demás especies, son aún necesarios esfuerzos de investigación y desarrollo para escalamiento de estos cultivos hasta niveles, al menos, pre-comerciales en la capacidad productiva potencial de los hatcheries.

Zona Norte (Regiones de Arica-Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo)

Diagnóstico

- Los núcleos de abastecimiento de semillas indican que sería posible generar nuevas iniciativas de cultivo de *G. chilensis* en la región de Antofagasta, El desarrollo de APE en algas podría ser viable usando sistemas de cultivo flotantes derivados del sistema long-line (e.g., Figura 61).
- La producción de *M. pyrifera* y *C. chamissoi* puede ser viabilizada en la Región de Coquimbo a través de la capacidad y experiencia de la UCN. Sin embargo, esta capacidad se limita a estudios experimentales fomentados por proyectos de investigación. Esto sugiere el fortalecimiento de tales instancias o la expansión integrada del conocimiento acumulado por la UCN para facilitar la implementación de iniciativas locales. El equipo que ha desarrollado estas tecnologías de cultivo (UCN) se encuentra actualmente validando empíricamente esta capacidad productiva, a través de un financiamiento FONDEF Idea en 2 Etapas. Adicionalmente, es necesario considerar que existe demanda para desarrollar cultivo de *C. chamissoi* en las regiones de Arica-Parinacota y Tarapacá, regiones donde actualmente no existen hatcheries autorizados para la producción de semillas de esta especie.
- Para *M. pyrifera*, existe una capacidad latente (i.e., aquella reconocida como en etapa de desarrollo experimentales y estudios de caso, pero sin estimaciones netas de productividad) para la región de Tarapacá, Atacama y Coquimbo, que podrían ser impulsadas por entidades académicas (e.g., UNAP, CRIDESAT) y privadas (Camanchaca S.A.).
- Si bien existen experiencias de investigación para la producción de juveniles en cultivo y técnicas de repoblación de especies de *Lessonia* spp. en la zona Norte (Vásquez & Tala 1995, Edding & Tala 2003, Correa et al. 2006, Westermeier et al. 2016), éstas aún carecen de un escalamiento productivo que involucre e impulse una práctica sostenida de este tipo de acciones por las comunidades costeras.



Estrategias de desarrollo para la Zona Norte

- Especies con buen potencial de escalamiento en esta macrozona son: *G. chilensis*, *M. pyrifera* y *C. chamissoi*. Existe capacidad latente para el escalamiento de producción y repoblación de *Lessonia* spp.
- Es necesario expandir las capacidades de producción y abastecimiento de nuevas hatcheries entre las regiones de Arica-Parinacota a Coquimbo, para así mejorar la conectividad geográfica con potenciales demandantes y comunidades costeras más alejadas. Se sugiere incrementar el esfuerzo en investigación productiva a largo plazo para la implementación de hatcheries y producción de semillas de *G. chilensis*, *Lessonia* spp y *C. chamissoi*.
- *Lessonia* spp. necesita impulso para su producción en hatcheries y técnicas de cultivo. Es altamente necesario ya que hasta ahora el desarrollo a mayor escala de cultivos o acciones de repoblación no han tenido un impacto significativo tanto en la recuperación de praderas sobreexplotadas como en los usuarios. El actual escenario de explotación de praderas de algas pardas en la zona norte de Chile (regiones de Arica Parinacota hasta Coquimbo) plantea la necesidad de desarrollar acciones de repoblación en los recursos *L. berteriana*, *L. trabeculata* y *M. pyrifera*, con especial énfasis en *L. berteriana*, dado que sobre este recurso se concentra más del 70% de la pesquería de algas pardas en la macrozona norte, habiendo indicios de una presión de pesca descontrolada sobre este recurso (Sernapesca 2016).
- Por otro lado, dada las condiciones climáticas, geográficas y oceanográficas prevalentes de esta zona, la implementación de cultivo de algas, como *Lessonia* spp., *M. pyrifera*, *C. chamissoi* o *G. chilensis* puede ser potenciada a través del cultivo en estanques en tierra. La posibilidad de realizar cultivo integrado con invertebrados y peces puede ser una alternativa para las comunidades costeras debido a las incertidumbres en torno al uso de long-lines u otras estructuras de soporte en algunas áreas de la costa expuesta, dada la baja disponibilidad de bahías protegidas en la zona norte.

Zona Central (Regiones de Valparaíso, O'Higgins, Maule y Bio Bio)

Diagnóstico

- La capacidad de producción en hatcheries de la zona central es aún limitada, pero se ve favorecida por el acceso y conectividad con los potenciales usuarios. Existen Universidades que han desarrollado tecnología y experiencia de cultivo a escala experimental, lo que puede ser usado para incrementar capacidades. La zona central sólo presenta capacidad latente, que debe ser potenciada para la operación exitosa de cultivos, pudiendo enfocarse en *M. pyrifera*, *C. chamissoi*, y *D. antarctica*, dada la gran demanda por esta última especie en las regiones de O'Higgins, Maule y Bio Bío.
- Adicionalmente, la Universidad de Concepción ha desarrollado exitosas medidas de manejo, cultivo y repoblación de *G. chilensis* en bahías protegidas de la región del Bio Bío (e.g., Caleta Tubul), representando polos de desarrollo potencial.



Estrategias de desarrollo para la Zona Central

- Generar infraestructura y formar recursos humanos que sean capaces de producir una oferta vía hatchery de plántulas para el desarrollo de iniciativas de cultivo (*M. pyrifera*, *C. chamissoi*, *S. crispata*) y repoblación (*D. antártica*).
- Realizar un levantamiento pormenorizado de sitios aptos para el desarrollo de cultivos, dada la gran energía de la costa entre las regiones de Valparaíso hasta el Bio Bío.
- Fortalecer experiencias de cultivo y repoblación de *G. chilensis*, *S. crispata*, *D. antártica* y *C. chamissoi*.

Zona Sur (Regiones de Araucanía, Los Ríos y Los Lagos)

Diagnóstico

- La zona centro sur, cuyo núcleo principal es la región de Los Lagos (Puerto Montt y Chiloé), es la que concentra la mayor porción de la capacidad productiva nacional, tanto de la empresa privada como universidades y centros de investigación. También posee la mayor cantidad de iniciativas de cultivo a escala pre-comercial (*M. pyrifera*, *S. crispata*) y comercial (*G. chilensis*) lideradas por OPA y empresas privadas.
- Por otro lado, existe demanda de especies con alto valor y potencial de cultivo para consumo humano como *D. antártica* y *Pyropia* spp. A su vez, existe un desarrollo incipiente de productos con valor agregado (e.g., sazónadores, snacks en base a algas).
- Empresas privadas y universidades tienen la capacidad de abastecer de semillas, tecnología y conocimiento para desarrollar nuevas iniciativas de cultivo junto a nuevos cultivadores. Por otro lado, iniciativas, principalmente de desarrollo y manejo de cultivo vegetativo de *G. chilensis* han sido implementados largamente en la región de Los Lagos y Los Ríos, aunque capacidad de desarrollo de cultivo suspendido es aún escasa. En la Provincia de Chiloé (Río Quilo), se ha desarrollado una exitosa experiencia de cultivo suspendido de *G. chilensis*. (e.g., Figura 61).
- En la región de la Araucanía no hay información disponible que permite caracterizar el potencial de producción y experiencia de cultivo o repoblación.

Estrategia de desarrollo para la Zona Sur

- Se requiere avanzar en el mejoramiento de tecnologías de cultivo en organizaciones con capacidades administrativas y apropiación de cultura de cultivo de manera independiente. Si bien, no todas las organizaciones cumplirían estos requisitos, el apoyo gubernamental y/o académico inicial debería ser pensado para este tipo de organizaciones y durante un período de mediano plazo.
- Adicionalmente, se requiere avanzar en la selección y búsqueda de organizaciones modelos o referenciales, es decir, con alto capital social, con iniciativa propia y capacidades de apropiabilidad.
- En la región de Los Lagos, la propuesta de desarrollo para la APE de algas debiese considerar potenciar el desarrollo del cultivo de *S. crispata* y *M. pyrifera*. Para la primera especie hay una



capacidad instalada de hatchery de aprox. 18.000 m³-ciclo⁻¹. Cada ciclo de producción de cuerdas inoculadas con plántulas dura entre 90 y 120 días, pudiendo hipotéticamente producir 2 batch de cuerdas por año. (Candia & Nuñez 2017). En el caso de *M. pyrifera*, existe capacidad estimada para sustentar actividades de cultivo de aproximadamente 80 hectáreas.

- Aumentar el número de batch por año, mejorar el rendimiento de las cosechas, desarrollar ingeniería de estructuras de cultivo a bajo costo y parametrizar procesos para una adecuada selección de sitios son aspectos esenciales dentro de la propuesta de desarrollo de APE de algas en esta zona.
- En la zona del mar interior y los canales, sistemas de cultivo tipo long-line han demostrado ser adecuados para la producción tanto de *S. crispata*, *M. pyrifera* y *G. chilensis*. Estos sistemas pueden variar desde sistemas de cultivo superficial a long-lines de fondo, más adecuado para zonas con alta carga de epifitismo. La selección de variables, ventajas y desventajas de sitio de cultivo (i.e., sitio óptimo) requiere investigación adicional dado el nivel de desarrollo de esta macrozona en cuanto a capacidades de cultivo de algas.
- Adicionalmente, se debería promover la investigación y desarrollo tecnológico asociado al cultivo y repoblación de *D. antarctica*.



Figura 61. Sistema de producción de *G. chilensis* utilizando sistemas flotantes (“parcelas”) de 40 × 120 m. Implementación del cultivo en Río Quilo, provincia de Chiloé (sistema también utilizado en Mejillones).



Zona Sur-Austral (Regiones de Ays3n y Magallanes)

Diagn3stico

- La accesibilidad es un tema preponderante en esta extensa parte del territorio, donde el nivel de desarrollo del cultivo de algas es menor y la capacidad de cultivo en hatchery es muy limitada.
- En la regi3n de Ays3n, s3lo algunas iniciativas p3blico-privadas han logrado implementar algunos cultivos peque1os, por ejemplo, crecimiento vegetativo en long-line para la luga *G. skottsbergii*.
- La zona de Magallanes, presenta iniciativas de desarrollo de producci3n experimental para *M. pyrifera*, *S. crispata* y especialmente para *A. plicata* lideradas por la Universidad de Magallanes.
- En las regiones de Ays3n y Magallanes, no se logr3 identificar capacidad instalada en hatchery para la producci3n de alguna especie en particular.

Estrategia de desarrollo para la Zona Sur Austral

- Se sugiere dirigir la estrategia hacia el fortalecimiento de programas de investigaci3n y desarrollo tecnol3gico. Tambi3n se hace necesario formar recursos humanos, tanto acad3micos como t3cnicos para la regi3n de Ays3n, si se pretende avanzar hacia el abastecimiento sostenido de hatcheries y producci3n inicial de semillas.
- Se requiere inversi3n (p3blica y/o privada) para iniciar el desarrollo de etapas tempranas del cultivo en *A. plicata* y escalar a una producci3n que al menos permita el desarrollo de modelos bio-econ3micos para determinar la viabilidad de la implementaci3n de su cultivo, dado el potencial valor comercial que tiene la especie.
- Existe demanda local para el alga carragen3fita *G. skottsbergii*, por ello se deber3a considerar la adecuaci3n de infraestructura y formaci3n de capital humano para implementar hatcheries que aborden su repoblaci3n, dada el aumento en la explotaci3n de esta especie y la disminuci3n del desembarque (Sernapesca, 2016).



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

A continuación, se presenta una herramienta para la selección de especie y método o modelo de cultivo productivo.

Esta herramienta consta de una matriz de selección (Tabla 6) en la cual aparecen ponderaciones que caracterizarán una propuesta “tipo” de acuicultura. La matriz define factores o indicadores prácticos, comenzando por la especie y la técnica de cultivo. Esta ponderación determinará un ranking que finalmente sintetizará un valor que reflejará la ponderación relativa de la propuesta según las puntuaciones que se hayan seleccionado al evaluar las características del cultivo.

Cada especie se evaluó considerando el método de cultivo y su nivel de desarrollo tecnológico. Este ha sido determinado siguiendo procedimientos y resultados de experiencias experimentales y pilotos existentes en la literatura especializada, así como experiencias de cultivo reales de empresarios y OPA a la fecha de este informe. Para el desarrollo de esta matriz de ponderación se determinó que de manera general, existen tres niveles de desarrollo tecnológico en cuanto al cultivo de algas.

- 1) Nivel experimental: donde la especie ha logrado ser cultivada en laboratorio, se ha logrado el manejo de la producción de semillas e incluso la obtención de individuos juveniles y/o adultos, pero en condiciones controladas de laboratorio o en estanques a baja densidad.
- 2) Nivel piloto: donde la producción masiva de semillas/plántulas ha sido desarrollada en hatcheries especializados y se ha logrado llevar a cabo una etapa de crecimiento de la fase de interés (e.g., esporofitos, carposporofitos) en sistemas de cultivo en el mar, pero, como experiencia aislada, a pequeña escala y generalmente sin fines comerciales. Este nivel de desarrollo tiene un carácter demostrativo y busca la optimización y mejora de variables de cultivo.
- 3) Nivel comercial: donde se conoce a cabalidad la técnica de producción masiva de semillas en hatcheries especializados y/o la propagación vegetativa y se ha logrado además llevar a cabo una etapa de crecimiento (con algún método o sistema de cultivo comprobado) en el mar de manera intensiva a diferentes escalas comerciales (e.g., *G. chilensis*).

Basándose en esta premisa se asignaron valores entre 1 y 3 a la variedad de experiencias de cultivo existentes (Tabla 6). En esta matriz los cultivos especializados tipo long-line, semi-suspendidos o suspendidos en redes que han sido inoculados con sub-líneas o cuelgas inoculadas a su vez en esporocultivos de hatchery especializados y desarrollados a escala comercial o piloto, son generalmente ponderados con la mayor puntuación (= 3). Cultivos en long-lines que utilizan plántulas o porciones de tejido extraídos de poblaciones naturales y utilizados como propágulos para crecimiento vegetativo son generalmente puntuados con un valor medio (= 2). Se consideró que este tipo de cultivo se encuentra en transición para una optimización productiva completa, además tendría un mayor impacto en bancos naturales. Por último, cultivos experimentales, que han demostrado viabilidad productiva y potencial para un escalamiento ulterior pero que no han sido desarrollados a la fecha de la presente revisión tienen una ponderación mínima (= 1).



En la siguiente secci3n (Tabla 6) aparecen diferentes criterios de selecci3n o indicadores de viabilidad, ponderados entre 1 y 3 que dependen de la especie usada, la t3cnica de cultivo y el manejo que se pretende dar al cultivo. Se incluye:

- Origen de las semillas: donde la presencia de un hatchery propio, que permite la independencia de proveedores de semilla y una menor dependencia de las praderas naturales es ponderado con la mayor puntuaci3n (=3)
- Tiempo estimado de cultivo en hatchery y en mar (Cuando esto aplica para ambos casos): donde especies con menor tiempo de cultivo presentan mayores ponderaciones (=3).
- Escala (Experimental = 1; Piloto = 2; Comercial = 3) a la que la especie pretende ser cultivada por el usuario.
- El tipo de producto que ser3 el objetivo del cultivo (Materia prima = 1, u otro producto, e.g., alimento humano = 2). Se pondera de mejor manera iniciativas que den alg3n valor agregado a la materia prima
- La l3nea de comercializaci3n que poseen los productores, donde se preferencia la venta directa a las entidades demandantes o empresas (=2).
- El rango de distribuci3n de la especie a cultivar. Se espera que las especies a cultivar se encuentren dentro de su rango de distribuci3n geogr3fica natural (= 2), no fuera de ella (= 1). Para determinar los rangos de las especies en este documento se ha usado como referencia el texto de Santelices & Hoffmann (1999)
- El estado de tramitaci3n de la AMERB o CCAA. que presenta el proyecto. No realizado = 1, En tr3mite = 2; Al d3a = 3.
- El 3rea disponible con que cuenta la organizaci3n, donde organizaciones que puedan cultivar m3s 3rea tendr3n mayor ponderaci3n
- La experiencia previa en cultivos de algas u otro. Organizaciones o personas que demuestren haber tenido experiencia previa (Talleres, capacitaciones, formaci3n t3cnica, etc.) tendr3n mayor puntuaci3n.

Entonces, a partir de esta matriz (Tabla 6), una determinada propuesta de cultivo y sus caracter3sticas particulares pueden ser calificadas seleccionando las diferentes alternativas de puntuaci3n, obteni3ndose un valor ponderado final de la propuesta.

Adicionalmente, y partir de la matriz anterior se calcularon tres indicadores cuantitativos para evaluar las diferentes especies factibles de cultivar (Tabla 7).

- 1) VM (valor m3ximo): que representa puntuaciones en condiciones ideales de cultivo para cada especie.
- 2) VR (valor relativo): que corresponde a la ponderaci3n relativa de una propuesta de cultivo hipot3tica, pero con caracter3sticas reales actuales.
- 3) ICR (3ndice de cultivo relativo): que representa un indicador de la viabilidad actual del cultivo de una determinada especie.



Tabla 6.
Matriz de asignaci3n de puntajes para selecci3n de especies y sistemas de cultivo.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Especie →		<i>A. plicata</i>	<i>C. variegata</i>	<i>C. chamosoi</i>	<i>C. canaliculatus</i>	<i>D. antarctica</i>	<i>G. Rex</i>	<i>G. skottsbergii</i>	<i>G. chilensis</i>	<i>L. berteoana</i>	<i>L. spicata</i>	<i>L. trabeculata</i>	<i>M. pyrifera</i>	<i>M. laminarioides</i>	<i>Pyropia spp.</i>	<i>S. crispata</i>	
Sistema de Cultivo	Cultivo directo (Vegetativo)	1															
	Semi-suspendido (Estacas)	2															
	Long-line (Cuelga vertical)	3															
	Long-line (Esporocultivo)	3															
	Long-line de fondo (Vegetativo)	2		2													
	Long-line (Tejido vegetativo)	2		2													
	FDS (Fijaci3n de disco secundario)	2		2													
	Estanques outdoor	1		1													
	Free-floating (Laboratorio)	1		1													
	Cultivo en laboratorio	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Suspendido en redes	3		3													
Origen de semillas	Banco natural	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Hatchery externo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Hatchery propio	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Tiempo estimado de cultivo en hatchery (meses)	6 - 9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	3 - 6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	1 - 3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Tiempo estimado de cultivo en mar (meses)	1 - 3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	
	3 - 6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	6 - 9 3 mayor	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Escala de cultivo	Experimental	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Piloto	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Comercial (± 100 h3, e.g, Tubul)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Tipo de producto	Materia prima	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Alimento	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Otro	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
L3nea de venta	Intermediario	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Directa	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Rango de distribuci3n de la especie a cultivar	Fuera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Dentro	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Estado de tramitaci3n AMERB o CCAA	No realizado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	En tr3mite	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Al d3a	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
3rea disponible para cultivo	< 1 H3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	1 - 10 H3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	> 10 H3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Experiencia previa de la organizaci3n	Sin capacitaci3n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Con capacitaci3n en cultivo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	



Se reproduce un ejemplo de ponderaciones por especie en condiciones hipotéticas ideales de cultivo para determinar un valor máximo de cultivo (VM). Para generar este valor, todas las alternativas de puntuación fueron realizadas considerando los siguientes supuestos para cada especie:

- El valor máximo de cultivo está calculado en condiciones hipotéticas de maximización productiva para cada especie en particular considerando desarrollo a escala comercial e incluyendo hatchery propio
- Una hectárea de cultivo a menos que exista evidencia publicada de cultivo a mayor escala para una especie dada
- Venta directa a empresas procesadoras
- El cultivo existe dentro del área de distribución natural
- AMERB o CCAA con tramitación al día
- Organizaciones con experiencia de cultivo de algas

El VM fue contrastado con un valor relativo de cultivo (VR), el cual está determinado por las características reales de una propuesta de cultivo hipotética. Para calcular este valor relativo se ha considerado el nivel de desarrollo alcanzado para cada especie según literatura e información obtenida directamente con productores y empresarios del rubro, por lo tanto:

- El origen de las semillas considera experiencias reales de productores para una especie dada
- El tiempo de referencia de cultivo en hatchery y en mar (si aplica) considera tiempos que aparecen en la literatura para una especie dada
- El área de cultivo referencial aplicado en el cálculo considera magnitudes máximas que parecen en la literatura para una especie dada, sino aparecen se considera una hectárea de cultivo
- El tipo de producto considera el uso general actual (o bien potencial para el caso de especies desarrolladas sólo a escala experimental) de la biomasa algal para Chile
- Para este ejemplo, los demás factores, consideran los supuestos usados para calcular el VM

Finalmente, el cociente entre el VM potencial que puede alcanzar una especie dada y el VR de desarrollo que ha alcanzado dicha especie produce el índice de cultivo relativo (ICR). Este índice refleja la viabilidad de cultivo considerando las variables discutidas anteriormente para cada especie (Tabla 7). En condiciones ideales un valor igual a 1 representaría una propuesta en la cual todos los indicadores de desempeño se han cumplido a cabalidad.

**Tabla 7.**

Valores máximos de cultivo en condiciones óptimas (VM), Ponderación relativa de la propuesta de cultivo por tipo de cultivo y especie (VR) e Índice de cultivo relativo (ICR) para las diferentes especies estudiadas.

Especie/sistema de cultivo	Valor máximo de cultivo en condiciones óptimas (VM)	Ponderación relativa de la propuesta de cultivo por tipo de cultivo y especie (VR)	ICR
<i>A. plicata</i>	26	14	0,54
<i>C. variegata</i>	27	19	0,70
<i>C. chamissoi</i> (Long-line fondo vegetativo)	24	19	0,79
<i>C. chamissoi</i> (Fijación de disco secundario)	27	21	0,78
<i>C. canaliculatus</i>	24	17	0,71
<i>D. antártica</i>	27	19	0,70
<i>G. rex</i>	27	17	0,63
<i>G. skottsbergii</i> (Long-line vegetativo)	26	16	0,62
<i>G. skottsbergii</i> (Long-line esporocultivo)	26	21	0,81
<i>G. chilensis</i> (Cultivo directo)	23	18	0,78
<i>G. chilensis</i> (Cultivo de fondo)	24	21	0,88
<i>G. chilensis</i> (Long-line esporocultivo)	27	25	0,93
<i>L. berteroana</i>	27	18	0,67
<i>L. spicata</i>	27	17	0,63
<i>L. trabeculata</i>	27	17	0,63
<i>M. pyrifera</i>	27	25	0,93
<i>M. laminarioides</i>	23	16	0,70
<i>Pyropia</i> spp.	29	26	0,90
<i>S. crispata</i> (Long-line esporocultivo)	27	24	0,89
<i>S. crispata</i> (Long-line vegetativo)	25	18	0,72

Luego con el ICR resultante, se puede generar un ranking de especies y técnicas de cultivo (Tabla 8) en donde el cultivo en long-lines con producción de semillas en hatchery de *G. chilensis* y *M. pyrifera* alcanzaron los valores más altos (ICR = 0.93, respectivamente). *Pyropia* spp. aparece en tercer lugar alcanzando un ICR de 0.9. El cultivo suspendido inoculado con plántulas producidas en hatchery de *S. crispata* mostró un ICR de 0.89, mientras que el cultivo vegetativo de *G. chilensis* en long-lines de fondo alcanzó un 0.88. *G. skottsbergii* cultivada en condiciones similares a *S. crispata* mostró un ICR de 0.81. Mientras que *C. chamissoi* cultivada en long-lines de fondo con plántulas producidas en



hatchery, el cultivo vegetativo directo de *G. chilensis* y el cultivo por fijación de disco de secundario de *C. chamissoi* alcanzaron ICRs de 0.79, 0.78 y 0.78 respectivamente.

Este ranking permite agrupar un grupo de 6 especies y 5 técnicas de cultivo, que incluye las especies que 1) tradicionalmente han sido cultivadas en nuestro país, 2) que poseen un mercado conocido al menos como materia prima y 3) que han sido objeto de un mayor esfuerzo de investigación, lo que redundaría en un mayor nivel de desarrollo de cultivo. Por lo tanto, se estableció un límite de viabilidad para el ICR sobre 0,75 que representaría aquellas especies con mayor viabilidad de ser implementadas en el marco de este estudio.

Tabla 8.

Ranking de especies y métodos de cultivo según estimación el índice de cultivo relativo (ICR).

Especies/ sistema de cultivo	ICR
1 <i>G. chilensis</i> (Long line de esporocultivo)	0,93
2 <i>M. pyrifera</i> (Long line de esporocultivo)	0,93
3 <i>Pyropia</i> spp. (Cultivo suspendido en redes)	0,90
4 <i>S. crispata</i> (Long line de esporocultivo)	0,89
5 <i>G. chilensis</i> (Long line de fondo)	0,88
6 <i>G. skottsbergii</i> (Long line de esporocultivo)	0,81
7 <i>C. chamissoi</i> (Long line de fondo vegetativo)	0,79
8 <i>G. chilensis</i> (Cultivo directo vegetativo)	0,78
9 <i>C. chamissoi</i> (Fijación de Disco Secundario)	0,78
10 <i>S. crispata</i> (Long line vegetativo)	0,72
11 <i>C. canaliculatus</i>	0,71
12 <i>C. variegata</i> (Long-line vegetativo)	0,70
13 <i>D. antarctica</i>	0,70
14 <i>M. laminarioides</i>	0,70
15 <i>L. berteroana</i>	0,67
16 <i>G. rex</i>	0,63
17 <i>L. spicata</i>	0,63
18 <i>L. trabeculata</i>	0,63
19 <i>G. skottsbergii</i> (Long line vegetativo)	0,62
20 <i>A. plicata</i>	0,54



Finalmente se desarrolló una matriz alternativa y complementaria de selección (Tabla 9) que resume de manera muy general el conocimiento acumulado en torno al cultivo de algas de importancia comercial. Las especies consideradas son las que aparecen en la herramienta de selección anteriormente descritas.

La herramienta corresponde a una matriz comparativa de consulta en la que se combinan atributos conocidos para el 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 "Método de Cultivo", en donde se puede conocer las especies asociadas a un tipo de cultivo dado, así como, a los factores tecnológicos, sociales y ambientales asociados. Siguiendo la entrada del eje vertical "Especie", se puede obtener información tanto del método y la especie, pero asociada a factores económicos. El punto indica donde se cruzan los factores y describe el conocimiento disponible para dicha especie.

A modo de ejemplo se ha seleccionado la especie *C. chamissoi* (casillas color beige), en donde los puntos indican dos técnicas conocidas de cultivo, i.e., Long-line de fondo de crecimiento vegetativo y Fijación de disco secundario. Siguiendo el eje horizontal se puede saber que:

- Se requiere entrenamiento técnico previo para obtención de semillas
- Se requiere un laboratorio o hatchery (puede ser tipo invernadero) para implementar el cultivo
- Se requiere infraestructura relativamente sofisticada, en este caso, un long-line instalado en el fondo para realizar el cultivo.

La información sobre el cultivo en long-line con fijación de disco secundario que muestra el segundo punto se obtiene de la misma forma. Del mismo modo, siguiendo la selección en el eje vertical se puede conocer que:

- La especie se distribuye naturalmente en el norte, centro y sur del país
- Se desconocen patologías de cultivo
- El cultivo puede ser impactado por epibiontes
- Se desconoce el impacto de herbívoros en condiciones de cultivo
- La especie ha sido cultivada en sitios protegidos al oleaje
- La especie ha sido cultivada, también, en sitios semi-protegidos o expuestos
- El traslado de plántulas se realiza en otoño invierno
- Que el cultivo puede generar más de 2 cosechas por ciclo productivo
- Que este tipo de cultivo se ha desarrollado hasta escala piloto
- El precio de *C. chamissoi* húmedo y seco.



Tabla 9.
Matriz de toma de decisiones para selección de especies de algas de importancia comercial con potencia de cultivo.

Especie →	<i>Ahnfeltia plicata</i>	<i>Callophyllis variegata</i>	<i>Chondracanthus charissoid</i>	<i>Chondrus canaliculatus</i>	<i>Durvillea antarctica</i>	<i>Gelidium Rex</i>	<i>Gigartina skottsbergii</i>	<i>Gracilaria chilensis</i>	<i>Lessonia nigrescens</i>	<i>Lessonia spicata</i>	<i>Lessonia trabeculata</i>	<i>Macrocystis pyrifera</i>	<i>Mazzaella laminarioides</i>	<i>Pyropia spp.</i>	<i>Sarcophylla crispata</i>	Requerimiento técnico básico para obtención de semillas	Requerimiento técnico avanzado para obtención de semillas	Requiere Laboratorio/Hatchery inventario	Infraestructura sofisticada de cultivo
	Método de Cultivo								*								*		
							*								*		*	*	*
							*	?	?	?	*				*		*	*	*
			*												*	*	*	*	*
						*									*		*	*	*
	*					*		*	*	*			*				*	*	?
		*												*			*	*	?
Distribución			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
Factores Ambientales	?	?	?	?	?	?	?	*	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
		?	*	?	*	?	*	*	?	?	?	*		?	*				
	?	?	?	?	?	?	?	*	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
	?	?	*	?	*	?	*	*	?	?	?	*		?	*				
	?	?	*	?	?	?	*	*	?	?	?	*		?	*				
Traslado al mar	?	?	*	?	?	?	*	*	?	?	?	*		*	*				
	?	?		?				*	?	?	?								
Variables Económicas	?	?		?	?	?	*		?	?	?								
	?	?		?	?	?	*		?	?	?								
	?	?	*	?	?	?		*	?	?	?	*		*	*				
	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*								
			*				*					*		*	*				
			?					*				*		*	*				
							380 - 400								220 - 240				
							1800								580 - 600				



5.5. Análisis bio-econ3mico de cultivos de algas

5.5.1. Modelo conceptual APE

Para la construcci3n del modelo cualitativo para la APE se hicieron actividades de terreno y de análisis bibliogrÁfico. Esto incluy3 una visita a un centro de cultivo de pelillo de la empresa Algas Marinas S.A. en la Regi3n de los Lagos y ademÁs se analiz3 la informaci3n contenido en Romo et al. (2001), Bulboa et al. (2005) Westermeier et al. (2006), Guti3rrez et al. (2006), Soto (2011), Macchiavello et al. (2013), Candia & Nuñez (2013), UCSC (2015), Zúñiga et al. (2015), Guisado et al. (2017). Aunque cada cultivo puede tener sus propias particularidades, del análisis de esta informaci3n fue posible construir un modelo conceptual lo suficientemente amplio y descriptivo de las principales relaciones involucradas en la APE.

Con este modelo conceptual (Figura 62) se procedi3 a construir un modelo cuantitativo base sobre el cual, con ligeras modificaciones es posible describir el comportamiento bio-econ3mico de distintos cultivos de algas.

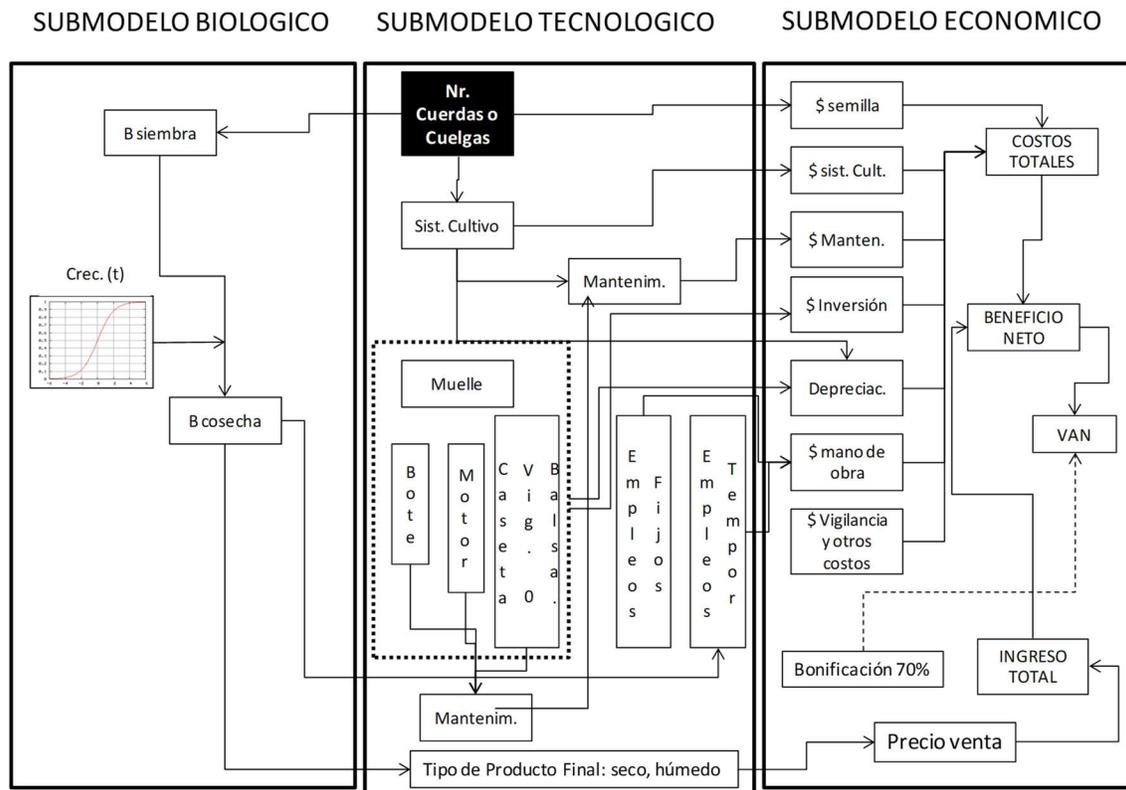


Figura 62. Modelo conceptual APE utilizado en el presente estudio.



5.5.2. Pelillo (*G. chilensis*)

Descripción cualitativa del modelo bio-económico para el cultivo suspendido de pelillo

Submodelo Biológico

El submodelo se inicializa con una cantidad de cuerdas inoculadas con biomasa F1 que el productor compra a un proveedor certificado. Cada una de estas cuerdas, de 10 m de longitud y que contiene aproximadamente 1,25 kg de pelillo, se entrelaza a una cuerda de similares características antes de ser instalada en el sistema de cultivo. Esta biomasa inicial crece en el tiempo a distintas tasas, dependiendo de la época del año cuando fue sembrada. Así, el crecimiento estacional puede, de hecho, lo es, ser distinto, lo que genera que el peso de cosecha de las cuerdas, aproximadamente entre los 15 y 18 kg, se alcanzará a distintos ritmos.

La cosecha del cultivo suspendido es insumo a su vez para el submodelo económico, donde fue transformada en ingresos totales.

Submodelo Tecnológico

El número de cuerdas compradas al proveedor son trasladadas al sistema de cultivo suspendido. El sistema de cultivo para este recurso está diseñado sobre la base de una unidad básica consistente en una estructura flotante (denominada "parcelas") de 40 x 120 m (4800 m² cada una) que soportan las cuerdas con la semilla de pelillo, las que están separadas cada 10 cm. Así, en cada parcela pueden sembrarse 1200 cuerdas. Cada parcela está construida por cuerdas de cabo de polipropileno, un sistema de boyas y un sistema de anclaje al sustrato. El sistema de anclaje puede variar en tipo, número y peso de los fondeos, dependiendo de la energía y exposición del sitio elegido. El submodelo incluye además elementos necesarios para la operación del cultivo, como por ejemplo un muelle o embarcadero, botes, motores fuera de borda. En cuanto a mano de obra, la operación del cultivo requiere de personal fijo (vigilancia, manutención de sistemas) y temporal (faenas de cosecha y siembra). El modelo evaluó simultáneamente dos líneas de producto final: uno que consiste en alga limpia y húmeda y un segundo que, al emplear una secadora industrial, genera un alga limpia y seca, con un 30% de humedad

Submodelo Económico

Este submodelo incorpora todos aquellos costos descritos en la Tabla 10, que son acumulados a través del tiempo y agrupados como Costos Totales. Los Ingresos Totales son calculados a partir de los Ingresos obtenidos de la venta de la producción, tanto del producto húmedo como seco. Finalmente, el diferencial entre Ingreso y Costo Total genera un Beneficio o Ingreso Neto, diferenciado por tipo de producto final (alga húmeda o seca al 30%), a partir del cual se estiman variables de desempeño financiero, tales como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).



Tabla 10.
Estructura de costos de un cultivo suspendido de pelillo (*G. chilensis*) en la X Regi3n.

Costo	Descripci3n
Costos semilla	Costo por concepto de cuerdas que contienen 2,5 kg de pelillo cada una
Costo del sistema de cultivo	Costo asociado a las estructuras flotantes para sostener las cuerdas de cultivo
Costos por mantenimiento	Costo asociado a la manutenci3n de sistemas de cultivo, muelle, botes, motores, caseta de vigilancia, maquinarias.
Costos de Inversi3n	Costos por concepto de construcci3n de muelle, caseta de vigilancia e inversi3n en botes y motores ³ . M3quina secadora y facilidades en tierra para el procesamiento del alga cosechada.
Costos Vigilancia	Costos asociados a mantener un sistema de vigilancia y protecci3n para el cultivo
Depreciaci3n	Costos por reposici3n de materiales obsoletos
Costos por mano de obra	Costos asociados a empleos directos e indirectos en el cultivo
Otro Costos	Imprevistos

Descripci3n cuantitativa del modelo bio-econ3mico para el cultivo suspendido de pelillo

Submodelo Biol3gico

La din3mica de la biomasa es modelada mediante la ecuaci3n de crecimiento log3stico en base a la siguiente ecuaci3n diferencial que describe la tasa de crecimiento a trav3s del tiempo (Z3niga et al., 2015),

$$\frac{dW_t}{dt} = b_s \cdot W_t \cdot \ln\left(\frac{W_t}{W_\infty}\right) \quad (1)$$

Donde W_t es el peso al tiempo t ; W_∞ es el peso m3ximo que puede alcanzar una cuerda de cultivo y b_s es una constante estacional. De esta forma, la biomasa en el tiempo puede ser expresada como,

$$W_{t+1} = W_t + \frac{dW_t}{dt} \quad (2)$$

³ En el caso del cultivo del pelillo se consider3 esta inversi3n ya que el cultivo referencial, que sirve de modelo, es un emprendimiento de pocas personas (3) y no una organizaci3n numerosa de pescadores artesanales. En el caso de los otros tres recursos analizados se asume que puede ser desarrollado por una organizaci3n con numerosos miembros y que estos ítems ya est3n asumidos por dicha organizaci3n.



La tasa de crecimiento en peso de las cuerdas de cultivo es asumida como variable estacionalmente. As3, aunque la biomasa m3xima permanece constante, la tasa a la que se alcanza depende 3nicamente del valor estacional de b_s . De esta manera cuando cambia la estaci3n (primavera, verano, oto3o, invierno) la tasa de crecimiento sufrir3 modificaciones adapt3ndose al valor de $\frac{dW_t}{dt}$ correspondiente a la estaci3n y al peso correspondiente.

La ecuaci3n (1) fue ajustada de acuerdo a lo se3alado por cultivadores de pelillo, partiendo de cuerdas dobles de polipropileno de 10 mm de di3metro, inoculadas con talos de *G. chilensis* con un peso inicial de 2,5 kg. De acuerdo a informantes calificados, en 3poca de verano y primavera producto del crecimiento estas cuerdas alcanzan alrededor de 17 - 18 kg en 45 d3as; en tanto en invierno y oto3o este peso se puede alcanzar alrededor de 2 a 3 meses. De este modo, los par3metros de la ecuaci3n fueron ajustados para producir una cantidad de kilos aproximada a los valores se3aladas por los informantes.

Submodelo Tecnol3gico

El modelo se basa en un cultivo suspendido horizontal, que se inicia hipot3ticamente un 1 de enero (d3a 1). Cada sistema (parcela) tiene forma rectangular, con medidas de 40 x 120 m (4800 m²) y que contiene un total de 1200 cuerdas de cultivo (2 l3neas de 10 m entrelazadas), cada una de ellas con 2,5 kg de alga. Las cuerdas de cultivo son trenzadas y dispuestas en el sistema de flotaci3n el cual est3 anclado al fondo por muertos (o fondeos) de 800 kg. El sistema logra flotabilidad mediante flotadores de 50 y 100 lt. Los requerimientos t3cnicos para cada parcela se detallan en la Tabla 11. La biomasa total en cada sistema de cultivo se calcula como,

$$B_t = W_t \cdot 1200 \quad (3)$$

Tabla 11.

Requerimientos y valorizaci3n para la construcci3n de un sistema de cultivo (Parcela 40 x 120 m).

Item	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Costo por Item (\$)	%
Flotador 50 l	104	25.000	2.600.000	78%
Flotador 100 l	4	45.000	180.000	5%
Cabo 24 mm (+ 15 % p3rdida)	400	400	160.000	5%
Fondeo 800 kg	4	72.000	288.000	9%
Otros	1	100.000	100.000	3%
Costo Total			3.328.000	100%

Se considera adem3s que el cultivo b3sico consta de un muelle para las operaciones y un bote de fibra de vidrio de 8 m de eslora, que posee un motor fuera de borda de 70 hp. Es necesaria adem3s una caseta de vigilancia flotante. El cultivo base consta de una conces3n de 3,5 hect3reas, de las cuales 3 est3n destinadas al cultivo. Funciona con un total de cuatro personas que son operarios fijos, los que cumplen labores de mantenimiento de los sistemas de cultivo, vigilancia, cosecha y



sembrado de cuerdas. Un adicional de 3 personas (operarios ocasionales) son contratadas por siete días cada vez que es necesaria una cosecha y resembrado de nuevas cuerdas de cultivo post cosecha. Se asumió que tanto el número de operarios fijos (OF) como ocasionales (OO) varían en función del número de parcelas (NP) a cultivar, de acuerdo a la relación $OF = NP \div 1,5$ y $OO = NP \div 2$, respectivamente. Las cosechas se realizan dependiendo de distintos escenarios (Tabla 12). De una forma conservadora, se estima que el tiempo necesario para la cosecha y resembrado de cuerdas con pelillo son siete días. Post cosecha los mismos sistemas de cultivo (parcelas) son reutilizados en la producción.

Tabla 12.

Escenarios de cosechas evaluados en la simulación del cultivo de pelillo.

Escenario	Tipo de Cosecha	Justificación
1	Cada 30 días en primavera/verano y cada 75 en otoño/invierno	Operación actual
2	Maximizar producción por siembra	Obtener máximo de kg/cuerda
3	Mensual	Generar VPN positivo

Para evaluar la producción de algas en dos presentaciones (húmeda limpia y seca al 30%), se requiere la inversión de los elementos descritos en la Tabla 13. En el caso de la producción de alga seca, se requiere de un secador rotatorio de 1,2 m de diámetro y 10 m de longitud, capaz de procesar 2,5 ton/h, con un motor central que consume 7,5 KW/h.

Tabla 13.

Estructura de costos asociado a producción de alga húmeda limpia (AH) y alga seca (AS) con 30% de humedad. (Adaptado de Guisado et al., 2017)

Item	Línea de producción que requiere del Item AH = Alga limpia húmeda AS = Alga seca 30% humedad	Unidades	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Tecele	AH - AS	2	52.500	105.000
Grúa/Pluma Levante	AH - AS	2	350.000	700.000
Viga de Soporte	AH - AS	2	150.000	300.000
Mesones de envasado	AH - AS	4	80.000	320.000
Enfardadora metálica	AH - AS	1	350.000	350.000
Tendederos	AH - AS	50	10.000	500.000
Máquina Secadora	AS	1	31.680.000	31.680.000
Total				33.955.000

Submodelo Económico

El desempeño económico del cultivo es medido mediante el Valor Presente Neto (VPN), definido como,

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{IT_t - CT_t}{(1+d)^t} - I_0 \quad (4)$$



Donde IT_t y CT_t son los ingresos y costos totales en el tiempo t , respectivamente; d es la tasa de descuento e I_0 es la inversión inicial del cultivo. Los ingresos totales son calculados multiplicando la biomasa producida (ya sea húmeda o seca) por el precio respectivo por kg de alga. El valor por kg de alga producida fue fijado en \$100 húmedo y \$400 seco (30% humedad), según informantes calificados a octubre de 2017.

A su vez, los costos totales son separados en costos asociados a la compra de las cuerdas con los talos de pelillo y costos de operación del sistema. Los costos de operación incluyen sueldos ocasionales, ropa de trabajo, labores de mantenimiento, todos sobre una base mensual. Hay otros costos sobre una base diaria (Tabla 14). Los costos fijos incluyen los sueldos mensuales de empleados, el pago anual de la concesión (en los casos que corresponda) y las depreciaciones (Tabla 15). Todos los costos son acumulados a través del tiempo.

Tabla 14.

Resumen de costos asociados al cultivo suspendido de pelillo. En el modelo la cantidad de parcelas puede ser modificado, y en función del número de parcelas se calcula endógenamente la mano de obra, permanente y estacional.

Tipo	Descripción	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Costo por Ítem (\$)	Frecuencia
Inversiones	Muelle	1	1.000.000	1.000.000	Inicio
	Caseta Vigilancia	1	2.000.000	2.000.000	Inicio
	Botes	2	2.500.000	5.000.000	Inicio
	Motores	2	7.000.000	14.000.000	Inicio
Sist. Producción	Parcelas	6	3.328.000	19.968.000	Inicio
Mantenimiento	Caseta Vigilancia	1	30.000	30.000	Mensual
	Motores	1	50.000	50.000	Mensual
	Sistema de cultivo	1	100.000	100.000	Mensual
Sueldos	Personal fijo	4	500.000	2.000.000	Mensual
	Personal ocasional	3	20.000	60.000	Cosechas
Ropa Trabajo	Guantes, botas, etc.	1	50.000	50.000	Mensual
Pago Concesión	Pago Concesión	1	273.000	273.000	Anual
Otros	Costos diarios	1	5.444	5.444	Diario
	Imprevistos	1	72.974	72.974	Diario
	Semillas (kg)	9.000	100	900.000	Post Cosecha

Tabla 15.

Depreciaciones asociadas al cultivo de pelillo.

Depreciación	Vida Útil (años)	Depreciación diaria (\$)
Muelle	10	274
Caseta de Vigilancia	5	1.096
Botes	10	685
Motores	2	9.589
Sistema de Cultivo	10	912



El monto de la inversión inicial corresponde a aquellas inversiones necesarias para la implementación del cultivo. La tasa de descuento, provisoriamente, ha sido ajustada 12% anual.

El modelo se construyó sobre una base diaria, con un horizonte de tiempo de dos años, lo que se considera adecuado para evaluar el desempeño económico dado el nivel de riesgo que presentan los proyectos acuícolas.

Para cada escenario de cultivo y cosecha (Tabla 16) se evalúa el desempeño en ambas líneas de producto final (alga limpia y alga seca, con un 30% de humedad), de esta manera se puede discriminar qué tipo de inversión se debe realizar para rentabilizar adecuadamente el cultivo.

Gráficamente los resultados son presentados bajo la forma de tres curvas: la del ingreso total, la del costo total acumulado y la del VPN (ecuación 4), la cual incluye la inversión inicial. Esta última curva es interesante puesto que al momento de alcanzar $VPN = 0$, esto es cuando corta el eje del tiempo, indica el tiempo requerido para la recuperación de la inversión hecha en el cultivo.

Adicionalmente, se representa el patrón de producción dados escenarios óptimos de cultivo (Número de Parcelas) y cosecha.

Adicionalmente, el modelo permite analizar el comportamiento financiero del cultivo a distintos volúmenes de producción que cambian con la superficie de cultivo, desde un mínimo de tres hectáreas a un máximo de 10 ha. Esto permite, en el caso del cultivo de pelillo, implementar entre 6 y 20 parcelas. Dado que cada una de ellas ocupa una superficie aprox. de media hectárea, el rango de superficie iría entre las 3 y las 10 ha, siendo este último valor el máximo de superficie cultivable que caería dentro del concepto de acuicultura de pequeña escala (APE), actualmente en discusión.

Producto que el análisis incluye 8 niveles de superficie (de 3 a 10 hectáreas), tres escenarios de cosecha, dos formas de producto final (húmedo y seco) y dos de financiamiento (con y sin crédito), se puede obtener una matriz que contiene 96 combinaciones posibles ($8 \times 3 \times 2 \times 2$) que puede visualizarse de la siguiente forma:

Tabla 16.

Combinaciones posibles entre superficie de cultivo, escenarios de cosecha, producto final y tipo de financiamiento que pueden ser analizados.

		NÚMERO DE HECTÁREAS							
		3	4	5	6	7	8	9	10
		NÚMERO DE PARCELAS							
		6	8	10	12	14	16	18	20
Con Crédito	Alga Limpia	1							
		2							
		3							
	Alga 30% humedad	1							
		2							
		3							
Sin Crédito	Alga Limpia	1							
		2							
		3							
	Alga 30% humedad	1							
		2							
		3							

Como una forma de simplificar la comprensión de los resultados, se prefirió generar una tabla resumen como la descrita más arriba y mostrar los gráficos necesarios sólo para la combinación que arroje el mayor VPN al cabo de dos años de simulación. Finalmente, el modelo opera bajo el supuesto que el Estado, con el fin de estimular la APE, está dispuesto a bonificar en un 70% el costo



de la inversión inicial del cultivo. Esta bonificación ocurre, en el modelo, al final del primer año de cultivo.

Análisis de riesgo

Consideraciones previas

Se definió como variable de desempeño para abordar este análisis el VPN al cabo de dos años de cultivo, tiempo considerado como razonable en un esquema OPA para evaluar bondades potenciales del desarrollo de esta actividad. La inexistencia de datos de variabilidad de parámetros críticos como tasas de crecimiento o precios (entre otras), a una escala de cultivo comercial, forzaron a realizar un análisis de riesgo preliminar suponiendo una variabilidad de $\pm 15\%$ en la tasa de crecimiento de los recursos, y en los precios húmedos y secos levantados por informantes calificados. Se utilizó la función de densidad probabilística conocida como Distribución Uniforme para el análisis de riesgo, utilizando la técnica Monte Carlo, construyendo el modelo en Excel © y desarrollando el análisis de riesgo con el software Crystal Ball ©. El PRL para el VAN se fijó en \$30 millones, mientras que el PRO fue fijado en \$70 millones. Estas cifras corresponden a valores arbitrarios. Se realizó un análisis de los costos e ingresos por temporada de cultivo (excluyendo los costos de capital), considerando que el crecimiento y por lo tanto la producción tienen una marcada componente estacional, y de esta forma, definir el mejor escenario para la relación existente entre los costos esperados y los beneficios esperados por cosecha. En este sentido, pudiera ser adecuado cultivar en aquellos meses donde la relación entre beneficio y costo sea positiva.

Resultados modelación bio-económica del cultivo del pelillo

Crecimiento en biomasa

Los parámetros de crecimiento estacional estimados para la ecuación diferencial que simula la producción de pelillo serían los mostrados en la Tabla 17. De acuerdo a estos valores, las tasas de crecimiento diarias en forma estacional serían las que se muestran en la Figura 63. Según estas estimaciones las tasas máximas se obtendrían a los 12, 15, 22 y 27 días de iniciado el cultivo, en condiciones de verano, primavera, otoño e invierno respectivamente. La biomasa máxima que es posible producir por cuerda se alcanza a distintos ritmos, dependiendo de la velocidad de crecimiento (Figura 64).

Tabla 17.

Parámetros estimados para la ecuación diferencial (ec. 1) a partir de la información productiva proporcionada por informantes calificados en el cultivo suspendido de pelillo en la X Región. El peso asintótico (kg) y el parámetro b representan al crecimiento en biomasa en una cuerda de cultivo.

Ítem	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Peso Asintótico	12,00	12,00	12,00	12,00
b	0,0465	0,0229	0,0183	0,0346

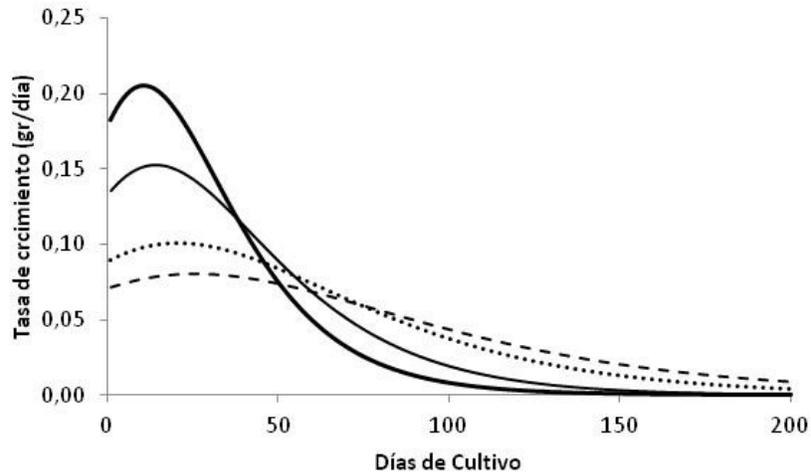


Figura 63. Tasas de crecimiento (gr día^{-1}) estimadas por cuerda en sistemas de cultivo suspendidos horizontales del recurso pelillo. La línea negra gruesa representa el crecimiento en verano; la delgada continua la situación de primavera; la punteada la condici3n de otoño y la segmentada la situaci3n de invierno.

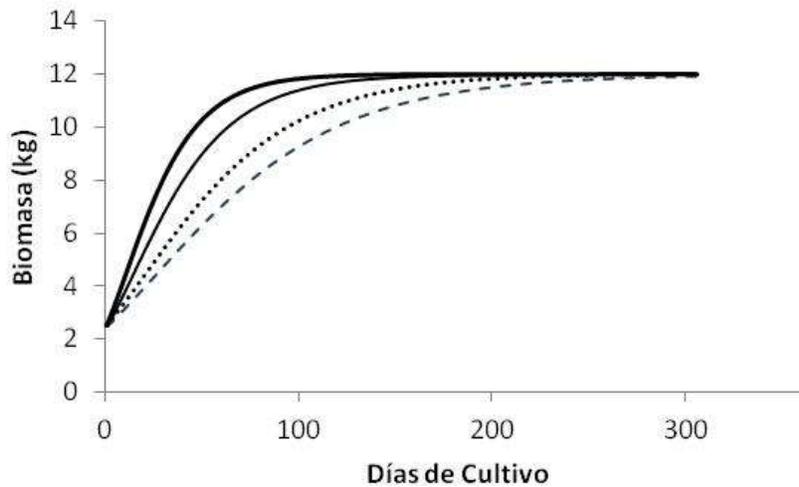


Figura 64. Crecimiento en biomasa por cuerda de cultivo.

Comportamiento del VPN

El resumen de los resultados económicos del cultivo de pelillo en la Regi3n de Los Lagos se muestra en la Tabla 18. La simulaci3n muestra que sólo bajo el Escenario 3 (régimen de cosecha cada 30 días) fue posible obtener valores positivos de VPN luego de dos años. En los escenarios 1 y 2 se



registraron valores negativos para todas las combinaciones. Dentro del escenario 3, el n3mero de combinaciones positivas (rentables al cabo de dos a3os) para producto “alga h3meda” es menor que para el “alga seca a un 30% de humedad”. El escenario que proporciona un mayor VPN es aquel que se obtiene en la opci3n de trabajar con un pr3stamo, con un producto final seco (30% de humedad) y con una superficie de cultivo de 10 hect3reas. Bajo estas condiciones el modelo pronostica a finales del segundo a3o un VPN de \$66,5 millones (Tabla 18). Bajo estas condiciones el comportamiento de la producci3n es como se muestra en la Figura 65. Dado que el crecimiento es estacional, la producci3n mensual ser3 mayor en meses de verano – primavera. En un ciclo de producci3n anual el cultivo producir3 un estimado de 1550 toneladas h3medas. El desempe3o financiero de este escenario de cultivo y cosecha se muestra en la Figura 66. En ella se observa que el ingreso neto es ligeramente superior a los costos totales. Al inicio de cada a3o en VPN aumenta, pero llegado los meses de menor crecimiento tiende a cero, producto de mayores costos que ingresos netos. Sin embargo, al final del primer a3o, cuando el Estado devuelve el 70% de la inversi3n inicial, el VPN se hace positivo. Sin embargo, la pendiente del VPN para el segundo a3o es negativa (Figura 66).

Para este escenario de cultivo se espera que la inversi3n total sea de \$129.313.323. En el caso de financiamiento v3a cr3dito bancario el valor total de este ser3a de \$173.538.603 (CAE 19,8%) pagaderos en 24 cuotas fijas de \$7.230.775. Del total de la inversi3n el Estado reintegrar3a v3a bono por incentivo a la APE \$87.017.924 al finalizar el primer a3o.

La Tabla 19 resume los resultados obtenidos a trav3s de la simulaci3n para la variable de desempe3o n3mero de d3as desde el inicio del cultivo para la recuperaci3n de la inversi3n inicial. Este n3mero de d3as corresponde al momento en el cual el VPN toma un valor cero. Las celdas en color negro en la Tabla 19 representan la combinaci3n de factores (superficie de cultivo, forma de financiamiento, estrategia de cosecha) que generan VPN positivos. En el Escenario 1 no hay combinaciones con VPN que se haga cero antes de d3a 740, es decir, en dos a3os no ser3a posible recuperar la inversi3n inicial. Para el Escenario 2, donde no hay ning3n valor de VPN positivo al cabo de dos a3os (Tabla 17) s3 ocurre un valor de VPN igual a cero al d3a 365 (Tabla 10), al momento en que el estado reintegra el 70% de la inversi3n inicial. Una situaci3n similar se observa para algunos resultados del Escenario 3 (Tablas 18 y 19). La combinaci3n de factores que genera el m3ximo VPN (\$66,5 millones) muestra que el VPN = 0 ocurre precisamente al d3a 365 (Tabla 18 y 19).

An3lisis de riesgo

Los resultados del an3lisis de riesgo indicaron que la probabilidad de exceder el PRL (obtener un VPN igual o menor a \$30 millones) es de 9,5%. En tanto la probabilidad de alcanzar o superar el PRO (obtener un VPN igual o mayor de \$70 millones) es de 48% (Figura 67).



Tabla 18.

Resumen de resultados para la simulación del cultivo suspendido de pelillo en la Región de Los Lagos. Los cuadros negros representan la combinación de variables que generan un VPN positivo al cabo de dos años.

		NÚMERO DE HECTÁREAS										
		3	4	5	6	7	8	9	10			
		NÚMERO DE PARCELAS										
		6	8	10	12	14	16	18	20			
		Escenario										
Con Crédito	Alga Limpia	1	-\$ 39.555.297	-\$ 39.959.232	-\$ 40.363.167	-\$ 50.207.009	-\$ 50.610.945	-\$ 51.014.880	-\$ 60.858.722	-\$ 61.262.657		
		2	-\$ 45.058.180	-\$ 47.296.410	-\$ 49.534.640	-\$ 61.212.776	-\$ 63.451.006	-\$ 65.689.235	-\$ 77.367.372	-\$ 79.605.602		
		3	-\$ 21.395.472	-\$ 15.566.888	-\$ 9.738.305	-\$ 13.349.628	-\$ 7.521.045	-\$ 1.692.461	-\$ 5.303.785	\$ 524.799		
	Alga 30% humedad	1	-\$ 52.070.118	-\$ 52.123.814	-\$ 52.177.510	-\$ 61.671.112	-\$ 61.724.808	-\$ 61.778.504	-\$ 71.272.107	-\$ 71.325.803		
		2	-\$ 12.082.855	-\$ 9.097.879	-\$ 6.112.903	-\$ 12.567.834	-\$ 9.582.858	-\$ 6.597.883	-\$ 13.052.813	-\$ 10.067.838		
		3	\$ 10.498.482	\$ 21.203.187	\$ 31.907.892	\$ 33.172.690	\$ 43.877.395	\$ 54.582.099	\$ 55.846.898	\$ 66.551.602		
Sin Crédito	Alga Limpia	1	-\$ 35.158.798	-\$ 34.891.639	-\$ 34.624.481	-\$ 43.797.229	-\$ 43.530.071	-\$ 43.262.912	-\$ 52.435.661	-\$ 52.168.502		
		2	-\$ 40.661.681	-\$ 42.228.817	-\$ 43.795.953	-\$ 54.802.996	-\$ 56.370.132	-\$ 57.937.268	-\$ 68.944.311	-\$ 70.511.447		
		3	-\$ 16.998.973	-\$ 10.499.296	-\$ 3.999.619	-\$ 6.939.848	-\$ 440.171	\$ 6.059.506	\$ 3.119.277	\$ 9.618.954		
	Alga 30% humedad	1	-\$ 37.249.018	-\$ 32.867.503	-\$ 28.485.987	-\$ 33.544.379	-\$ 29.162.864	-\$ 24.781.348	-\$ 29.839.740	-\$ 25.458.225		
		2	-\$ 39.366.356	-\$ 35.710.286	-\$ 32.054.217	-\$ 37.838.054	-\$ 34.181.985	-\$ 30.525.915	-\$ 36.309.752	-\$ 32.653.683		
		3	-\$ 16.785.019	-\$ 5.409.221	\$ 5.966.578	\$ 7.902.470	\$ 19.278.268	\$ 30.654.067	\$ 32.589.959	\$ 43.965.757		



Tabla 19.

Número de días requerido para que el VPN valga cero. Este punto indica el periodo de tiempo requerido para cubrir la inversión inicial. A partir de este momento el ingreso neto genera solo utilidades. El signo (>740) indica que al cabo de dos años de cultivo no se ha logrado la recuperación de la inversión inicial. El signo (*) representa el día en que se obtiene un VPN = 0, pero que termina volviéndose negativo al final del segundo año. Las celdas negras indican el día desde el cual el VPN se hace cero.

		NÚMERO DE HECTÁREAS								
		3	4	5	6	7	8	9	10	
		NÚMERO DE PARCELAS								
Escenario		6	8	10	12	14	16	18	20	
Con Crédito	Alga Limpia	1	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740
		2	365*	365*	365*	365*	365*	365*	365*	365*
		3	> 740	> 740	365*	365*	365*	365*	365*	365
	Alga 30% humedad	1	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740
		2	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740
		3	365	365	365	365	365	365	365	365
Sin Crédito	Alga Limpia	1	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740
		2	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740
		3	> 740	> 740	> 740	> 740	432	386	391	382
	Alga 30% humedad	1	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740
		2	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740	> 740
		3	> 740	> 740	413	407	373	365	365	365
* VPN cero a ese día, pero vuelve a cero con la operación del segundo año										

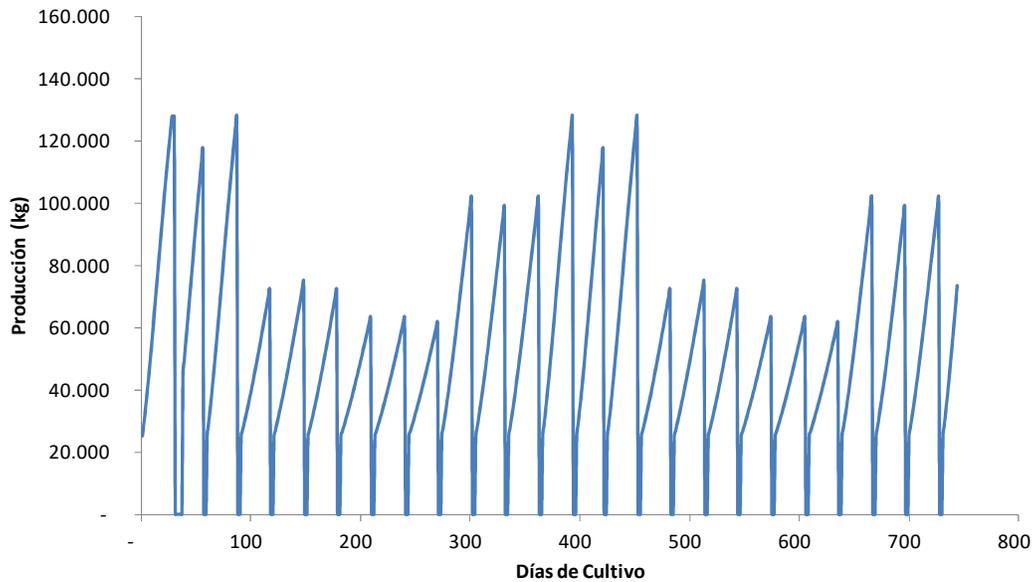


Figura 65. Producci3n de pelillo (en kg) durante el periodo de simulaci3n. Esta producci3n se obtiene con una superficie total de cultivo de 10 hect3reas, la m3xima superficie permitida bajo la definici3n operacional de APE.

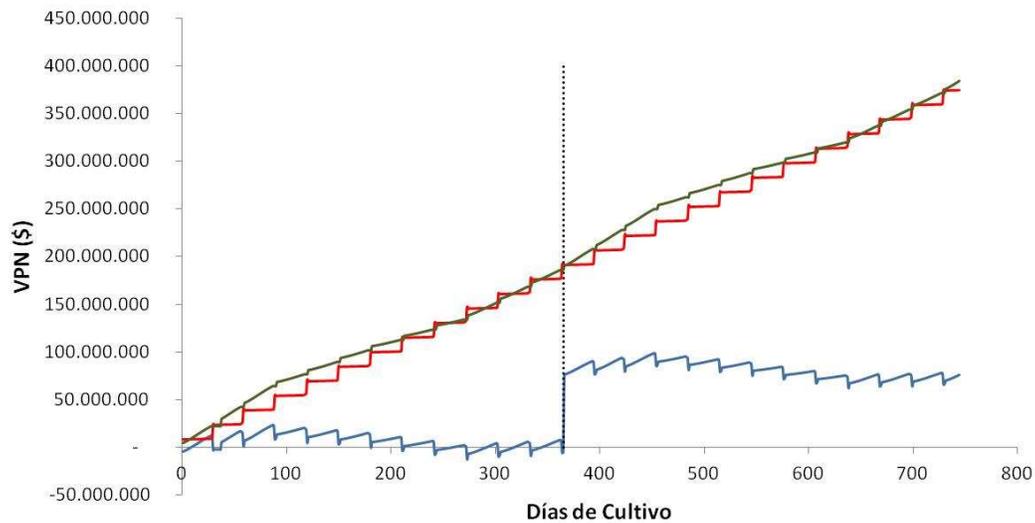


Figura 66. Comportamiento esperado de las variables econ3micas analizadas. La curva verde representa a los ingresos totales; la lnea roja son los costos totales y la lnea azul representa el VPN. La lnea vertical muestra el d3a 365 de cultivo, que es cuando el estado retornar3a a los inversionistas el 70% de la inversi3n inicial.

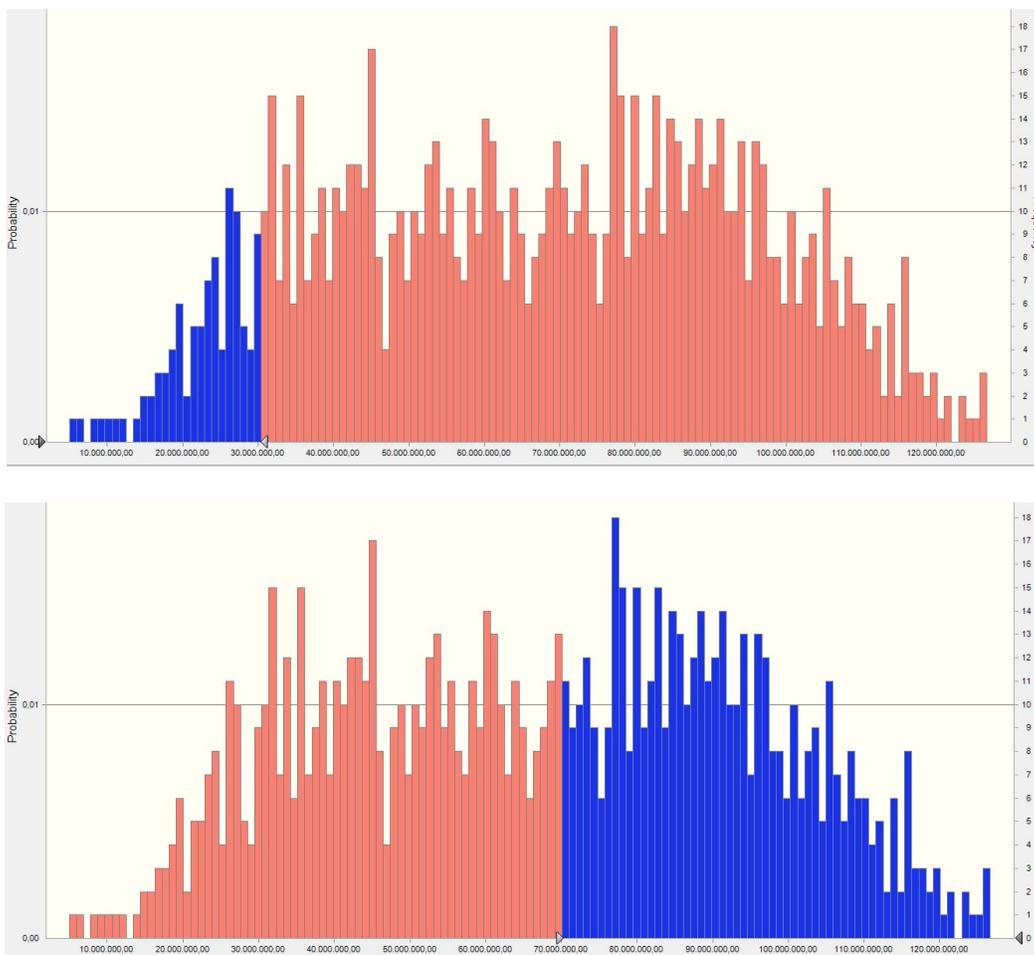


Figura 67. Resultados del análisis de riesgo para el cultivo comercial de pelillo, usando el escenario que proporciona el mayor VPN de la Tabla 11. El gráfico superior muestra en azul la probabilidad de exceder el PRL (\$30 millones, 9,5%), mientras que el inferior muestra el resultado para el PRO (\$70 millones, 48%).

5.5.3. Huiro (*M. pyrifera*)

Descripci3n cualitativa del modelo bio-econ3mico para el cultivo suspendido de huiro

Submodelo Biol3gico

A diferencia de lo realizado para el caso del recurso pelillo, donde se recurri3 a informantes calificados para estructurar el submodelo biol3gico, en el caso del huiro se recurri3 a informaci3n disponible en la literatura, fundamentalmente los trabajos de Westermeier *et al.* (2006), Gutierrez *et al.* (2006), Macchiavello *et al.* (2010) y Guisado *et al.* (2017). Los trabajos disponibles no entregan



información acerca de la variabilidad de la producción por cuelga de manera estacional. Por esta razón, a diferencia de lo realizado en el submodelo biológico de pelillo, la disponibilidad de biomasa se modeló usando una única ecuación. De esta manera la producción es la misma, independiente de la época del año en la cual se inicie el cultivo.

El cultivo se inicia con cuerdas (o cuelgas en la nomenclatura de Guisado *et al.* 2017) que contienen 3 kg de plántulas de huiro de 10 cm de longitud, las que al cabo de seis meses producen aprox. 35 kg de alga húmeda (Guisado *et al.* 2017).

Submodelo Tecnológico

El cultivo se desarrolla en el mar mediante long lines de 100 m de longitud y que se mantiene a flote mediante un sistema basado en boyas y fijadas a fondo mediante un sistema de fondeo de 800 kg (Figura 68). Cada long line soporta 250 cuerdas de cultivo, las que miden 3 m de longitud y se mantienen en posición vertical. En una superficie equivalente a la del cultivo de pelillo, 3 hectáreas, es posible instalar 22 long lines que pueden producir alrededor de 380 ton de alga húmeda. El modelo supone una concesión de APE, asignada a una OPA que ya disponen de infraestructura básica e inversiones para operar. Estos ítems incluyen muelle, botes y motores fuera de borda.

Submodelo Económico

Este submodelo incorpora algunos de aquellos costos descritos en la Tabla 10, esto debido a que las inversiones en botes, motores e infraestructura en tierra ya existen en la organización. Estos costos totales son acumulados a través del tiempo y agrupados como Costos Totales. Los Ingresos Totales son calculados a partir de los Ingresos Totales obtenidos de la venta de la producción. Finalmente, el diferencial entre Ingreso y Costo Total genera un Beneficio o Ingreso Neto, a partir del cual se estima VPN.

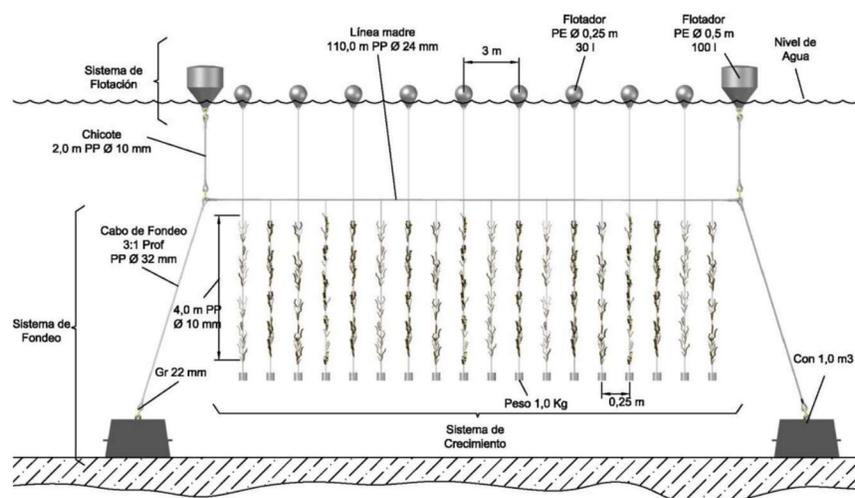


Figura 68. Esquema del sistema de cultivo suspendido para huiro (*M. pyrifera*). Tomado de UCSC (2015).



Descripci3n cuantitativa del modelo bio-econ3mico para el cultivo suspendido de huiro

El modelo matem3tico es estructuralmente similar al descrito para el cultivo de pelillo, excepto por algunas ecuaciones, las que han sido adaptadas a este nuevo tipo de cultivo y adem3s de las diferencias en los insumos del modelo.

Submodelo Biol3gico

La ecuaci3n (1) fue ajustada para que representara el crecimiento en peso del recurso huiro. Para ello se us3 la informaci3n contenida principalmente en el trabajo de Guisado *et al.* (2017) y Macchiavello *et al.* (2010). Para ello, se igual3 el valor de biomasa esperada al cabo de 6 meses de cultivo en lo sugerido por Guisado *et al.* (2017) para la producci3n de huiro por cuelga en la X Regi3n, esto es 35 kg de alga h3meda.

Submodelo Tecnol3gico

A diferencia de las situaciones experimentales descritas por Westermeier *et al.* (2010), por Guti3rrez *et al.* (2010) y Macchiavello *et al.* (2010), quienes usaron cuerdas horizontales, Guisado *et al.* (2017) describen un cultivo vertical, raz3n por la cual se sigui3 este esquema para la construcci3n del submodelo tecnol3gico.

Se ha modificado la ecuaci3n (3) para calcular la biomasa total en el cultivo a trav3s del tiempo

$$BH_t = WH_t \cdot NCLL \cdot NLL \quad (5)$$

Donde WH_t es el peso de una cuelga individual (en kg) en el tiempo t ; $NCLL$ es el n3mero de cueltas por long line y NLL es el n3mero de long lines en el sistema. Los requerimientos t3cnicos para cada long line se detallan en la Tabla 20. El calendario de cosechas se muestra en la Tabla 21.

Tabla 20.

Requerimientos y valorizaci3n para la construcci3n de un sistema de cultivo suspendido de huiro en la Regi3n de Los Lagos (Fuente: Guisado *et al.*, 2017)

Item	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Costo por Item (\$)	%
Flotador 50 l 0,5 m	34	25.000	850.000	59
Flotador 100 l 0,3 m	6	45.000	270.000	19
Cabo 10 mm (\pm 15% perdida)	12,65	125	1.581	0
Cabo 22 mm (\pm 15% perdida)	126,5	399	50.474	4
Cabo 24 mm (\pm 15% perdida)	34,5	400	13.800	1
Cabo 10 mm cueltas (\pm 15% perdida)	862,5	125	107.813	7
Fondeo 800 kg	2	72.000	144.000	10
Costo Total			\$1.437.667	100%

**Tabla 21.**

Escenarios de cosechas evaluados en la simulación del cultivo suspendido de huiro en la Región de Los Lagos.

Escenario	Tipo de Cosecha	Justificación
1	Una cosecha cada seis meses	Guisado et al. (2017)
2	Una cosecha cada cuatro meses	Tiempo menor al sugerido
3	Una cosecha cada 8 meses	Tiempo mayor al sugerido

Submodelo Económico

El desempeño económico se evaluó a través de la ecuación (4) de la misma manera que lo descrito en el caso del cultivo de pelillo.

Las cuelgas de cultivo son construidas (Guisado *et al.* 2017) a partir de plántulas que son compradas a \$80 kg de alga húmeda. Tres kg de alga húmeda son necesarios para la construcción de una cuelga de cultivo de 3 m lineales de cuerda, lo que corresponde a 20 plántulas por cuelga, de una longitud y peso individual de 10 cm y 150 gr, respectivamente. Así, la ecuación (6) estima la cantidad de alga que es necesario comprar para el “sembrado” de las cuelgas (semillas):

$$semH = NLL \cdot NCLL \cdot 3 \quad (6)$$

Donde *semH* es la cantidad de “semilla” de huiro (en kg) y tres es el número de kilos por cuelga. Los costos de operación incluyen sueldos ocasionales, ropa de trabajo, labores de mantenimiento, todos sobre una base mensual. Hay otros costos sobre una base diaria (Tabla 22). Los costos fijos incluyen los sueldos mensuales de empleados, el pago anual de la concesión y las depreciaciones (Tabla 23). Todos los costos son acumulados a través del tiempo.

Tabla 22.

Resumen de los principales costos asociados al cultivo suspendido de huiro en la Región de Los Lagos. (Fuente: Guisado *et al.* 2017)

Item	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Costo por ítem (\$)	Periodicidad
Long Lines	22	1.437.667	31.628.680	Una vez
Mantenimiento motores	1	50.000	50.000	Mensual
Sueldos Empleo Fijo	4	500.000	2.000.000	Mensual
Sueldos Empleo Estacional	3	20.000	60.000	Bimestral
Vestuario	4	20.000	80.000	Mensual
Costos Diarios	1	5.444	5.444	Diario
Imprevistos	1	72.974	72.974	Mensual
Costo alga cultivo	1	1.452.000	1.452.000	Simbra



Tabla 23.
Depreciaciones asociadas al cultivo de huiro en la Regi3n de Los Lagos.

Depreciaci3n	Vida 3til (a3os)	Depreciaci3n diaria (\$)
Botes	5	1.096
Motores	10	685
Sistema de Cultivo	5	822

En el caso del cultivo suspendido de huiro se asume que para cada 3 h3 de cultivo se requiere un trabajador permanente (una aproximaci3n a lo sugerido por Guisado *et al.* 2017). La cantidad de operarios ocasionales, para faenas de cosecha y resiembra, permanece igual que en el caso de pelillo, requiri3ndose dos operarios ocasionales por evento de siembra y cosecha. El precio de venta para el alga h3meda es de \$60 por kilo, mientras que para el alga seca fue de \$200.

An3lisis de riesgo

En an3lisis de riesgo se desarroll3 en las mismas condiciones descritas para el pelillo.

Resultados modelaci3n bio-econ3mica del cultivo de huiro

Crecimiento en biomasa

La ecuaci3n que describe la tasa de crecimiento diaria de la biomasa fue estimada como

$$\frac{dW_t}{dt} = 0,0104 \cdot W_t \cdot \ln\left(\frac{W_t}{55}\right)$$

La ecuaci3n alcanza la m3xima tasa de crecimiento (Figura 69) al d3a 105 (0,21 kg d3a⁻¹)

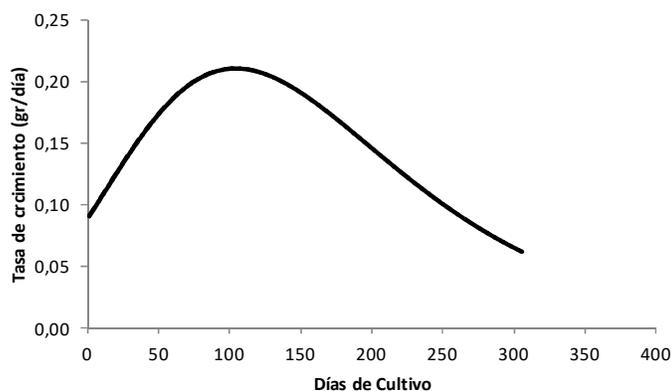


Figura 69. Tasas de crecimiento (gr d3a⁻¹) por cuelga en sistemas de cultivo suspendidos del recurso huiro, estimadas a partir de informaci3n de distintas fuentes recopilada de la literatura.



As3, la din3mica temporal de la biomasa por cuerda de cultivo (Figura 70) presenta el siguiente comportamiento, alcanzando la capacidad de carga alrededor del d3a 365

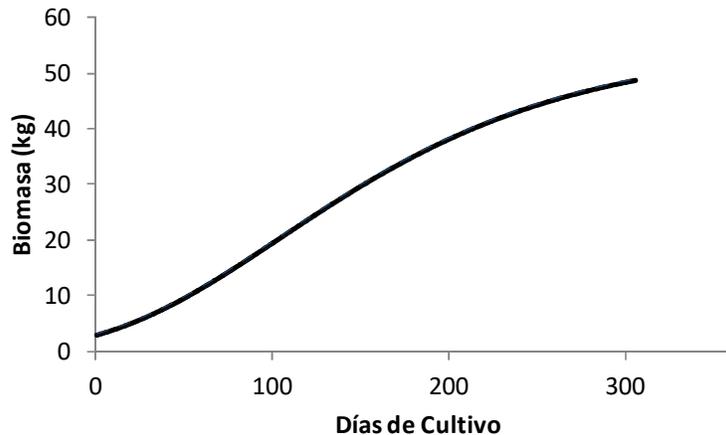


Figura 70. Crecimiento en biomasa por cuerda de cultivo suspendido de huiro en la Regi3n de Los Lagos, estimada a partir de las tasas de crecimiento descritas en la Fig. 52.

Comportamiento del VPN

Los resultados indican (Tabla 24) que, de los escenarios evaluados, bajo ninguna combinaci3n de factores el cultivo suspendido del recurso huiro permite obtener VPN positivos. En situaciones extremas, como por ejemplo un cultivo con una superficie de 10 hect3reas, con financiamiento propio, con un producto final seco (30% de humedad) y con una cosecha cada cuatro meses el VPN podr3a llegar a alcanzar un valor de -\$254 millones. De los escenarios evaluados, el menos adverso est3 representado por un cultivo de 3 hect3reas, con dos cosechas anuales, con un producto final seco (30% de humedad) y financiado v3a cr3dito (Tabla 24), logrando un valor negativo de -\$28.3 millones.

En este 3ltimo escenario, se producen 4 cosechas en los dos a3os simulados (dos cosechas anuales, una cada seis meses). El nivel de producci3n de cada una de estas cosechas equivale a 77 toneladas, es decir una producci3n de 154 toneladas de huiro anual (Figura 71). Este nivel de producci3n, con un precio de venta de \$200 por kilo genera una curva de ingresos totales muy por debajo de la curva de los costos totales (Figura 72). Esto hace que el VPN muestre una pendiente negativa, que tiende a recuperarse en el momento en que el Estado reintegra el 70% de la inversi3n inicial al cabo del primer a3o. Sin embargo, por la estructura de costos y el bajo ingreso la curva retoma su tendencia negativa durante el segundo a3o.

Para este escenario de cultivo se espera que la inversi3n total sea de \$46.894.005. En el caso de financiamiento v3a cr3dito bancario el valor total de este ser3a de \$65.464.031 (CAE 19,8%) pagaderos en 24 cuotas fijas de \$2.727.668. Del total de la inversi3n el Estado reintegrar3a v3a bono por incentivo a la APE \$32.825.804 al finalizar el primer a3o.



Tabla 24.

Resumen de resultados para la simulación del cultivo suspendido de huiro en la Región de Los Lagos. Los cuadros negros representan la combinación de variables que generan un VPN positivo al cabo de dos años.

		Escenario	NÚMERO DE HECTÁREAS							
			3	4	5	6	7	8	9	10
Con Crédito	Alga Limpia	1	-\$ 45.634.242	-\$ 57.313.504	-\$ 68.992.765	-\$ 80.672.026	-\$ 92.351.287	-\$ 104.030.548	-\$ 115.709.810	-\$ 127.389.071
		2	-\$ 83.316.522	-\$ 104.409.908	-\$ 125.503.294	-\$ 156.036.586	-\$ 177.129.972	-\$ 198.223.358	-\$ 228.756.650	-\$ 249.850.036
		3	-\$ 75.125.870	-\$ 93.489.038	-\$ 111.852.206	-\$ 139.655.281	-\$ 158.018.449	-\$ 176.381.618	-\$ 204.184.693	-\$ 222.547.861
	Alga 30% humedad	1	-\$ 28.263.836	-\$ 39.949.064	-\$ 51.634.293	-\$ 63.319.521	-\$ 75.004.750	-\$ 86.689.978	-\$ 98.375.207	-\$ 110.060.435
		2	-\$ 65.970.694	-\$ 87.064.080	-\$ 108.157.465	-\$ 138.690.758	-\$ 159.784.143	-\$ 180.877.529	-\$ 211.410.821	-\$ 232.504.207
		3	-\$ 57.743.675	-\$ 76.115.961	-\$ 94.488.247	-\$ 122.300.439	-\$ 140.672.725	-\$ 159.045.011	-\$ 186.857.203	-\$ 205.229.489
Sin Crédito	Alga Limpia	1	-\$ 44.140.595	-\$ 55.396.424	-\$ 66.652.253	-\$ 77.908.081	-\$ 89.163.910	-\$ 100.419.739	-\$ 111.675.568	-\$ 122.931.397
		2	-\$ 80.129.145	-\$ 100.234.522	-\$ 120.339.899	-\$ 149.885.182	-\$ 169.990.559	-\$ 190.095.936	-\$ 219.641.219	-\$ 239.746.596
		3	-\$ 71.938.493	-\$ 89.313.652	-\$ 106.688.811	-\$ 133.503.877	-\$ 150.879.036	-\$ 168.254.196	-\$ 195.069.261	-\$ 212.444.421
	Alga 30% humedad	1	-\$ 58.450.189	-\$ 69.711.985	-\$ 80.973.781	-\$ 92.235.577	-\$ 103.497.373	-\$ 114.759.169	-\$ 126.020.965	-\$ 137.282.761
		2	-\$ 94.463.317	-\$ 114.568.694	-\$ 134.674.070	-\$ 164.219.354	-\$ 184.324.730	-\$ 204.430.107	-\$ 233.975.390	-\$ 254.080.767
		3	-\$ 86.236.298	-\$ 103.620.575	-\$ 121.004.852	-\$ 147.829.035	-\$ 165.213.312	-\$ 182.597.589	-\$ 209.421.772	-\$ 226.806.049

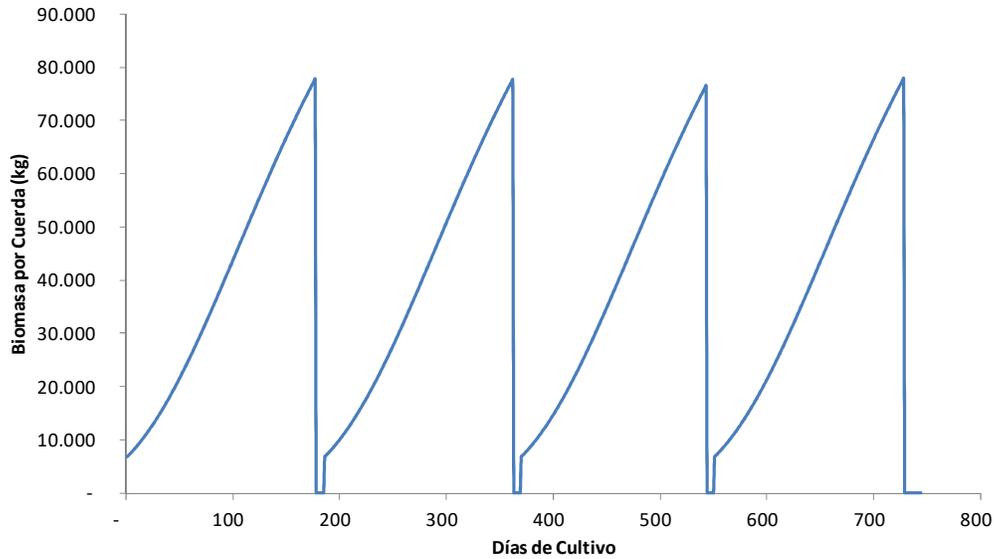


Figura 71. Producci3n de huiro (en kg) durante el periodo de simulaci3n. Esta producci3n se obtiene con una superficie total de cultivo de 3 hect3reas.

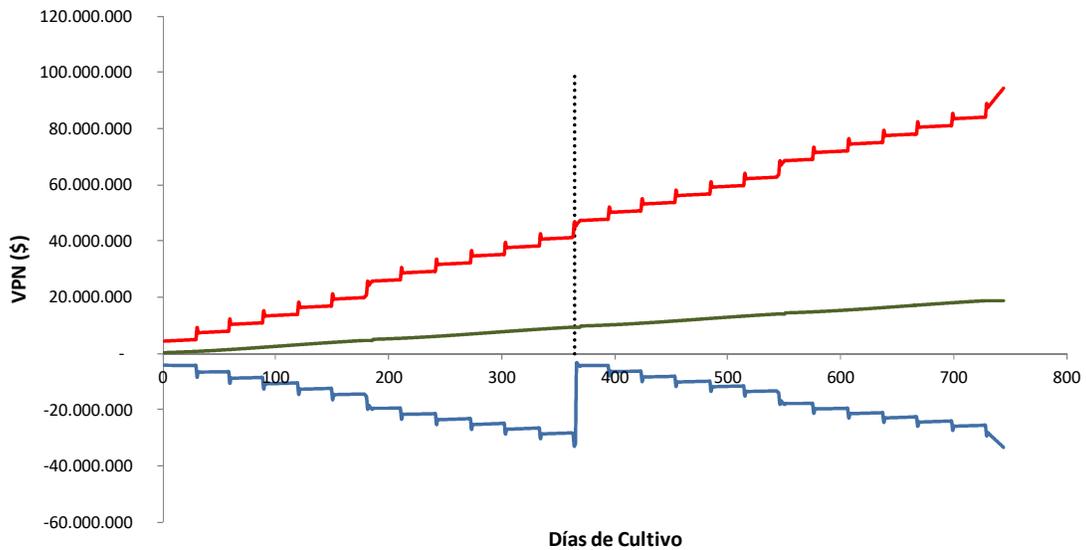


Figura 72. Comportamiento esperado de las variables econ3micas analizadas. La curva verde representa a los ingresos totales; la lnea roja son los costos totales y la lnea azul representa el VPN. La lnea vertical muestra el d3a 365 de cultivo, que es cuando el Estado retornar3a a los inversionistas el 70% de la inversi3n inicial.



Análisis de riesgo

El análisis de riesgo fue desarrollado en los mismos términos que aquellos descritos para el caso del recurso pelillo. Sin embargo, en este caso el resultado del análisis de Monte Carlo puso en evidencia que la probabilidad de exceder el PRL es del 100%, no existiendo ninguna posibilidad de alcanzar el PRO (Figura 73). Todos los valores de VPN estuvieron por debajo del nivel \$0.

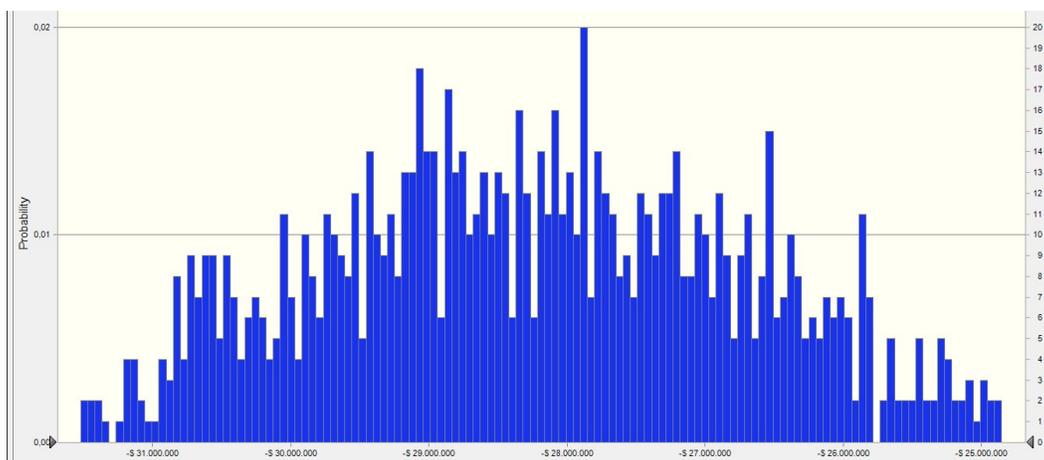


Figura 73. Resultados del análisis de riesgo para el cultivo comercial de huiro, usando el escenario que proporciona el mayor VPN de la Tabla 23. El gráfico muestra en azul la probabilidad de exceder el PRL (\$30 millones, 100%), El gráfico con la probabilidad para alcanzar el PRO (\$70 millones) no se muestra ya que no hay ninguna observación, entre los mil ciclos del análisis de Monte Carlo, que se aproxime a los \$70 millones.

5.5.4. Luga Negra (*S. crispata*)

Descripción cualitativa y cuantitativa del modelo bio-económico para el cultivo suspendido de luga negra

Submodelo Biológico

Aunque existe información sobre el crecimiento de esta alga, gran parte de ella está referida a crecimiento en estados tempranos de desarrollo y en condiciones de laboratorio (i.e. Mansilla et al., 2004), es muy escasa la información disponible sobre el crecimiento del recurso luga negra en sistemas de cultivo suspendido. Para modelar el comportamiento del recurso se utilizó la información proporcionada por Romo et al. (2001) quienes cultivaron luga negra en de forma suspendida, y midieron el incremento en biomasa por metro lineal de cultivo. Estos autores cultivaron el recurso en la VIII Región a tres profundidades distintas: 0,5; 2,5 y 3,5 m. Notaron que, al cabo de 9 meses de cultivo, a 3,5 m de profundidad se obtuvieron los mejores resultados en términos de producción por metro lineal. A los 5 meses de cultivo, el peso del metro lineal con alga fue de aprox. 0,250 kg, mientras que al cabo de nueve meses la producción había llegado a 1,5 kg m⁻¹. Desgraciadamente,



los autores no proporcionan el dato de cuánto pesaba el metro lineal de cuerda con alga al inicio del cultivo suspendido. Con esta información se ajustó una curva teórica de crecimiento estimando los parámetros de la ecuación (1). En el cultivo propuesto de luga negra hay una biomasa de 1 kg por metro lineal al inicio del cultivo suspendido. A los 90 días la biomasa estaría en alrededor de 3 kg m⁻¹ y al cabo de 180 días en 6 kg m⁻¹. La curva ajustada se hizo converger en estas cantidades en los días señalados estimando el valor de los parámetros de la ecuación (1) que satisfagan dicha condición.

Submodelo Tecnológico

El modelo bio-económico empleado para el caso del recurso luga negra es conceptual y estructuralmente similar al empleado para el caso de *M. pyrifera* (huairo) y descrito en la sección anterior, siendo la principal diferencia que la cuerda de cultivo es doble y posee una longitud de 500 m. Tecnológicamente también difiere en el tipo y la cantidad de boyas requeridas en el sistema de flotabilidad, pero en esencia es similar (Figura 74).

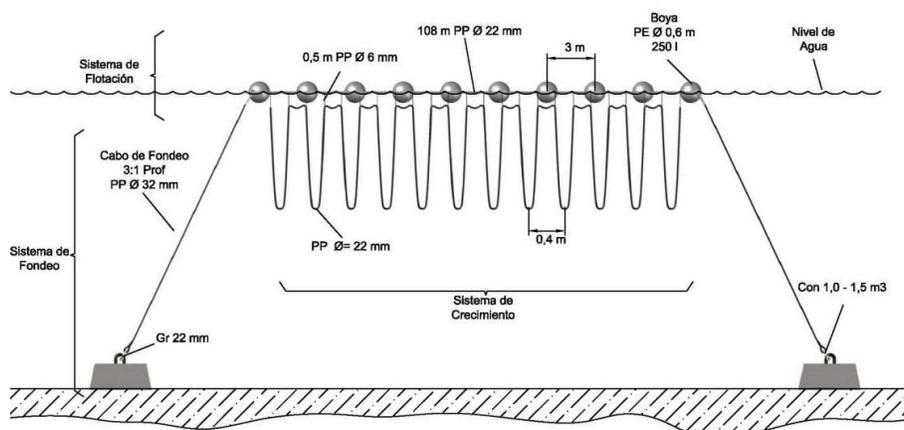


Figura 74. Esquema del sistema de cultivo suspendido para luga negra (*S. crispata*). Tomado de UCSC (2015).

Al igual que en el modelo bio-económico descrito para huairo, para el caso de luga negra también se asume que se requieren como empleo ocasional dos personas por cada dos long lines de cultivo. Estos operarios ocasionales son requeridos para las funciones de cosecha y siembra de semillas. El tiempo requerido para estas actividades es de sólo 7 días. En cuanto a los empleos directos el modelo asume que se requieren dos personas de tiempo completo para manejar tres hectáreas de cultivo.

En cuanto al número de long line por hectárea de cultivo se estima que (Guisado *et al.* 2017) por cada hectárea es posible instalar 6 líneas. Así, la cantidad factible de long lines en el modelo puede



ser entre 18 (3 hect3reas) y 60 (10 hect3reas). Cada long line tiene un valor de construcci3n de aproximadamente \$959 mil (Tabla 25), donde el sistema de flotaci3n representa el costo m3s elevado (65% del total).

En cuanto al esquema de cosechas (Tabla 26), se sigui3 la recomendaci3n de Guisado *et al.* (2017), en cuanto a realizar dos cosechas anuales (Escenario 1). Alternativamente, Guisado *et al.* (2017) tambi3n sugieren que podr3an ser tres (Escenario 2). Tambi3n se evalu3 como Escenario 3 un esquema que contempla una cosecha cada ocho meses.

Tabla 25.

Requerimientos y valorizaci3n para la construcci3n de un sistema de cultivo suspendido (long line) de luga negra en la Regi3n de Los Lagos.

Item	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Costo por Item (\$)	%
Flotador 50 l 0,5 m	25	25.000	625.000	65
Cabo 10 mm (\pm 15% perdida)	12,65	125	1.581	0
Cabo 22 mm (\pm 15% perdida)	126,5	399	50.474	5
Cabo 24 mm (\pm 15% perdida)	34,5	400	13.800	1
Cabo 10 mm cuelgas (\pm 15% perdida)	1000	125	125.000	13
Fondeo 800 kg	2	72.000	144.000	15
Costo Total			\$959.855	100%

Tabla 26.

Escenarios de cosechas evaluados en la simulaci3n del cultivo suspendido de luga negra en la Regi3n de Los Lagos.

Escenario	Tipo de Cosecha	Justificaci3n
1	Dos cosechas anuales	Guisado <i>et al.</i> (2017)
2	Tres cosechas anuales	Guisado <i>et al.</i> (2017)
3	Una cosecha cada 8 meses	Guisado <i>et al.</i> (2017)

Submodelo Econ3mico

En cuanto a otras inversiones requeridas para preparar el producto para la venta, tanto para el alga h3meda limpia como para el alga seca (30% humedad) se necesitan las mismas instalaciones descritas para los recursos anteriores (Tabla 27). Otras inversiones y gastos corrientes dentro del cultivo se detallan en la Tabla 28. Las depreciaciones consideradas por el modelo se detallan en la Tabla 29. El precio de venta para el alga h3meda fue estimado en \$300 kg, mientras que para el alga seca fue de \$1.000 kg. Los valores suponen que el productor vende directamente a plantas de proceso, sin intermediarios. El precio por kilo seco representa el techo observado. El precio por alga h3meda se consider3 a partir de que tres kilos de alga h3meda son necesarios para producir un kilo de alga seca (30% de humedad).



Tabla 27.

Estructura de costos asociado a producción de alga húmeda limpia (AH) y alga seca (AS) con 30% de humedad. (Adaptado de Guisado *et al.* 2017)

Item	Línea de producción que requiere del Item	Unidades	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Tecele	AH - AS	2	52.500	105.000
Grúa/Pluma Levante	AH - AS	2	350.000	700.000
Viga de Soporte	AH - AS	2	150.000	300.000
Mesones de envasado	AH - AS	4	80.000	320.000
Enfardadora metálica	AH - AS	1	350.000	350.000
Tendederos	AH - AS	50	10.000	500.000
Máquina Secadora	AS	1	31.680.000	31.680.000
Total				33.955.000

Tabla 28.

Resumen de costos en otras inversiones y gastos corrientes asociados al cultivo suspendido de luga negra. En el modelo la cantidad de hectáreas de cultivo puede ser modificado, y en función de ellas se calcula endógenamente la mano de obra, permanente y estacional.

Tipo	Descripción	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Costo por Ítem (\$)	Frecuencia
Inversiones	Balsa de trabajo	1	2.000.000	2.000.000	Inicio
Sist. Producción	Long Lines	9	959.855	8.638.693	Inicio
Mantenimiento	Caseta Vigilancia	1	30.000	30.000	Mensual
	Motores	1	50.000	50.000	Mensual
	Sistema de cultivo	1	100.000	100.000	Mensual
Sueldos	Personal fijo	1,8	500.000	900.000	Mensual
	Personal ocasional	18	20.000	360.000	Cosechas
Ropa Trabajo	Guantes, botas, etc.	1	20.000	20.000	Mensual
Pago Concesión	Pago Concesión	1	273.000	273.000	Anual
Otros	Costos diarios	1	5.444	5.444	Diario
	Imprevistos	1	72.974	72.974	Diario

Tabla 29.

Depreciaciones asociadas al cultivo de luga negra.

Depreciación	Vida Útil (años)	Depreciación diaria (\$)
Balsa	5	1.096
Botes	10	685
Motores	2	2.055
Sistema de Cultivo	10	2.367



Resultados modelaci3n bio-econ3mica del cultivo de luga negra

Crecimiento en biomasa

La tasa de crecimiento (kg d3a⁻¹) estimada para este recurso puede ser descrita por la siguiente ecuaci3n

$$\frac{dW_t}{dt} = 0,0053 \cdot W_t \cdot \ln\left(\frac{W_t}{18,6}\right)$$

la cual alcanza un m3ximo (Figura 75) al d3a 204 (0,036 kg d3a⁻¹), lo que es considerado como un crecimiento lento. Esto se ve reflejado en la curva de crecimiento en biomasa (Figura 76) donde se aprecia que al cabo de un a3o la curva no llega a su as3ntota.

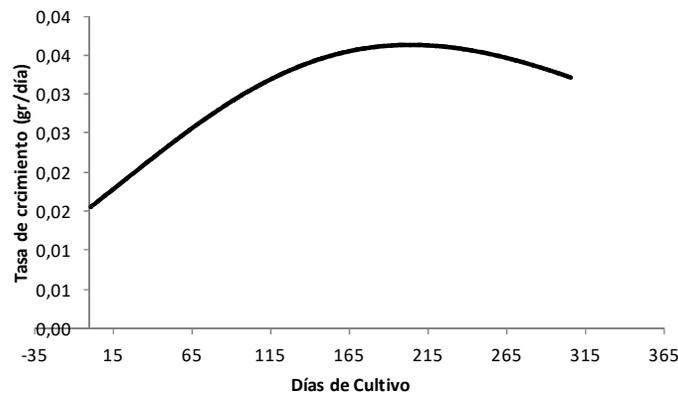


Figura 75. Tasas de crecimiento (gr d3a⁻¹) estimada por metro lineal en sistemas de cultivo suspendidos de luga negra.

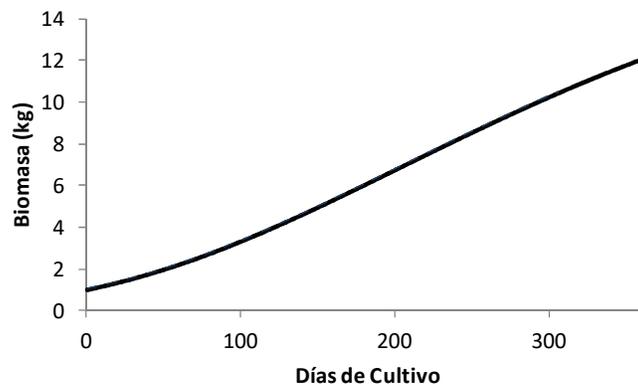


Figura 76. Crecimiento en biomasa por metro lineal en cada cuerda de cultivo suspendido de luga negra en la Regi3n de Los Lagos.



Comportamiento del VPN

El VPN muestra valores positivos al final del segundo a1o de simulaci3n en casi todo el rango de combinaciones de factores, superficie de cultivo, estrategia de cosecha, tipo de producto final y forma de financiamiento (Tabla 30).

En condiciones de financiamiento v1a cr3dito, tanto para el alga seca como para el alga h1meda todos los escenarios de cosecha son rentables. En condiciones que el financiamiento sea propio, todas las combinaciones son positivas (Tabla 30), a excepci3n del alga seca producida en una superficie de 3 hect1reas (Tabla 29). El valor de VPN igual a cero se alcanza a distintos d1as dependiendo de las combinaciones de cultivos (Tabla 31).

El mayor VPN ocurre con la combinaci3n financiamiento con cr3dito, venta de alga seca, con 10 hect1reas cultivadas y en el escenario 3 (Tabla 30). En estas condiciones el VPN al final del segundo a1o ser1a de \$152 millones. En estas condiciones la producci3n esperada por evento de cosecha (Figura 77) es de aproximadamente 500 ton.

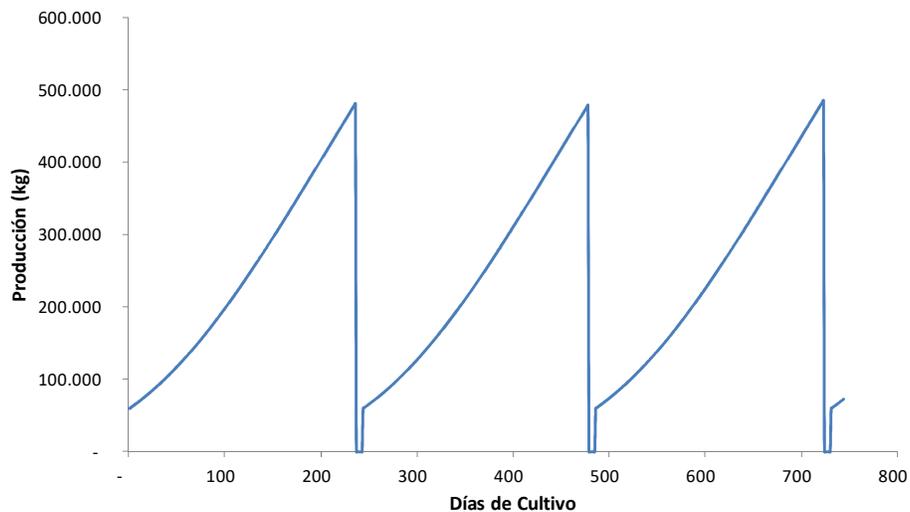


Figura 77. Producci3n de luga negra (en kg) durante el periodo de simulaci3n. Esta producci3n se obtiene con una superficie total de cultivo de 10 hect1reas.



Tabla 30.

Resumen de resultados para la simulación del cultivo suspendido de luga negra en la Región de Los Lagos. Los cuadros negros representan la combinación de variables que generan un VPN positivo al cabo de dos años.

		Escenario	NÚMERO DE HECTÁREAS						
			3	4	5	6	7	8	9
Con Crédito	Alga Limpia	1	\$ 24.922.970	\$ 37.528.986	\$ 50.135.001	\$ 62.741.017	\$ 75.347.032	\$ 87.953.048	\$ 100.559.063
		2	\$ 12.023.976	\$ 20.330.326	\$ 28.636.677	\$ 36.943.027	\$ 45.249.378	\$ 53.555.729	\$ 61.862.079
		3	\$ 31.816.403	\$ 46.826.724	\$ 61.837.044	\$ 76.847.365	\$ 91.857.685	\$ 106.868.005	\$ 121.878.326
	Alga 30% humedad	1	\$ 42.148.979	\$ 54.704.042	\$ 67.259.104	\$ 79.814.166	\$ 92.369.228	\$ 104.924.291	\$ 117.479.353
		2	\$ 29.369.804	\$ 37.676.155	\$ 45.982.505	\$ 54.288.856	\$ 62.595.206	\$ 70.901.557	\$ 79.207.908
		3	\$ 46.844.263	\$ 61.854.583	\$ 76.864.904	\$ 91.875.224	\$ 106.885.544	\$ 121.895.865	\$ 136.906.185
Sin Crédito	Alga Limpia	1	\$ 27.038.893	\$ 40.210.316	\$ 53.381.738	\$ 66.553.161	\$ 79.724.583	\$ 92.896.006	\$ 106.067.428
		2	\$ 14.139.899	\$ 23.011.656	\$ 31.883.414	\$ 40.755.172	\$ 49.626.929	\$ 58.498.687	\$ 67.370.445
		3	\$ 33.932.326	\$ 49.508.054	\$ 65.083.781	\$ 80.659.509	\$ 96.235.236	\$ 111.810.964	\$ 127.386.691
	Alga 30% humedad	1	\$ 12.584.902	\$ 25.705.372	\$ 38.825.841	\$ 51.946.310	\$ 65.066.780	\$ 78.187.249	\$ 91.307.719
		2	-\$ 194.273	\$ 8.677.485	\$ 17.549.242	\$ 26.421.000	\$ 35.292.758	\$ 44.164.515	\$ 53.036.273
		3	\$ 17.280.186	\$ 32.855.913	\$ 48.431.641	\$ 64.007.368	\$ 79.583.096	\$ 95.158.823	\$ 110.734.551

Tabla 31.

Número de días requerido para que el VPN valga cero. Este punto indica el periodo de tiempo requerido para cubrir la inversión inicial. A partir de este momento el ingreso neto genera solo utilidades. El signo (>740) indica que al cabo de dos años de cultivo no se ha logrado la recuperación de la inversión inicial. El signo (*) representa el día en que se obtiene un VPN = 0, pero que termina volviéndose negativo al final del segundo año. Las celdas negras indican el día desde el cual el VPN se hace cero.

		Escenario	NÚMERO DE HECTÁREAS						
			6	8	10	12	14	16	18
Con Crédito	Alga Limpia	1	109	105	102	100	99	84	84
		2	324	288	277	189	170	168	166
		3	109	105	102	100	99	84	84
	Alga 30% humedad	1	109	105	102	100	99	98	97
		2	324	289	193	189	187	168	166
		3	109	105	102	100	99	98	97
Sin Crédito	Alga Limpia	1	344	321	311	298	293	290	287
		2	365	365	365	365	365	365	365
		3	329	298	283	262	253	245	214
	Alga 30% humedad	1	369	365	365	365	365	365	365
		2	683	444	398	365	365	365	365
		3	369	365	365	365	365	365	365



En estas condiciones, y a pesar de una fase inicial donde el ingreso total es inferior a los costos totales (Figura 78), la situación cambia alrededor del día 90 cuando ambas cantidades se igualan. El VPN se hace cero al día 97 y continúa siendo positivo hasta el día 365 que es cuando ocurre el reintegro del 70% de la inversión inicial ofrecida como un estímulo por arte del Estado.

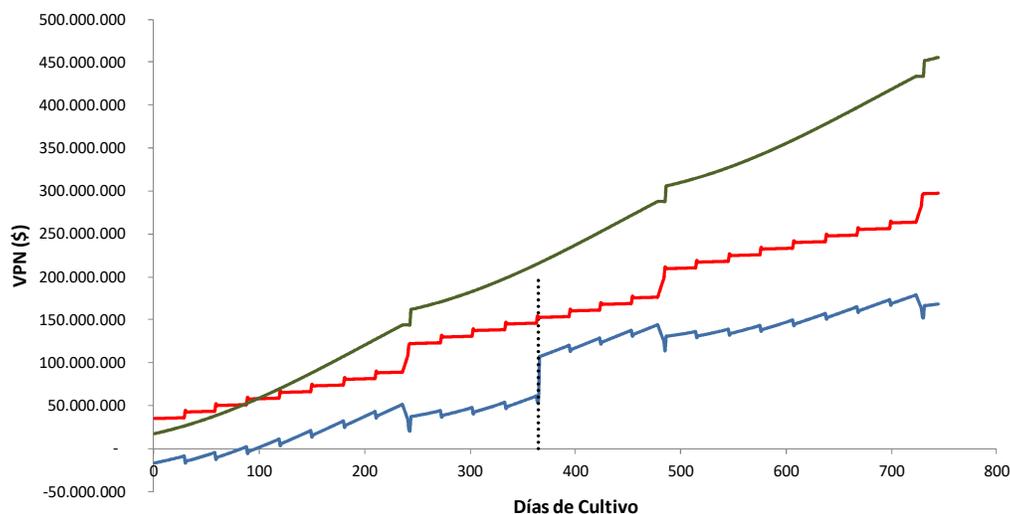


Figura 78. Comportamiento esperado de las variables económicas analizadas para el cultivo que genera el mayor VPN observado en la Tabla 29. La curva verde representa a los ingresos totales; la línea roja son los costos totales y la línea azul representa el VPN. La línea vertical muestra el día 365 de cultivo, que es cuando el Estado retornaría a los inversionistas el 70% de la inversión inicial.

Para este escenario de cultivo se espera que la inversión total sea de \$93.546.285. En el caso de financiamiento vía crédito bancario el valor total de este sería de \$130.590.614 (CAE 19,8%) pagaderos en 24 cuotas fijas de \$5.441.276. Del total de la inversión el Estado reintegraría vía bono por incentivo a la APC \$56.595.502 al finalizar el primer año.

Análisis de Riesgo

El análisis de riesgo fue desarrollado en los mismos términos que aquellos descritos para el caso del pelillo y huiro, esto es, aplicando una variación de +/- 15% en el parámetro b de la Ecuación (1) y en los precios de venta tanto para el alga seca como húmeda. Para el caso del recurso luga negra el resultado del análisis de Monte Carlo mostró que la probabilidad de exceder el PRL fue de 0,0% (Figura 79), mientras que la probabilidad de alcanzar el PRO fue de 100% (Figura 79).



Figura 79. Resultados del an3lisis de riesgo para el cultivo comercial de luga negra, usando el escenario que proporciona el mayor VPN de la Tabla 29. El gr3fico superior muestra en azul la probabilidad de exceder el PRL (\$30 millones, 0,0%), mientras que el inferior muestra el resultado para el PRO (\$70 millones, 100%).



5.5.5. Chicorea de mar (*C. chamissoi*)

Descripción cualitativa y cuantitativa del modelo bio-económico para el cultivo suspendido de chicorea de mar

Submodelo Biológico

El modelo supone el crecimiento de chicorea cultivada en sistemas suspendidos a un metro de profundidad. A esta profundidad se ha reportado que, en la zona de Coquimbo y Calderilla, el alga presenta el mayor incremento en biomasa (Bulboa *et al.* 2005). Estos autores muestran valores de incremento mensual en biomasa en experimentos de cuatro meses de duración, repetidos estacionalmente. Así, describen el comportamiento de la biomasa durante las cuatro estaciones del año. Así, los máximos rendimientos fueron observados durante el experimento de otoño, donde se obtuvo un rendimiento cercano a los 160 g m⁻¹ y el menor en verano con casi 50 g m⁻¹. Es importante señalar que en este experimento, los autores insertaron frondas gametofíticas y esporofíticas en cuerdas de polipropileno de 7 mm de diámetro, de modo que tales observaciones son válidas bajo este esquema de siembra. Guisado *et al.* (2017) proponen otro método de siembra a través del uso de cuelgas, hechas en tela de red, de 4 m de longitud. Estas cuelgas son dispuestas en un sistema de long line que soportan 200 de estas cuelgas, es decir un total de 800 m lineales con algas inoculadas por cada long line. De acuerdo a Guisado *et al.* (2017) para la Región de Los Lagos, un sistema de estas características es capaz de producir 1.900 kg por long line, es decir, 2,375 kg m⁻¹. De ser así es un sistema mucho más productivo que el seguido por Bulboa *et al.* (2005), aunque mucho depende de la densidad inicial en las cuelgas y cuerdas (Bulboa *et al.* 2005; Guisado *et al.* 2017) y por variaciones geográficas (Bulboa *et al.* 2008).

Con fines del modelo y teniendo como base los antecedentes anteriores, el modelo supone para la Región de Los Lagos un crecimiento, desde la cuerda inoculada que es puesta en el long line, de 2,5 kg por cuerda a los tres meses y de 3 kg por cuerda a los cuatro meses de cultivo.

Submodelo Tecnológico

Como se ha mencionado para huiri y luga negra, el modelo bio-económico para chicorea es conceptual y estructuralmente similar a éstos. El modelo asume un sistema de cultivo suspendido en long line como el descrito por Macchiavello *et al.* (2013), UCSC (2015) y Guisado *et al.* (2017) para la Región de Los Lagos (Figura 80). Las diferencias básicas con los otros sistemas suspendidos descritos para los recursos precedentes son el tipo de cabo usado en su construcción y el tipo de fondeo (Tabla 32).

Para el caso de chicorea se asume que se requieren como empleo ocasional dos personas por cada hectárea de cultivo. Estos operarios ocasionales son requeridos para las funciones de cosecha y siembra de semillas. En cuanto a los empleos directos el modelo asume que se requieren dos personas de tiempo completo para manejar dos hectáreas de cultivo.

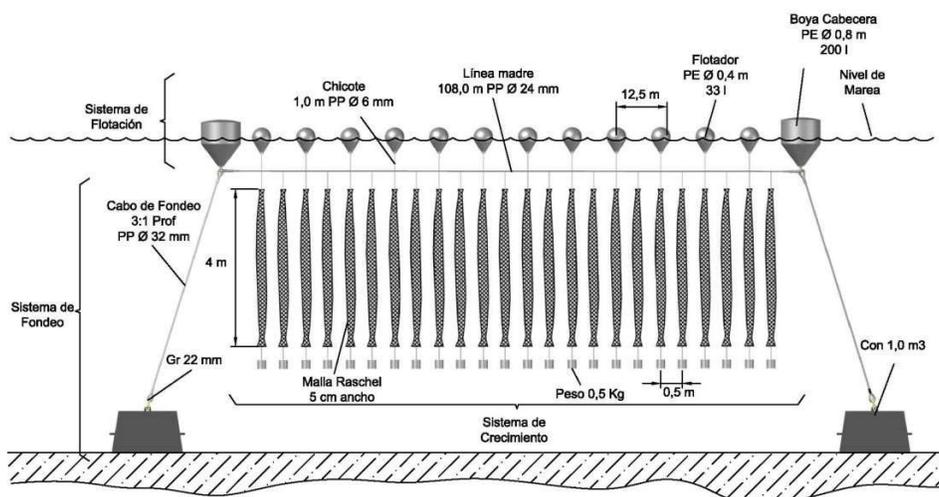


Figura 80. Esquema del sistema de cultivo suspendido para chicorea de mar (*C. chamissoi*). Tomado de UCSC (2015).

Tabla 32.

Requerimientos y valorizaci3n para la construcci3n de un sistema de cultivo suspendido (long line) de chicorea de mar en la Regi3n de Los Lagos. (Fuente: Macchiavello *et al.* 2016)

Item	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Costo por Item (\$)	%
Flotador 30 l 0,5 m	30	25.000	750.000	75
Cabo 22 mm (\pm 15% perdida)	253	399	100.947	10
Cabo 10 mm cuelgas (\pm 15% perdida)	253	125	31.625	3
Fondeo 250 kg	6	20.000	120.000	12
Otros				
Costo Total			\$959.855	100%

En cuanto al n3mero de long line por hect3rea de cultivo, Guisado *et al.* (2017) estiman que por cada hect3rea es posible instalar 8 l3neas. As3, la cantidad factible de long lines en el modelo puede ser entre 24 (3 hect3reas) y 80 (10 hect3reas). Cada long line tiene un valor de construcci3n de aproximadamente \$1 mill3n (Tabla 32), donde el sistema de flotaci3n representa el costo m3s elevado (75% del total).

En t3rminos del esquema de cosechas (Tabla 33), se sigui3 la recomendaci3n de Guisado *et al.* (2017) en cuanto a realizar una cosecha cada cinco meses (Escenario 1). Alternativamente, Guisado *et al.* (2017) tambi3n sugieren que podr3an hacer cosechas cada tres meses (Escenario 2). Tambi3n se evalu3 como Escenario 3 un esquema que contempla una cosecha cada cuatro meses.



Tabla 33.

Escenarios de cosechas evaluados en la simulación del cultivo suspendido de chicorea de mar en la Región de Los Lagos.

Escenario	Tipo de Cosecha	Justificación
1	Una cosecha cada cinco meses	Guisado <i>et al.</i> (2017)
2	Una cosecha cada tres meses	Guisado <i>et al.</i> (2017)
3	Una cosecha cada cuatro meses	Valor intermedio

Submodelo Económico

Las ecuaciones involucradas en este submodelo son, en general, las mismas que ya fueron descritas para el caso del submodelo económico del pelillo. Cambian algunos ítems y se actualizan los valores de las variables de entrada de acuerdo a los nuevos requerimientos tecnológicos del cultivo.

Otros cambios guardan relación con el tipo de producto final. En el caso de chicorea, su cultivo está pensado en el consumo humano en fresco. Por esta razón, no se evalúa su producción como alga seca, ni se requieren las inversiones en tierra para generar este producto final. Así, las inversiones requeridas guardan relación con las instalaciones en tierra necesarias para el secado y en general, los mismos ítems descritos en la Tabla 27, pero excluyendo el sistema de secado. Otras inversiones y gastos corrientes dentro el cultivo se detallan en la Tabla 34. Los montos asociados a las depreciaciones en este cultivo se detallan en la Tabla 35. El precio de venta para el alga húmeda fue de \$500 kg⁻¹.

Tabla 34.

Resumen de costos en otras inversiones y gastos corrientes asociados al cultivo suspendido de chicorea de mar. En el modelo la cantidad de hectáreas de cultivo puede ser modificado, y en función de la superficie se calcula endógenamente la mano de obra, permanente y estacional.

Tipo	Descripción	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Costo por ítem (\$)	Frecuencia
Inversiones	Balsa de trabajo	1	2.000.000	2.000.000	Inicio
Sist. Producción	Long Lines	77	1.002.572	77.341.269	Inicio
Mantenimiento	Balsa de trabajo	1	30.000	30.000	Mensual
	Motores	1	50.000	50.000	Mensual
	Long Lines	1	100.000	100.000	Mensual
Sueldos	Personal fijo	6	500.000	3.000.000	Mensual
	Personal ocasional	20	20.000	400.000	Cosechas
Ropa Trabajo	Guantes, botas, etc.	1	20.000	20.000	Mensual
Pago Concesión	Pago Concesión	1	273.000	273.000	Anual
Otros	Costos diarios	1	5.444	5.444	Diario
	Imprevistos	1	72.974	72.974	Mensual



Tabla 35.
Depreciaciones asociadas al cultivo de chicorea.

Depreciaci3n	Vida 3til (a3os)	Depreciaci3n diaria (\$)
Balsa	5	1.096
Botes	10	685
Motores	2	2.055
Sistema de Cultivo	10	21.189

Resultados modelaci3n bio-econ3mica del cultivo de chicorea de mar

Crecimiento en biomasa

La tasa de crecimiento (kg d3a⁻¹) estimada para este recurso puede ser descrita por la siguiente ecuaci3n

$$\frac{dW_t}{dt} = 0,0274 \cdot W_t \cdot \ln\left(\frac{W_t}{3,5}\right)$$

la cual alcanza un m3ximo (Figura 81) al d3a 53 (0,035 kg d3a⁻¹), lo que es considerado como un crecimiento r3pido. Esto se ve reflejado en la curva de crecimiento en biomasa (Figura 82) donde se aprecia que al cabo de medio a3o la curva llega a su as3ntota.

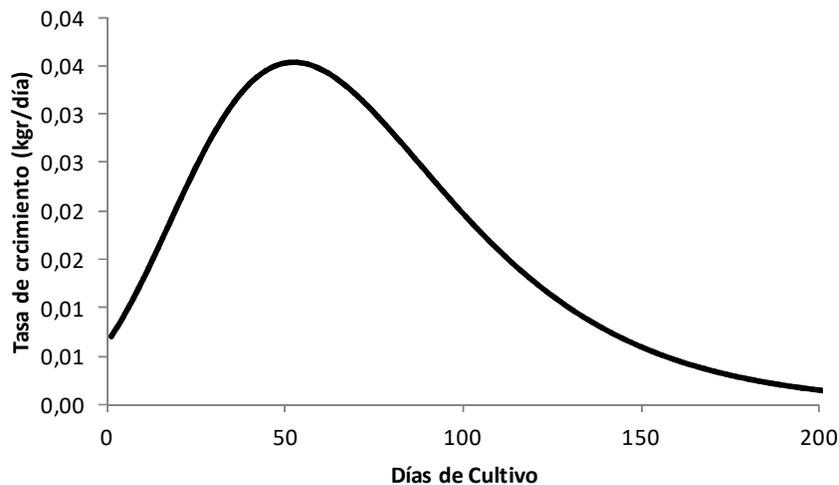


Figura 81. Tasas de crecimiento (kg d3a⁻¹) estimada por metro lineal en sistemas de cultivo suspendidos del recurso chicorea.

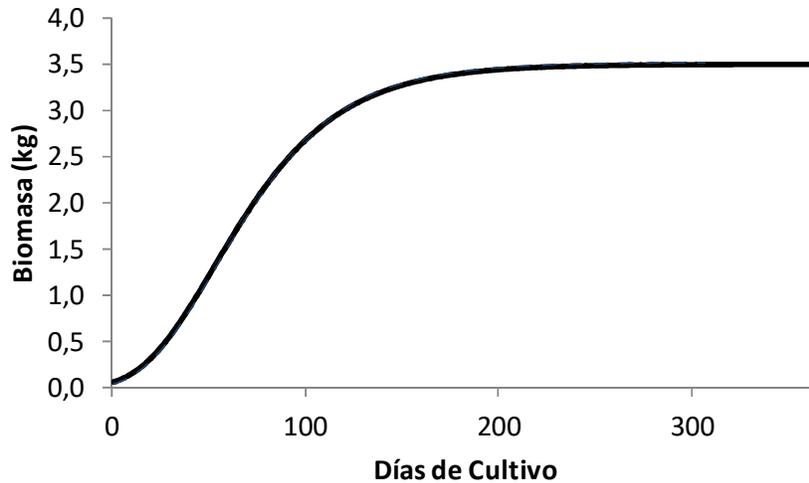


Figura 82. Crecimiento en biomasa por metro lineal en cada cuelga de cultivo suspendido de chicorea en la Región de Los Lagos.

Comportamiento del VPN

Los resultados indican que el cultivo de chicorea para consumo humano, en una presentación en fresco, no resulta rentable bajo ninguna de las combinaciones de factores, superficie de cultivo, estrategia de cosecha, tipo de producto final y forma de financiamiento (Tabla 36). La inversión inicial no se recupera en los dos años de simulación.

La combinación de factores que permite el mayor VPN, en este caso el que reduce las pérdidas, es un esquema sin crédito, con tres hectáreas de cultivo y con una cosecha cada 4 meses (Escenario 3). En estas condiciones el VPN es igual a -\$20,3 millones (Tabla 36). En este evento, la producción esperada por cosecha es de 14 toneladas (Figura 83), es decir una producción anual de 42 ton, una producción bastante baja.

Para este escenario de cultivo se espera que la inversión total sea de \$27.477.381. En el caso de financiamiento vía crédito bancario, el valor total de este sería de \$38.358.703 (CAE 19,8%) pagaderos en 24 cuotas fijas de \$1.598.268. Del total de la inversión, el Estado reintegraría vía bono por incentivo a la APC \$19.234.166 al finalizar el primer año.

El comportamiento del ingreso, del costo total y del VPN (Figura 84) muestra que el costo total supera a los ingresos totales durante todo el periodo de simulación. En este caso, ni la incorporación al flujo de beneficios del bono por incentivo al desarrollo de APE por parte del Estado logra superar esta situación en el indicador VPN.



Tabla 36.
Resumen de resultados para la simulación del cultivo suspendido de chicorea de mar en la Región de Los Lagos.

	Escenario	NÚMERO DE HECTÁREAS									
		3	4	5	6	7	8	9			
Con Crédito	Alga Limpia	1	-\$ 24.521.980	-\$ 28.397.615	-\$ 32.273.250	-\$ 36.148.885	-\$ 40.024.520	-\$ 43.900.155	-\$ 47.775.790		
		2	-\$ 35.733.330	-\$ 43.346.081	-\$ 50.958.832	-\$ 58.571.584	-\$ 66.184.335	-\$ 73.797.086	-\$ 81.409.837		
		3	-\$ 23.081.165	-\$ 26.476.528	-\$ 29.871.892	-\$ 33.267.255	-\$ 36.662.618	-\$ 40.057.981	-\$ 43.453.344		
	Alga 20% humedad	1									
		2									
		3									
Sin Crédito	Alga Limpia	1	-\$ 21.824.366	-\$ 24.940.697	-\$ 28.057.028	-\$ 31.173.358	-\$ 34.289.689	-\$ 37.406.020	-\$ 40.522.351		
		2	-\$ 33.035.716	-\$ 39.889.163	-\$ 46.742.610	-\$ 53.596.057	-\$ 60.449.504	-\$ 67.302.951	-\$ 74.156.398		
		3	-\$ 20.383.551	-\$ 23.019.610	-\$ 25.655.669	-\$ 28.291.728	-\$ 30.927.787	-\$ 33.563.846	-\$ 36.199.905		
	Alga 20% humedad	1									
		2									
		3									

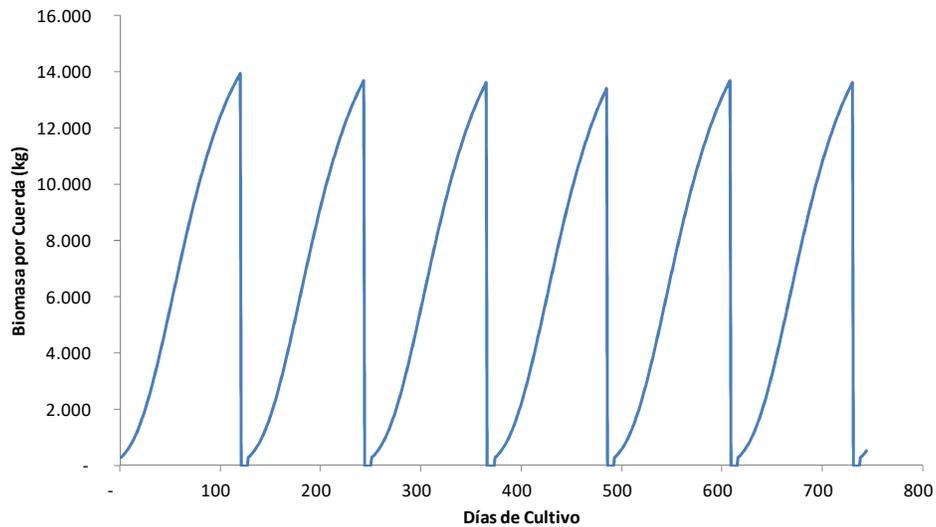


Figura 83. Producci3n de chicorea de mar (en kg) durante el periodo de simulaci3n. Esta producci3n se obtiene con una superficie total de cultivo de 3 hect3reas.

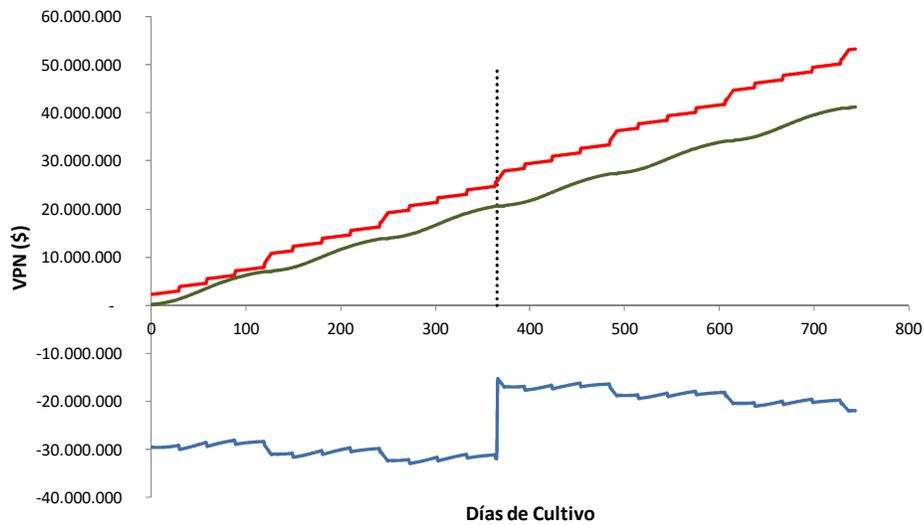


Figura 84. Comportamiento esperado de las variables econ3micas analizadas para el cultivo de chicorea de mar que genera el mayor VPN observado en la Tabla 35. La curva verde representa a los ingresos totales; la lnea roja son los costos totales y la lnea azul representa el VPN. La lnea vertical muestra el d3a 365 de cultivo, que es cuando el Estado retornar3a a los inversionistas el 70% de la inversi3n inicial.



Análisis de Riesgo

El análisis de riesgo fue desarrollado en los mismos términos que aquellos descritos para el caso del pelillo y huiro, esto es, aplicando una variaci3n de +/- 15% en el parámetro b de la Ecuaci3n (1) y en los precios de venta para el alga húmeda. Para el caso del recurso chicorea, el resultado del análisis de Monte Carlo mostr3 que la probabilidad de exceder el PRL fue de 3,6% (Figura 85), mientras que la probabilidad de alcanzar el PRO fue de 19% (Figura 85).

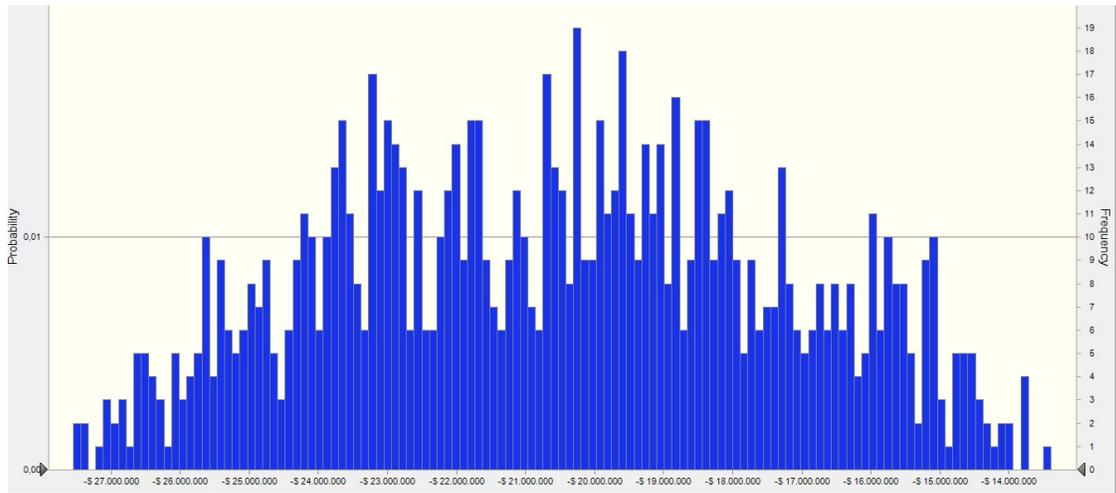


Figura 85. Resultados del análisis de riesgo para el cultivo comercial de chicorea de mar, usando el escenario que proporciona el mayor VPN de la Tabla 28. Todos los valores esperados son negativos, por lo que la probabilidad de exceder el PRL (< \$30 millones) es del 100%. En consecuencia, la probabilidad de alcanzar el PRO (\$70 millones) es de 0%.



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.*

5.6. Identificación de AMERB y CCAA para implementación de cultivos

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

5.6.1. 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 revisaron los informes levantados por el Programa de Seguimiento Pesquerías Bajo Régimen de Áreas de Manejo ejecutado por IFOP. 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. Al respecto, hay evidencia de cierta 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 podría 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. Sin embargo, dichos indicadores no han sido validados aún como proxy para el desarrollo de acuicultura y tampoco están disponibles para un número significativo 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), ejecutado por IFOP y que se desarrolló entre las regiones XV a IV, estuvo principalmente orientado a identificar espacios geográficos en donde sería factible desarrollar proyectos de APE. Se entrevistaron a 49 OPA, que representaban al 31,8 % del total de organizaciones presentes en todo el territorio de estudio. 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).

5.6.2. Selección de AMERB y/o CCAA para implementación de cultivos

Si bien se obtuvo una lista de áreas y organizaciones candidatas, por ahora no existe información objetiva y suficiente para caracterizar y realizar un ranking de las OPA desde un enfoque socio-organizacional, y que permita estimar, de manera preliminar, capital humano y organizacional para desarrollar iniciativas de acuicultura de algas. De esta forma se utilizó un enfoque más subjetivo y



pragmático de selección de OPA para implementar cultivos pilotos. De esta forma, se consideró lo siguiente para seleccionar a las OPA:

- Criterio normativo, utilizando como proxy información proporcionada por SUBPESCA y SERNAPESCA, respecto a permisos y autorizaciones para desarrollar acuicultura.
- Criterio capital organizacional, utilizando como proxy recopilación de recomendaciones de informantes clave regionales sobre OPA.
- Criterio interés de la OPA, utilizando como proxy información recopilada a partir de contacto directo con potenciales interesados.
- Criterio accesibilidad y viabilidad del cultivo, utilizando como proxy nivel de acceso a provisión regional de semillas de algas por hatchery autorizados y factibilidad de compra, traslado e instalación de sistemas de cultivos.

De esta forma se seleccionaron 2 áreas y OPA en la isla de Chiloé:

- AMERB de Auchac Sector C, administrada por el Sindicato de Trabajadores Independientes, Pescadores Artesanales, Algueros, Buzos mariscadores y ramos afines de la localidad de Auchac, Chiloé.
- CCAA en el canal Dalcahue, administrada por el Sindicato de Trabajadores Independientes, Pescadores Artesanales, Acuicultores de mitílidos y Comercialización de productos del mar de la localidad de Dalcahue, Chiloé.

5.7. Selección de especie(s) a cultivar y modelo de producción

A partir de la aplicación de la herramienta desarrollada en el objetivo 1 se seleccionaron las especies a cultivar y modelo de producción en ambos sitios. Lo que también fue consensuado con las OPA y sus respectivas consultoras. De esta forma las especies a cultivar seleccionadas correspondieron a huiro (*M. pyrifera*), luga negra (*S. crispata*) y chicorea de mar (*C. chamissoi*).

Es importante indicar, que una tercera OPA fue pre-seleccionada en la zona norte (I región) pero finalmente no pudo ser seleccionada, dada la imposibilidad actual de contar con provisión del alga que se había seleccionado para cultivar (*C. chamissoi*) desde hatchery autorizados.

El modelo de producción seleccionada para ambos sitios de cultivo corresponde al sistema de cultivo suspendido tipo long-line (Figura 86).

Tanto la CCAA como la AMERB cuentan con permisos para desarrollar acuicultura de huiro, y está en trámite por parte de las consultoras asociadas la ampliación de permisos para las otras dos especies.

Respecto a la magnitud de los cultivos pilotos, en el caso de CCAA de Dalcahue se instaló un sistema con 10 líneas de cultivo de 100 metros de longitud (3 de luga negra, 3 chicorea y 4 de huiro). Para el AMERB de Auchac, el sistema está en implementación y también constará de 10 líneas de cultivo de 100 metros de longitud (3 de luga negra, 3 chicorea y 4 de huiro).

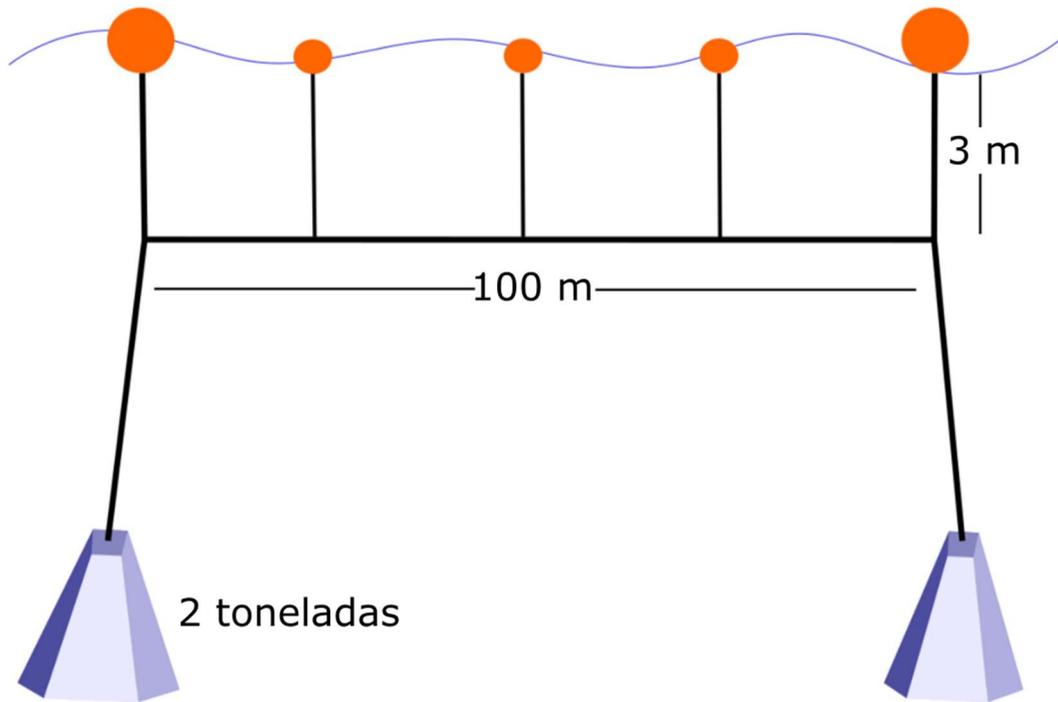


Figura 86. Esquema general de un long-line de cultivo.

5.8. Obtenci3n de semillas/pl3ntulas de algas para cultivos

Semillas o pl3ntulas de algas para implementaci3n de los cultivos pilotos fueron obtenidas mediante compra de las algas luga negra (*S. crispata*), chicorea (*C. chamissoi*) y huiro (*M. pyrifera*) a un hatchery externo de la ciudad de Puerto Montt, regi3n de Los Lagos. En el caso de luga, la t3cnica de cultivo en hatchery correspondi3 a esporocultivo, para chicorea cultivo del tipo vegetativo y en huiro la t3cnica de obtenci3n correspondi3 a esporocultivo tipo free floating.

De forma paralela durante el mes de junio del 2017, se comenz3 la producci3n de *S. crispata* en el hatchery del Centro Experimental Hueihue del IFOP. Para ello, se habilit3 un invernadero con tres estanques de fibra de vidrio y se prepararon los sustratos (bastidores) para la fijaci3n de las esporas. Los bastidores se dispusieron al fondo de los estanques los cuales contenian agua de mar filtrada enriquecida con soluci3n de nutriente comercial (Figura 87).



Figura 87. Habilitaci3n de hatchery, preparaci3n de bastidores y limpieza de frondas de luga negra *S. crispata*.

Mediante buceo, se recolect3 material reproductivo desde praderas en el sector cercano a Ancud, Chilo3. El alga se traslad3 hasta el hatchery donde se separ3 la fase a cultivar, las algas se limpiaron de epifitos e impurezas lavando con agua de mar filtrada ($1\ \mu\text{m}$) en repetidas ocasiones. Posteriormente las frondas seleccionadas y limpias se deshidrataron; para ello, se colocaron entre papel absorbente hasta observar manchas de color marr3n (esporas) sobre el papel. Una vez que esto ocurri3 las frondas se hidrataron. La hidrataci3n se realiz3 en baldes con agua de mar filtrada ($1\ \mu\text{m}$) durante aproximadamente 2 horas o hasta observar un cambio de color en el agua, lo que indic3 que se hab3an liberado las esporas. Una vez que se confirm3 la esporulaci3n, las frondas se retiraron de los baldes y se filtr3 la suspensi3n de esporas a trav3s de un tamiz de $100\ \mu\text{m}$ para eliminar las impurezas. Posteriormente, con esta suspensi3n de esporas se realiz3 la siembra de los bastidores cubriendo de manera uniforme todos los bastidores dispuestos en el fondo de los estanques (Figura 88). Dichos bastidores se mantuvieron por aproximadamente 7 d3as, luego de lo cual, se repiti3 el proceso de extracci3n de esporas para su fijaci3n en el lado contrario. Luego de algunas semanas se comprob3 el estado de fijaci3n de las esporas en las cuerdas (Figura 89), obteni3ndose esporas fijadas en una concentraci3n promedio de 7 ± 5 (DS) esporas por cm lineal. Estos bastidores se mantienen hasta la fecha en periodo de crecimiento.



Figura 88. Deshidrataci3n de frondas de luga negra *S. crispata*, filtraci3n de la suspensi3n de esporas y siembra sobre bastidores.



Figura 89. Fijaci3n de esporas de luga negra *S. crispata* en lnea.



5.9. Implementación y seguimiento de cultivo de algas

5.9.1. Instalación de sistemas de cultivo

La implementación del sistema de cultivo se realizó durante el mes de septiembre en la localidad de Dalcahue. Para el caso de Auchac, a la fecha del presente informe, se está concluyendo la implementación del sistema de cultivo. Dicho retraso ha sido por motivos ajenos a la institución.

La instalación del sistema de cultivo consistió en la adquisición de fondeos de dos toneladas (20 en total) para el anclaje de las líneas. El anclaje se realizó con ayuda de un servicio especializado y colaboración de los socios de la OPA. Este proceso consistió en el traslado y la posterior localización de los fondeos de manera tal que permitan su disposición de forma paralela al cultivo de mitílicos perteneciente a la OPA. Una vez dispuestos los fondeos se procedió a la implementación de las boyas de flotación y marcación que permitan visualizar el cultivo, tanto para las embarcaciones que recorren el área como para los socios de la OPA y equipo IFOP. Se dispusieron boyas demarcatorias de 250 litros en tres secciones de la línea (extremos y centro; 3 por cada línea, 30 boyas en total). En cada línea de cultivo se dispusieron también boyas de flotación de 40 litros entre las boyas de 250 litros (2 por línea, 20 en total). Una vez instalado el sistema y los dispositivos de flotación, fue necesario volver a tensar las líneas del sistema de cultivo para que no se presentasen problemas por la amplitud de mareas que se registra en el canal Dalcahue y que podría generar problemas con la instalación de las plántulas de cultivo (Figura 90).



Figura 90. Proceso de instalación del sistema de cultivo de algas en canal Dalcahue, Isla de Chiloé.



Una vez tensadas las lneas se procedi3 a la instalaci3n de las pl3ntulas en las lneas madres dispuestas. El traslado de lneas inoculadas con pl3ntulas o esporas se realiz3 desde la ciudad de Puerto Montt y Hueihue en condiciones de temperatura controlada, para disminuir el riesgo de p3rdida o deterioro (Figura 91).



Figura 91. Traslado de pl3ntulas de algas al sitio de cultivo en canal Dalcahue, Isla de Chilo3.

Para el caso de luga negra (*S. crispata*), se trasladaron cabos de polipropileno (2 mm di3metro x 1 m de longitud) inoculados con esporas (7 ± 5 esporas cm^{-1}), las que fueron instaladas desde un extremo del cabo a la lnea madre, quedando de forma vertical a la columna (i.e. cultivo de long-line con cuelgas verticales). Se dispusieron 10 cabos por metro de lnea madre, totalizando 1500 cabos distribuidos en 3 lneas madre (Figura 92).

Para chicorea (*C. chamissoi*), se trasladaron cabos de polipropileno (4 mm di3metro x 5 m de longitud) con material vegetativo entrelazado (i.e., in3culos) (10 pl3ntulas m^{-1} , $39,4 \pm 11,6$ g m^{-1}), las que fueron instaladas de manera horizontal a la lnea madre mediante el uso de amarracables (i.e. cultivo de long-line horizontal). Se dispusieron un total de 60 cabos distribuidos en 3 lneas madre (Figura 92).

Para el caso de huiro (*M. pyrifera*), se trasladaron cabos de polipropileno (4 mm di3metro x 10 m de longitud) inoculados con pl3ntulas entrelazadas (10 pl3ntulas m^{-1} , $0,08 \pm 0,06$ g m^{-1}), las que fueron instaladas de manera horizontal a la lnea madre mediante el uso de amarracables (i.e. cultivo de long-line horizontal). Se dispusieron un total de 40 cabos distribuidos en 4 lneas madre (Figura 92).

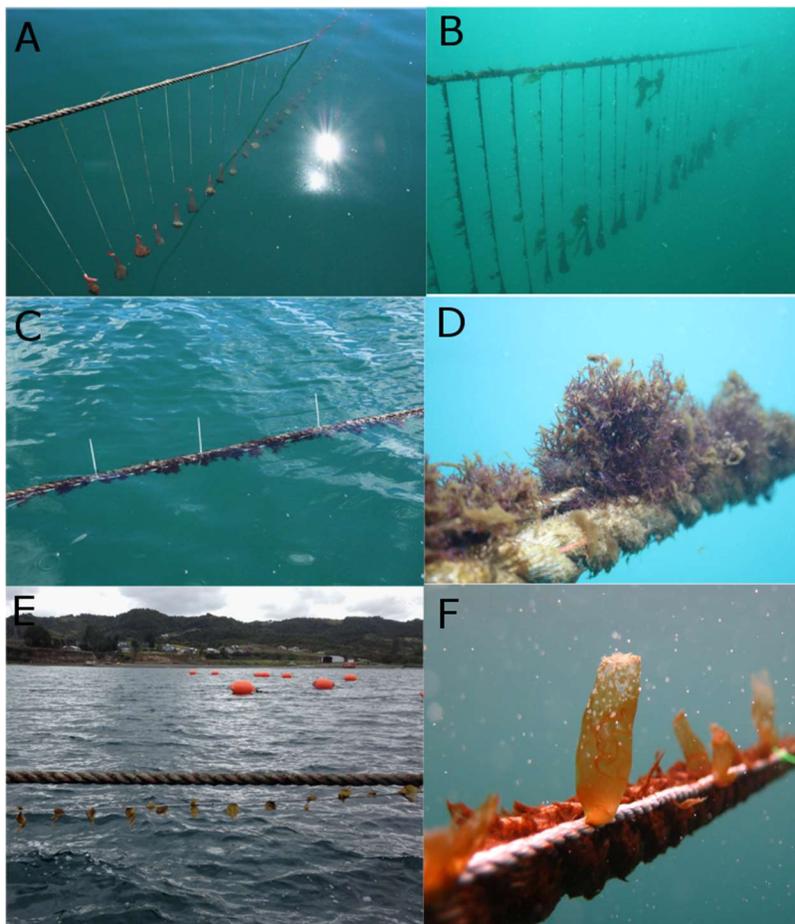


Figura 92. Instalaci3n de pl3ntulas en las l3neas de cultivo, donde se observan cada uno de las especies durante su instalaci3n (izquierda) y primer monitoreo (derecha). A-B (Luga negra), C-D (chicorea de mar), E-F (huiro).

5.9.2. Monitoreo de par3metros de crecimiento

El crecimiento de algas de cada localidad ser3 monitoreado cada 15 d3as aproximadamente, dependiendo de las condiciones clim3ticas. Muestras fueron obtenidas desde 3 l3neas en cada uno de los cultivos y para cada una de las especies cultivadas. En el caso de luga negra, la l3nea de cultivo fue dividida en sub-secciones de 5 metros (20 sub-secciones). De 3 sub-secciones, se extrajeron al azar 1 l3nea de un metro con un N total de 9 muestras (Figura 93). En cada uno de los monitoreos, se determinar3 el peso h3medo correspondiente a la especie, as3 como el peso h3medo de la cantidad de epibiontes.

Para chicorea y huiro, la l3nea se dividi3 en sub-secciones de 5 metros de las cuales se extrajeron al azar 1 segmento de 1 m cada una, con un N total de 9 muestras (Figura 94), y desde donde se extraer3n la totalidad de las algas en crecimiento para su posterior pesaje y cuantificaci3n de epibiontes.

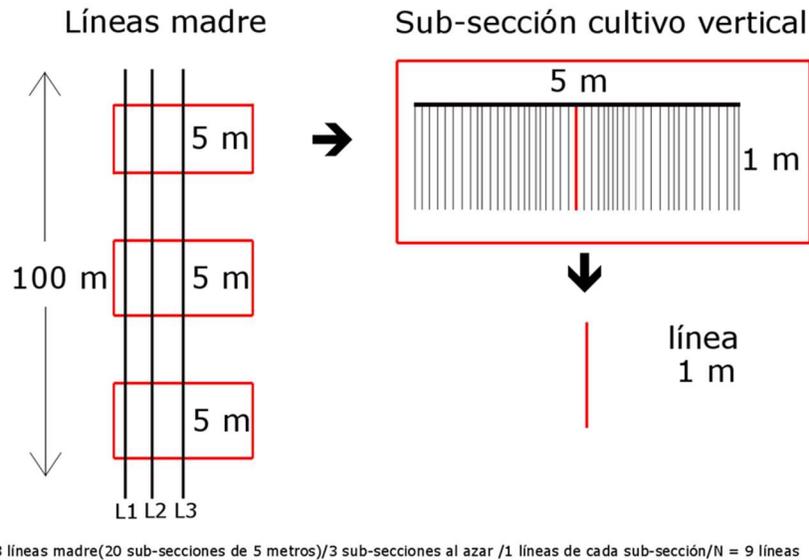


Figura 93. Esquema de monitoreo de crecimiento en cultivos de luga negra. La línea madre fue dividida en secciones de 5 m de longitud de las cuales tres secciones se seleccionaron al azar. De cada sub-sección de 5 m, una línea fue totalmente removida para obtener el peso fresco de las algas.

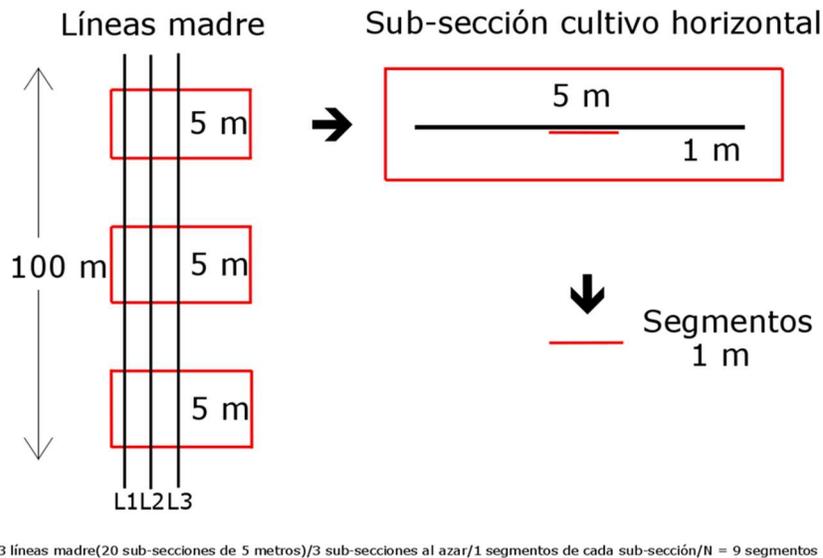


Figura 94. Esquema de monitoreo de crecimiento en cultivos de chicorea y huiro. La línea madre fue dividida en secciones de 5 m de longitud de las cuales tres secciones se seleccionaron al azar. De cada sub-sección de 5 m, un segmento de 1 m de longitud fue totalmente removido para obtener el peso fresco de las algas.



A continuación, se presentan los resultados de crecimiento obtenidos a partir de los primeros monitoreos realizados en la localidad de Dalcahue.

Luga negra (*S. crispata*)

A la fecha del último monitoreo las esporas no han mostrado crecimiento, por lo que no ha sido posible aún su medición.

Chicorea (*C. chamissoi*)

Se cuantificó el peso húmedo del alga y el peso de los epibiontes presentes al momento de la extracción de los segmentos de un metro. Se observó un incremento en el peso húmedo promedio del segmento de muestreo desde el día 0 con 39,4 g hasta el día 36 con 112,3 g (Figura 95).

La tasa de crecimiento estándar (SGR) al primer control (día 22) alcanzó 1,4 g d⁻¹, (SGR= 149 %). Al segundo control (día 36) el valor fue de 2,8 g d⁻¹, (SGR= 286,3 %). Hasta el momento se ha alcanzado como máximo 205 g por metro lineal después de 36 días de cultivo.

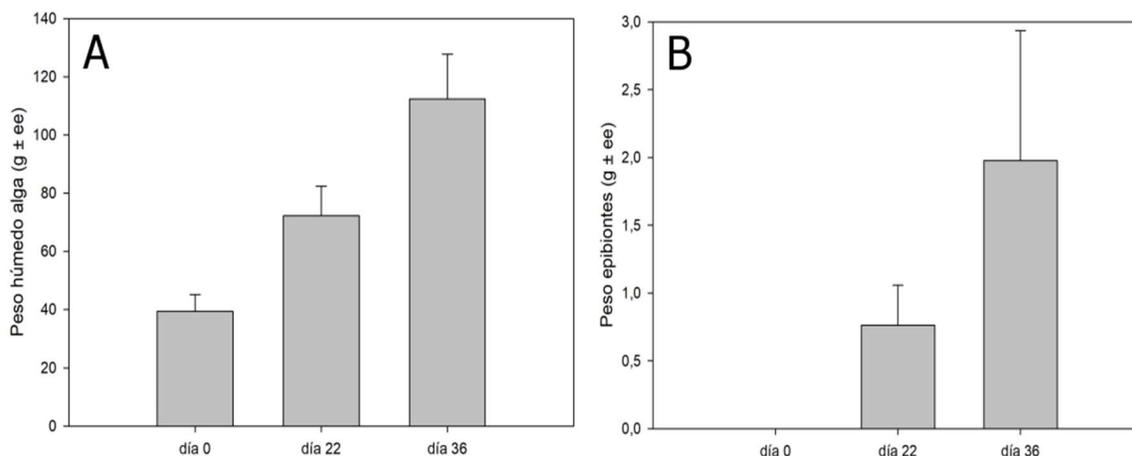


Figura 95. Crecimiento promedio por metro lineal para chicorea (*C. chamissoi*). A) Peso húmedo del alga (g ± error estándar) y C) Peso húmedo de epibiontes (g ± error estándar).

Huiro (*M. pyrifera*)

Se observó un incremento en longitud y peso húmedo desde el día 0 con 1,9 cm y 0,08 g, respectivamente, hasta el día 48 de cultivo con 15,1 cm y 6,94 g, respectivamente (Figura 96). La tasa de crecimiento estándar al primer control (día 0-35) alcanzó 0,3 cm d⁻¹, (SGR= 30 %) y 0,07 g d⁻¹, (SGR= 7,34 %). Al segundo control (día 35-48) fue de 0,1 cm d⁻¹, (SGR= 19,1 %) y 3 g d⁻¹, (SGR= 30,6 %).

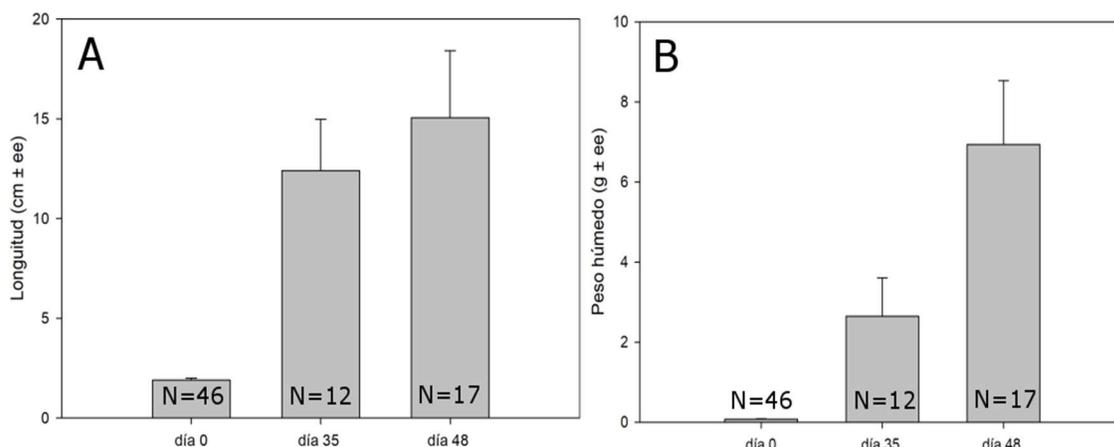


Figura 96. Crecimiento individual promedio para huairo (*M. pyrifera*). A) Longitud (cm ± error estándar) y B) Peso húmedo (g ± error estándar).

5.9.3. Monitoreo de parámetros físicos en los sitios de cultivo

A la fecha del presente informe, se han realizado mediciones de parámetros físicos solo en el sitio de estudio de Dalcahue. Mediciones continuas de luz y temperatura superficial con data loggers (HOBO Onset Pendant Temp/light, 64k), mediciones continuas de conductividad con HOBO Onset U24-002-C y oxígeno disuelto con HOBO Onset U26-001. La instalación de los sensores fue realizada junto con la siembra de las plántulas en el cultivo (Figura 97). Adicionalmente, y en cada monitoreo quincenal, se está midiendo temperatura, salinidad, clorofila a, oxígeno disuelto (en ml/L) y PAR (photosynthetic active radiation) con un CTD Sea&Sun CTM 691. Datos de las primeras 3 campañas de monitoreo se presentan en el ANEXO 6.

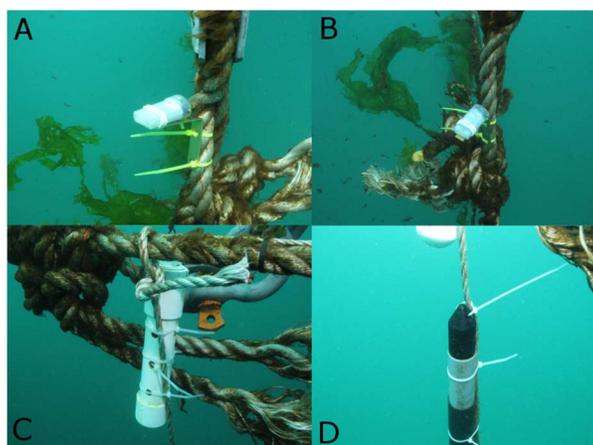


Figura 97. Instalación de sensores de parámetros físicos. A-B: Sensores de luz y temperatura (HOBO Onset Pendant Temp/light, 64k); C: Sensor de conductividad (HOBO Onset U24-002-C); D: Sensor de oxígeno disuelto (HOBO Onset U26-001).



5.9.4. Monitoreo de los parámetros químicos en los sitios de cultivo

En ambos sitios se tomarán muestras para el análisis de nutrientes dentro y fuera de los cultivos. La metodología consistirá en tomar 3 muestras por cada lado del polígono de cultivo y 3 muestras dentro del polígono de cultivo, además de 3 muestras distanciadas por 100 metros de cada lado del polígono (N total =27) (Figura 98). Estas muestras serán extraídas en jeringas para obtener entre 50 a 100 ml de agua filtrada a 20 μ , para su posterior análisis en un autoanalizador (Figura 99). Los nutrientes determinados serán concentración de nitratos, nitritos, amonio y la fracción reactiva de fósforo ($\mu\text{mol l}^{-1}$) presente en agua de mar durante el momento del muestreo. A la fecha se han obtenido muestras solo del sitio Dalcahue, las que se encuentran en proceso de análisis.

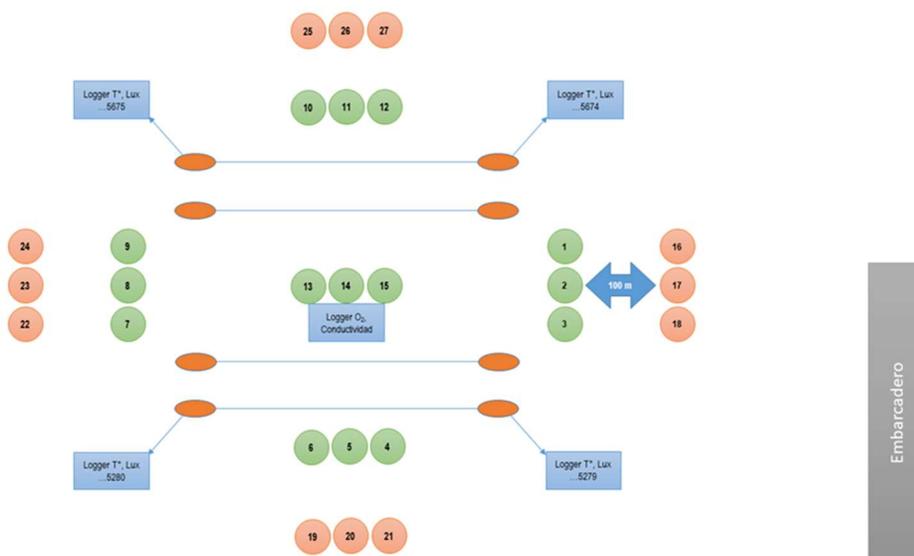


Figura 98. Diagrama de la obtención de muestras para medición de parámetros químicos.



Figura 99. Proceso de filtrado *in situ* para el análisis de nutrientes.



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.*

5.10. Propuesta de sistema de indicadores

5.10.1. Descripción del sistema proceso de cultivo y/o repoblación

Una revisión general del estado del arte nos muestra que la acuicultura de algas nacionales se basa, principalmente, en el uso de sistemas de cultivo pre-adaptados desde otros tipos de acuicultura (e.g sistemas utilizados en el cultivo de mitílidos y salmónidos), y en el desarrollo de técnicas artesanales que posibilitan la transferencia tecnológica hacia pescadores. La parametrización de la información disponible ha determinado que existen bases tecnológicas para el cultivo de al menos 15 especies de macroalgas. Sin embargo, no todas tienen el mismo potencial de ser escaladas de manera inmediata a un nivel comercial. Por ejemplo, la estimación de un índice de cultivo relativo (ICR, Tabla 8) coherente con las bases tecnológicas y experiencias de cultivo más desarrolladas ha demostrado que sólo seis especies podrían eventualmente alcanzar un desarrollo comercial en el mediano plazo. 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, las combinaciones de estas variables definen el conjunto de actividades necesarias para la implementación de las acciones de cultivo y repoblación.

Los recursos y elementos necesarios para el proceso de funcionamiento del cultivo y/o repoblación de algas se pueden resumir en los siguientes pasos (Figura 100):

1. Disponer de un espacio costero adecuado para implementar un cultivo y/o repoblación 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 este espacio costero administrado por OPA o personas naturales inscritas en el Registro Nacional de Acuicultura (RNA).
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 que faciliten a la implementación de la técnica de cultivo o acciones de repoblación.
5. Un grupo de personas (OPA u otras) que lleve a cabo las actividades de cultivo y/o repoblación incluyendo su implementación, mantención, monitoreo y cosecha.



6. Presencia de personas que cuenten con niveles b3sicos 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) y/o en mar (e.g., long-lines) o que previamente, hayan efectuado esfuerzos de cultivo y/ o repoblaci3n 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.

El diagrama en la figura 100 muestra un esquema general del proceso de acuicultura y/o repoblaci3n 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 identificados a partir del juicio de expertos que han contribuido significativamente al desarrollo actual de la acuicultura de algas, servir3n para determinar la viabilidad y el desempe1o de una gesti3n 3ptima para la implementaci3n de programas de acuicultura y/o repoblaci3n de algas.

5.10.2. Propuesta de sistema de indicadores

Indicadores que contribuyen a evaluar el impacto, 3xito y sustentabilidad de acciones de acuicultura y/o repoblaci3n de algas deben estar circunscritos a las dimensiones biol3gicas, econ3micas y sociales del proceso. Mediante revisi3n bibliogr3fica y an3lisis de la informaci3n disponible se definieron indicadores para 5 dimensiones: Institucional, Tecnol3gico, Ambiental, Social, y Econ3mico. La Tabla 37 resume los indicadores identificados en este estudio y est3n separados en indicadores de evaluaci3n (pre-cultivo) e indicadores de desempe1o, que pueden ser evaluados luego del ciclo de producci3n.

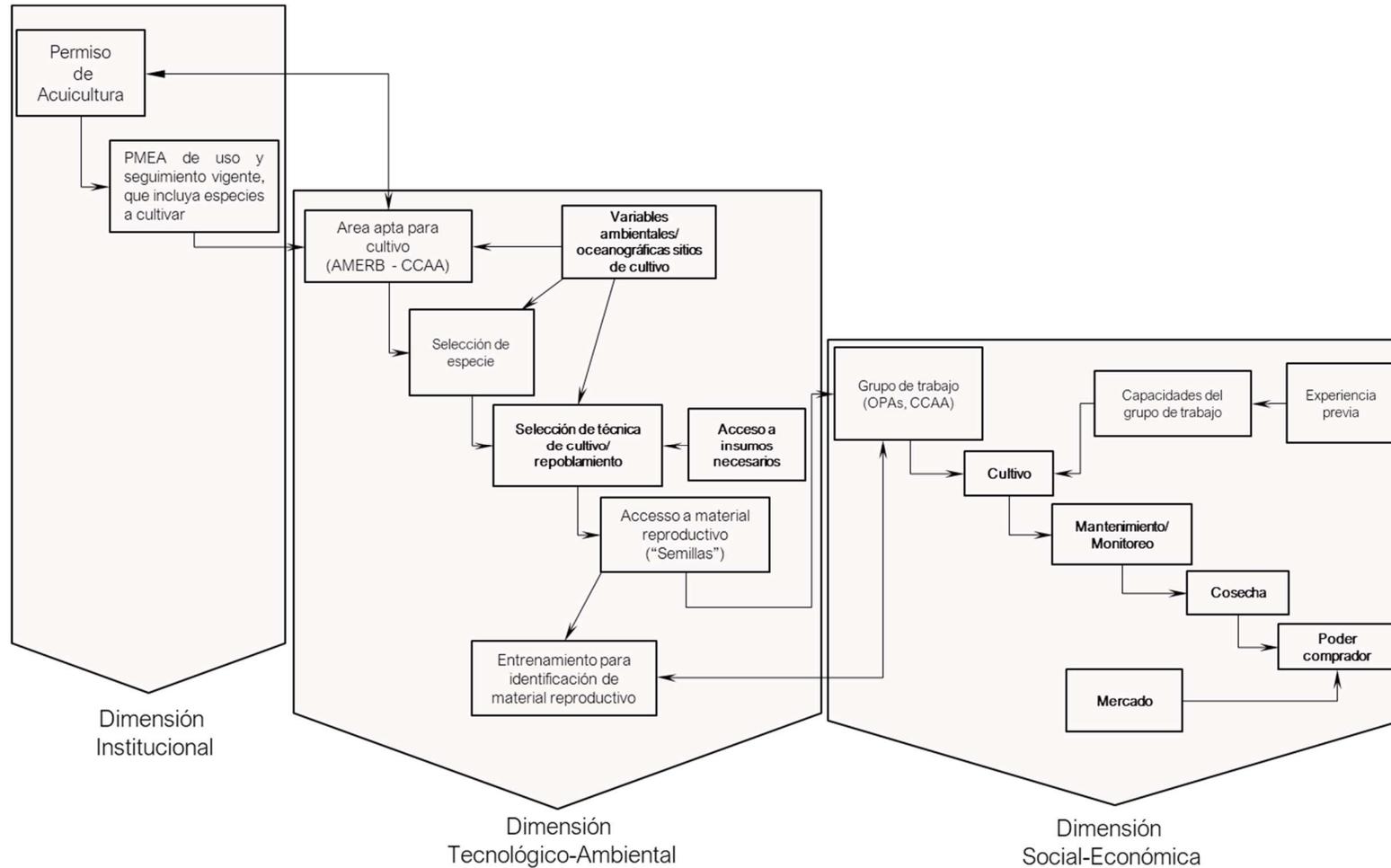


Figura 100. Elementos necesarios para un proceso de cultivo y/o repoblaci3n de algas para AMERB y CCAA sealando las dimensiones generales de evaluaci3n del proceso.



Tabla 37.

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

Indicadores pre-cultivo				
Dimensión	Indicador	Descripción	Variables	Puntuación
Tecnológico	Especie (Puntaje según ICR)	Este indicador evalúa el nivel de desarrollo de cultivo alcanzado para cada especie de interés comercial. El nivel de desarrollo ha sido determinado analizando la experiencia de cultivo de una especie dada desde su incorporación como especie de interés comercial. Este análisis incluye literatura científica (e.g., publicaciones y manuales de cultivo disponibles) que indican el estado de avance del cultivo de cada especie e información práctica obtenida de manera directa con investigadores, pequeños productores, Organizaciones de Pescadores Artesanales (OPA) y representantes de empresas del rubro. Especies con mayor nivel de desarrollo tienen puntuación más alta, mientras que especies con nivel de desarrollo básico (e.g. etapa de cultivo sólo en laboratorio) presentan menos puntuación.	<i>Ahnfeltia plicata</i>	1
			<i>Callophyllis variegata</i>	2
			<i>Chondracanthus chamissoi</i>	3
			<i>Chondrus canaliculatus</i>	2
			<i>Durvillaea antarctica</i>	2
			<i>Gelidium rex</i>	2
			<i>Gigartina skottsbergii</i>	2
			<i>Gracilaria chilensis</i>	3
			<i>Lessonia nigrescens</i>	1
			<i>Lessonia spicata</i>	1
			<i>Lessonia trabeculata</i>	1
			<i>Macrocystis pyrifera</i>	3
			<i>Mazzaella laminarioides</i>	1
Tecnológico	Método de cultivo	Este indicador evalúa la viabilidad de cultivo y privilegia aquellas modalidades de cultivo que presentan evidencia de haber sido probadas exitosamente al menos hasta escala piloto (2 puntos) o que han logrado ser desarrolladas a nivel comercial (3 puntos) por OPAs, pequeños productores o empresas del rubro (e.g., Algas Marinas). Especies que han sido probadas exitosamente sólo a escala experimental tienen menor valoración.	Cultivo directo	1
			Semi-suspendido (Estacas)	2
			Long Line (Inoculación directa)	2
			Long-line (Cuelgas verticales)	2
			Long-line de fondo (Esporocultivo)	3
			Long-line de fondo (Vegetativo)	2
			Long-line (Tejido vegetativo)	2
			FDS (Fijación de disco secundario)	2



			Estanques outdoor	2
			Free-floating (Laboratorio)	2
			Fijaci3n sobre sustrato artificial	1
			Cultivo en laboratorio	1
			Cultivo suspendido en redes	3
Tecnol3gico	Origen de semillas	Este indicador pretende evaluar la situaci3n de abastecimiento de semillas con que cuentan los futuros productores en situaciones ideales, i.e., Con hatchery o invernadero propio o capaces de desarrollar el ciclo completo (mayor puntuaci3n), dependientes de abastecimiento externo (hatchery externo = 2 puntos) lo cual involucra la compra de semillas y obtenci3n de semillas desde bancos naturales (1 punto). Este indicador representa el nivel de dependencia 1) de productores externos de semillas 2) de la existencia, acceso y condiciones de bancos naturales que ser3n usados para la obtenci3n de material reproductivo.	Banco natural	1
			Hatchery externo	2
			Hatchery propio	3
Tecnol3gico	Tiempo estimado de cultivo en Hatchery (Meses)	El per3odo estimado de cultivo es un indicador del tiempo de obtenci3n de retornos y es dependiente de la especie y del m3todo de cultivo (e.g., tiempo variar3 si la t3cnica requiere o no de etapa de hatchery). Especies que presentan mayores tiempos de cultivo hasta talla de traslado al mar son ponderados con menor puntuaci3n.	6 - 9	1
			3 - 6	2
			1 - 3	3
Tecnol3gico	Tiempo estimado de cultivo en el ambiente (Meses)	De manera similar, el tiempo estimado de cultivo en el mar es un indicador del tiempo de obtenci3n de retornos. Menor tiempo de cultivo en mar son ponderados con menor puntuaci3n.	1 - 3	3
			3 - 6	2
			6 - 9	3
Tecnol3gico	N3mero de cosechas por ciclo productivo	Este indicador tambi3n depende de la especie y privilegia la producci3n de especies que posean m3s de una temporada de cosecha.	1	1
			2	2
			>2	3
Econ3mico	Tipo de producto	Este indicador pretende sondear el destino de la producci3n y agrega mayor puntuaci3n a iniciativas que fomenten la diversificaci3n productiva privilegiando l3neas de producci3n alternativa como uso de algas en alimento u otro producto.	Materia prima	2
			Alimento	1
			Otro	1



Económico	Línea de venta	Este indicador evalúa la línea de comercialización establecida por el productor favoreciendo las iniciativas que presenten una línea de comercialización directa con las empresas compradoras	Intermediario	1
			Directa	2
Ambiental	Rango de distribución de la especie a cultivar	Evalúa si la propuesta de cultivo ha considerado el rango de distribución natural de la especie.	Dentro	2
			Fuera	1
Institucional	Estado de tramitación AMERB o CCAA	Este indicador evalúa la situación legal de los productores al momento de presentada la propuesta. Se espera que las organizaciones o pequeños productores tengan la documentación al día o con su tramitación en curso.	No realizado	1
			En trámite	2
			Al día	3
Institucional	Área disponible para cultivo	Este indicador evaluará el área disponible para cultivo de la organización permitiendo estimar el tamaño del área productiva de los distintos proyectos. De manera arbitrariamente, propuestas de cultivo con mayor superficie recibirán mayor puntuación.	< 1 Há	1
			1 - 10 Há	2
			> 10 Há	3
Social	Experiencia demostrable de la organización	Este indicador pretende evaluar las capacidades productivas de las organizaciones o pequeños productores en función de su nivel de capacitación. Se espera que OPAs o pequeños productores con experiencias de cultivo previas tengan mayor éxito de cultivo y producción.	Con experiencia previa	3
			Con capacitación en cultivo	2
			Sin capacitación	1
Indicadores post-cultivo				
Económico	Producción neta	Este indicador sirve para determinar la eficiencia de cultivo, así como, las diferencias relativas entre tipos y sitios de cultivo. El parámetro asociado deberá ser una unidad estandarizada de producción como kg. húmedos por metro lineal (en caso de long-lines con algas cultivadas horizontalmente) o producción de líneas verticales dentro de un metro lineal de long-lines (para cultivo de e.g., <i>S. crispata</i>). Así mismo se considerará cultivos que sean evaluados por área (e.g. <i>G. chilensis</i> , kg húmedo por metro ²)	Kg ⁻¹ m lineal; kg ⁻¹ de líneas verticales * m lineal (Para cultivos de cuelgas verticales); kg ⁻¹ m ² para cultivo en áreas como <i>G. chilensis</i>	
Social	Estructura de la organización	Este indicador servirá para estimar la capacidad de productiva de las distintas organizaciones evaluando su estructura, incluyendo número de trabajadores (Fijos y temporales) y sus capacidades (e.g. buzos, recolectores de orilla, patrones de embarcación, etc.), así como la proporción de género por grupo de trabajo.	N° de trabajadores fijos; N° de trabajadores estacionales; N° de hombres y mujeres.	



Social	Accesibilidad	Este indicador evaluar3 la producci3n y su eficiencia en funci3n de la distancia del sitio de cultivo (e.g., AMERB) a centros urbanos y acceso a insumos y puede ser medido como la distancia en km. al centro urbano m3s cercano	Distancia en km a centro urbano m3s cercano
Econ3mico	Precio	Este indicador mostrar3 la situaci3n de mercado del cultivo propuesto y permitir3 evaluar el desempe1o de la productividad del cultivo. La ponderaci3n de este indicador depender3 del valor medio del recurso en a1os anteriores y el valor actual.	Alto... 1 Medio... 2 Bajo... 3



6. DISCUSIÓN

6.1. Desarrollo actual y proyección de la acuicultura de algas

La investigación nacional acumulada por varias décadas y orientada al desarrollo de tecnologías de cultivos de algas nativas, nos permite contar en la actualidad con técnicas y protocolos de cultivo con diversos grados de desarrollo para más de 14 especies de macroalgas, y en estado de consolidación en al menos 4. Este amplio desarrollo contrasta con la poca diversificación de la acuicultura nacional en cuanto a número de especies en cultivo y la inexistencia de cultivos productivos y comerciales de algas (a excepción de *G. chilensis*), situación similar a la que ocurre en otros países sudamericanos con gran línea 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 énfasis en las etapas de laboratorio y hatchery, siendo un factor crítico 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 económica (e.g., factibilidad de implementación por parte de OPA, estudios económicos).

Respecto a la identificación de factores asociados a la viabilidad técnico-económica de cultivos, se observaron algunas tendencias y patrones. De las iniciativas registradas en el proceso de recolección de información a través de encuestas, las especies con mayores iniciativas de cultivos fueron las con mayor demanda actual del mercado. Buschmann *et al.* (2001a) realizaron una recopilación de información bibliográfica sobre estudios de cultivos de algas, rojas y pardas de importancia comercial, a nivel experimental y piloto. Las especies mencionadas en este estudio coinciden en su mayoría con las especies señaladas 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. berteroa* y *L. spicata*), *L. trabeculata* y *D. antarctica*, entre las pardas. Lo anterior, no es de extrañar puesto que el estudio incluyó un alto porcentaje de expertos de cultivos de algas a nivel nacional.

El valor comercial de las algas se consideró el principal motivo para ejecutar las iniciativas de cultivo, esto explica que las especies con mayor iniciativa sean aquellas con una alta demanda comercial (*G. chilensis*, *M. pyrifera*, *Lessonia* spp, *S. crispata*)

El sistema de cultivo más utilizado hasta el momento ha sido el cultivo suspendido y cultivo de fondo en el caso de *G. chilensis*. La obtención de plántulas/semillas es más frecuente aún desde bancos naturales (i.e., cultivos vegetativos de *G. chilensis*). No es de extrañar que *G. chilensis* sea la especie que aparezca con más iniciativas de cultivo, mayor rentabilidad económica y como la más viable para el desarrollo de actividades de acuicultura, ya que esta especie tiene una alta y permanente demanda comercial y buena factibilidad técnica de cultivo. Su agar es altamente resistente a la hidrólisis durante el almacenaje y tiene una alta reactividad con azúcares, 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 comprensión básica de aspectos biológicos clave, tales como métodos de propagación y respuestas eco-fisiológicas en condiciones de cultivo, lo que permite el desarrollo de metodologías de siembra a gran escala (Buschmann *et al.* 2013). La técnica de cultivo de fondo



consiste en la instalación de talos sobre sustrato blando para su posterior propagación vegetativa. Las áreas cultivadas artificialmente muestran las mismas variaciones estacionales 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. Por otro lado, 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 aumentando la productividad mediante el establecimiento de mejores estrategias de gestión.

Otra especie que se destaca en este estudio es *M. pyrifera*. En las diversas iniciativas de cultivo de esta especie se obtiene material reproductivo desde praderas naturales que luego es llevado a hatchery para la producción de plántulas mediante sistema *free-floating* o para inocular cuerdas directamente con esporas. 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 la especie parece ser un buen candidato para el uso en iniciativas de biorremediación en la salmonicultura (Buschmann *et al.* 2001b, Camus *et al.* 2016, Camus *et al.* 2016b). Correa *et al.* (2014), señalan que con el incremento de la demanda y potenciales nuevos usos se pronostica un aumento de los precios. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos en investigación, la producción es variable y puede ir de 14.4 kg/m (Gutiérrez *et al.* 2006) a 80 Kg/m (Westermeyer *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 gran escala 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 percepción de mayor rentabilidad económica (i.e., *G. chilensis* y *M. pyrifera*) y se incorporan a la lista especies con creciente interés para consumo humano como *C. chamissoi*, *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. skottbersgii*, *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 bajo 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 *M. pyrifera*, *C. chamissoi*, *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 el repoblamiento y cultivo de algas, cabe señalar que, a la fecha del levantamiento de información mediante encuestas del presente estudio, aún no existían los reglamentos asociados a su implementación, factor que pudo influir en ser 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. Esto indicaría que a la fecha del estudio aún faltaba difusión por parte de la institucionalidad.

Respecto a las variables o factores de éxito asociadas a la acuicultura de algas, las consideradas como más relevantes fueron el conocimiento de la técnica de cultivo, mayor capacitación a los usuarios, disponibilidad de semillas/plántulas de calidad (Dimensión Tecnológica) y financiamiento y aumento de la demanda (Dimensión Económica). Otros factores relevantes identificados, fueron fortalecimiento de las OPA y el compromiso con el desarrollo de los cultivos (Dimensión social), agilización de trámites, apoyo y seguimiento de las iniciativas por parte de las autoridades (Dimensión Institucional), e identificación de áreas aptas para el cultivo (Dimensión Ambiental).



Lo anterior nos sugiere, la existencia de brechas tecnológicas 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 tecnológico. Respecto, 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 asociar 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). La dimensión Ambiental está muy relacionada con la Tecnológica, 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 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 inicial que incorpora el conocimiento recopilado. Sin embargo, se debiera mejorar y complementar continuamente, conforme se desarrolle mayor conocimiento y tecnologías en las especies ya estudiadas o nuevas, y se redefinan ponderaciones a las diversas dimensiones 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 identificaron y caracterizaron las dimensiones asociadas a los procesos de cultivo y repoblación, para así definir indicadores de evaluación (también discutidos en sección 6.6.). Respecto a la ponderación de dimensiones por expertos, la tendencia general de los expertos académicos difiere de los usuarios (i.e., OPA, Acuicultores) y la Industria, los que ponderaron más alto la dimensión Tecnológica, entendido como un flujo garantizado de semillas/plántulas y el buen conocimiento de la tecnología de cultivo. Sin embargo,



en términos generales (i.e., valor promedio) la dimensión Económica del cultivo de algas fue lo más importante para todos los encuestados. 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 a 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*, *M. pyrifera.*, *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 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 aún poco adecuado para los encuestados, 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.

6.2. Análisis FODA-AHP para la acuicultura de algas

El escenario para la implementación nacional para el cultivo y repoblación de algas a pequeña escala, promovida hoy por la ley de bonificación, luce moderadamente favorable. Este escenario está respaldado principalmente por posibilidades conocidas de crecimiento económico y ventajas tecnológicas y ambientales (Buschmann et al. 2008, 2013). Dentro de este ambiente relativamente optimista, la inversión enfocada en pequeños cultivadores podría ser canalizada a través de las fortalezas que componen las dimensiones del cultivo de algas para adoptar nuevas estrategias. Sin embargo, hubo una clara disparidad entre las dimensiones Social e Institucional respecto de las otras. Esto sugiere una inconsistencia funcional representada por brechas que podrían complicar el escenario optimista. El diagnóstico aquí discutido puede ser, por lo tanto, una herramienta útil para identificar amenazas críticas que pueden impedir un funcionamiento coherente del futuro de la acuicultura de algas.

La dimensión Social fue identificada como de alta prioridad por los encuestados según el AHP. Esta estuvo caracterizada primariamente por desventajas internas que si bien pueden ser abordadas se requieren aproximaciones de largo plazo. Por ejemplo, la promoción de nuevos niveles de co-manejo y colaboración entre pequeños cultivadores ha demostrado tener impactos positivos en el capital social y la toma de decisiones (Gelcich et al. 2013, 2017), sin embargo, tales procesos descansan en una actividad con un desarrollo más completo. A su vez, este desarrollo podría ser obstaculizado por la limitada capacidad que poseen aún las OPA para adoptar y asimilar la manera de llevar a cabo actividades de acuicultura (Krause et al. 2015). Las prácticas de cultivo requieren planificación,



inversión inicial, conocimiento técnico basal y mantenimiento constante (e.g., cultivos suspendidos). Además de hacer frente a las incertidumbres (e.g., pérdidas por epifitismo, marejadas, y robos) asociadas al ciclo de producción y sus efectos en los retornos económicos proyectados. Este *modus operandi* es fundamentalmente diferente a los ingresos relativamente rápidos que caracterizan a las pesquerías artesanales (Castilla & Fernandez 1998, Gelcich et al. 2010). Este paradigma cultural debería ser considerado crucial y como una oportunidad para usar programas apropiados enfocados en educación y capacitación a largo plazo. Esto podría disminuir la brecha de la dimensión Social y asegurar un desempeño coherente con las otras dimensiones operacionales. Por ejemplo, la sobrecosecha de algas rojas y pardas perpetúa la sobreexplotación de poblaciones naturales a pesar de que planes de manejo (Vásquez 2001, Vásquez et al. 2012, Westermeier et al. 2012, Vega et al. 2014, Westermeier, 2014), métodos de repoblación (Vásquez & Tala 1995, Correa et al. 2006, Westermeier et al. 2016) y técnicas de cultivo (Edding & Tala 2003, Macchiavello et al. 2010, Westermeier et al. 2017) han sido exitosamente probadas principalmente en el norte de Chile. Esto evidencia un escenario socio-ecológico e institucional complejo para alcanzar un buen manejo de estos recursos en la costa chilena (ver Vásquez 2009 y Vásquez 2012, para más referencias).

Nuestro análisis sugiere que la dimensión Institucional actual podría no ser la adecuada para una implementación pronta de la acuicultura de algas a pequeña escala. La abundancia de amenazas exhibidas en esta dimensión causa preocupación debido al rol principal que juegan las regulaciones y las políticas gubernamentales en la implementación de programas a nivel nacional, así como el desarrollo científico y social (González 2009, Melaku-Canu 2011, Krause et al. 2015, Crona et al. 2017). En este sentido, la naturaleza cortoplacista de programas de investigación enfocados en innovación tecnológica y diversificación aparece como un obstáculo importante. Financiamiento de corto plazo (i.e., 2 - 3 años) parece posponer la identificación de pasos concretos para transferir y validar conocimiento y habilidades de manejo a los futuros emprendedores. Esencialmente, el sistema de financiamiento asociado a este tipo de programas posee recursos limitados para la continuidad de los proyectos, lo cual resulta en generación parcial de conocimiento, un monitoreo de corto plazo y resultados escasamente transferidos a los futuros usuarios. Más aún, existe la necesidad primordial de políticas de educación enfocadas en los grupos de interés, que incluyan la diseminación de resultados y programas de capacitación debidamente certificados. Estas percepciones han contribuido a generar un escenario menos prometedor para potenciales cultivadores a pequeña escala. Además, programas de financiamiento pobremente promocionados entre los usuarios y poco conocimiento público de los beneficios a la salud que poseen las algas podrían retrasar el desarrollo de nuevas alternativas innovadoras de comercialización que podrían a su vez, fortalecer el mercado interno. En este punto, la diseminación del conocimiento a través de programas de comercio y publicidad pueden ser claves para abordar este tema en el mediano plazo. Considerando estas limitaciones, la necesidad de subsidios disponibles para los pequeños cultivadores, otra debilidad indicada por el grupo de expertos, aunque aliviada con la nueva ley podría producir un bajo impacto social debido a las brechas existentes con las dimensiones institucionales y sociales.

De especial relevancia fue la idea de que un exceso de burocracia parece ser una de las barreras más relevantes para un desarrollo expedito de la acuicultura de algas. Una estructura legislativa inadecuada que involucra múltiples instituciones en la administración del borde costero ha llevado a



procesos complejos y prolongados, por ejemplo, para la obtención de permisos de acuicultura, lo que a su vez incrementa la apatía del público sobre el desempeño de la nueva ley. Esto ha sido exacerbado por la poca información disponible sobre el funcionamiento de la regulación destacando la necesidad de mayor comunicación entre el gobierno y los usuarios. Este tipo de problemas han sido señalados previamente en revisiones de las herramientas legislativas, como la Política Nacional de Acuicultura (González 2008).

La baja relevancia jerárquica alcanzada por la dimensión Institucional, donde se incluyen procesos regulatorios fue, interesantemente, causa de sorpresa ya que esto sugeriría que un sistema percibido como complejo y burocrático es perfectamente esperable y por lo tanto, soportado por los usuarios como parte invariable de un sistema. Esta indulgencia con prolongadas vías administrativas puede representar un cuello de botella en sistemas altamente complejos. Por lo tanto, la mejora en las inconsistencias entre dimensiones altamente interdependientes se convierte en un desafío de manejo gubernamental y sugiere una modificación o adecuación del aparato administrativo dada la implementación de la nueva ley. La ley de bonificación busca tener un impacto positivo en el cultivo y repoblamiento, por lo tanto, incrementar la biomasa de recursos algales económica y ecológicamente importantes, vendría a modificar y mejorar el escenario actual para potenciales cultivadores, lo cual requiere una regulación expedita.

Es esencial expandirse a nuevos niveles de innovación, desarrollo de mercados y productos como ha sido sugerido largamente para Chile (Buschmann et al. 2008, Buschmann et al. 2013) y para otros países en desarrollo (Hayashi et al. 2014, Rebours et al. 2014, Hafting et al. 2015) Exceptuando por la industria de salmónidos y mitilidos, Chile se ha demorado en implementar el desarrollo interno para nuevas especies y tecnologías que representen un cambio a productos con valor agregado en vez de materia prima de bajo precio (Buschmann et al. 2013). Consecuentemente, si la nueva producción se enfoca en prácticas tradicionales (e.g., cultivo a gran escala de *G. chilensis*), los incrementos en biomasa de esta especie pueden resultar en bajas extremas de precio, con el consecuente descontento de los usuarios. Esta situación puede llevar rápidamente a la apatía y falta de motivación para incorporarse y confiar en otras iniciativas del gobierno (Sutton & Rudd 2016). En otras palabras, la posibilidad del “escenario promedio” ilustrado en el gráfico FODA-AHP puede disminuir los impactos positivos de la ley de bonificación y las fortalezas y oportunidades de las dimensiones Económica, Tecnológica y Ambiental.

A pesar del escenario general, relativamente optimista, investigación fundamental en algas es aún requerida. Aunque existe literatura disponible que sugiere la producción de metabolitos secundarios, compuestos bioactivos, identificación y selección de cepas, domesticación y optimización de técnicas de cultivo para diferentes especies (e.g., métodos de cosecha, períodos de cosecha, control de plagas), información consistente y confiable es escasa para muchas especies de algas. Esto indica ejemplos aislados de un proceso de diversificación fragmentado. Adicionalmente, la selección de sitio y condiciones ambientales óptimas para métodos de escalamiento productivo aún no están clarificadas para la mayoría de las especies comerciales. Con esto en mente, el impacto potencial del cultivo intensivo de algas en el ambiente circundante tampoco ha sido clarificado. Aunque algunos estudios han sugerido efectos ecológicos asociados al incremento de detritus algal (Eklöf et al. 2006, Krumhansl 2012), reducción de corrientes alrededor de las granjas (Wood et al. 2017) y



selección involuntaria de cepas y consecuente disminución del pool genético en los cultivos (Guillemín et al. 2008).

En resumen, el estatus de las dimensiones Social e Institucional analizadas aquí, parecen ser de mayor preocupación y las más valiosas para asegurar un desarrollo sostenible a largo plazo. Las principales ventajas y oportunidades que ofrece la costa chilena para la diversificación de esta actividad se pueden consolidar si políticas socio-económicas contextualizadas e integrales (e.g., ecosistémicas) son puestas en práctica (Krause et al. 2015, Rebours et al. 2014).

Liderazgo efectivo es necesario para abordar escenarios complejos e interconectados con un entendimiento de los muchos factores que dan forma a las situaciones actuales y la habilidad de moverse consistentemente a escenarios futuros. Creemos que el método FODA-AHP es una herramienta efectiva para alcanzar esos objetivos. El método es capaz de condensar y cuantificar múltiples niveles de factores dentro de una estructura jerárquica, y es relativamente fácil de entender (Kurttila et al. 2000), distribuye prioridades para canalizar esfuerzos y refleja escenarios potenciales para el manejo de sistemas complejos. Más aún, provee una representación gráfica que facilita la comunicación de información multicriterio, un requerimiento básico para manejo comprensivo y toma de decisiones (Vessey 1994, Leidner & Jarvenpaa 1995). Recomendamos este método para el análisis y planificación de políticas futuras que intentan abordar una aproximación multicriterio.

En términos generales, para cualquier aproximación FODA clásico, cuando las empresas se ubican en el lado de las desventajas competitivas (en este estudio las dimensiones Social, Institucional y el promedio general que incluyó a todas las dimensiones), usualmente se sugiere la reducción de gastos y la creación de nuevos productos para alcanzar a más consumidores. También, la diversificación horizontal, en donde se agregan nuevos productos o servicios que no están comercialmente relacionados a los productos actuales pero que pueden traer nuevos consumidores disminuyendo la dependencia de ciertos mercados (e.g., venta de materia prima).

Por lo tanto, tratando de resumir posibles acciones, una mayor inversión estatal y privada en planes de diversificación (i.e., desarrollo de nuevos productos y mercados), una fuerte promoción de las algas y sus beneficios a la salud a nivel nacional además de su incorporación a otros sistemas de acuicultura (e.g., acuicultura multi-específica) podrían mejorar el escenario a mediano plazo. La administración debería agilizar y facilitar el uso de áreas disponibles para cultivo en AMERB y mejorar canales de comunicación y administración con las organizaciones. Por otro lado, la implementación de programas de desarrollo y apoyo a los pequeños productores que incluyan investigación, pero a largo plazo, podrían asegurar producción sostenida. Además, mejorar técnicas y clarificar parámetros de cultivo, facilitarían la apropiabilidad de las prácticas de acuicultura en tales organizaciones, una brecha socio-cultural importante para establecer un desarrollo acabado de la acuicultura de algas, donde se integra la academia y los productores, incentivando de paso a los inversionistas. Finalmente, se sugiere que sólo una canalización de fondos coherente con el estado de las dimensiones involucradas permitirá formular una mejor estrategia que sustente la actividad en el largo plazo.



6.3. Propuesta de zonificación para el desarrollo de acuicultura y/o repoblación de algas en Chile

Diferencias y asimetrías geográficas en diversos factores que inciden en dar viabilidad al desarrollo de la acuicultura y/o repoblación de algas en Chile (e.g. existencia de capital social organizacional, capital tecnológico, características de los sitios de cultivo, accesibilidad, mercado, disponibilidad de semillas, presencia de centro de investigación y desarrollo tecnológico) deben ser considerados para promover y desarrollar esta actividad. Dado lo anterior, se propuso una propuesta inicial y sectorizada geográficamente que recomienda especies y tipos de cultivos más idóneos para el desarrollo de la acuicultura y/o repoblación de algas a lo largo de Chile.

La propuesta reconoce como factores de mayor peso, en un contexto de desarrollo de la acuicultura a corto y mediano plazo, las capacidades instaladas y potenciales de producción de plántulas de algas, las capacidades actuales de investigación y desarrollo tecnológico, las características geográficas determinantes para los cultivos (e.g., accesibilidad, exposición al oleaje), y la demanda comercial actual. De esta forma se lograron diferenciar las especies y sistemas de cultivo más idóneas para desarrollar de acuerdo a la zona geográfica.

6.4. Análisis bio-económico de cultivos de algas

Los resultados muestran claramente dos grupos de algas: el primero, representado por huiro y chicorea de mar, evidencia, bajo las condiciones del modelo de simulación, que el cultivo suspendido no es una actividad económicamente atractiva. Los VPN negativos indican que su implementación en la Región de Los Lagos como alternativas para desarrollar la APE no sería viable. La situación es aún más compleja teniendo en mente que esta actividad productiva debe generar excedentes suficientes para ser distribuidos entre los asociados a la organización de pescadores artesanales. En este caso, al cabo de dos años de cultivo simulado, no habría ningún excedente que repartir y aún se trabajaría a pérdidas. El segundo grupo, representado por las algas pelillo y luga negra, generan VPN positivos, los que pueden propiciar condiciones necesarias para generar excedentes que estén disponibles al segundo año y ser repartidos entre los asociados. Esto último, las convierte en un par de especies interesantes para implementar APE, al menos en la Región de Los Lagos.

El bajo precio de venta del producto (caso pelillo y huiro especialmente) y la tasa de descuento utilizada en el presente estudio, impactan negativamente en los resultados económicos de la simulación del cultivo. En el caso de la tasa de descuento, esta hace que los costos de capital sean más elevados, aun cuando para las simulaciones se empleó una tasa de descuento más conservadora que la sugerida para el sector de acuicultura por Zúñiga y Soria (2009) y usada por Zúñiga *et al.* (2015). En este sentido, los resultados económicos serían menores a los reportados en este informe de usar la tasa sugerida y usada por estos autores, del orden del 19,8% anual.

En cultivos con baja rentabilidad es crítico el precio de primera transacción. En la zona norte de Chile, el caso del huiro es ilustrativo de ello. Según Zúñiga *et al.* (2015), junto con una mayor productividad del alga, se requeriría aumentar en un 25% el precio para que el cultivo muestre signos de ser una actividad rentable. Los precios de primera transacción son particularmente bajos



en el caso de huiro (\$60 kg) y pelillo (\$100 kg). El precio del alga con algún grado de transformación (seca con 30% humedad) tampoco refleja una diferencia importante respecto del producto húmedo. A modo de ejemplo, en el caso de luga negra, el valor húmedo es de \$300 kg mientras que el valor del alga seca es de solo \$1000. Debido a que producir 1 kg de alga seca requiere de aprox. 3,3 kg de alga húmeda (a un valor de primera transacción de \$990) el aumento real es marginal, haciendo poco atractivo para el productor optar por una línea de transformación del producto final. Esta diferencia (\$10) permite que, comparado el producto alga húmeda versus alga seca, se pueda generar una diferencia de \$15 millones en el VPN al cabo de dos años. Esto mismo se ve reflejado para el caso de pelillo. En este caso, de acuerdo a la información disponible (Galleguillos, com. pers.) el precio de primera transacción, esto es al intermediario por alga húmeda puede alcanzar un techo de \$100 kg; mientras que el precio pagado por alga seca es de aprox. \$370 kg. El precio de venta del intermediario a la planta es de \$400 kg. En el modelo se asumió que el productor vende directamente a la planta con esa misma estructura de precios. Así, el diferencial entre ambos tipos de producto final es de \$21 por kilo de alga húmeda transformada a alga seca. Esto genera un incremento en el VPN al final del segundo año de \$66 millones. Esto permite concluir que, mejorando la capacidad negociadora del productor respecto del precio final, los beneficios económicos esperados producto del desarrollo de APE de estas dos algas, representen una actividad interesante de desarrollar por parte de las OPA. No ocurre lo mismo para el caso del alga huiro. En efecto, la diferencia entre producir un kilo de alga húmeda y alga seca es de sólo \$2, lo que se ve reflejado en el resultado que la transformación del alga no genere una mejora en el rendimiento económico del cultivo.

Alternativamente, paralelo a revisar la capacidad de negociación del productor frente al poder comprador, se puede revisar cómo se distribuye el gasto corriente en la producción de los cultivos. Al observar cuánto significa cada ítem dentro del total del gasto corriente (Tabla 38) se puede observar que, para las cuatro algas, el principal costo es el de mano de obra permanente, de hecho, para el caso del huiro este significa el 72,9% del total. El segundo más importante es, en dos de los cuatro casos, el costo de la semilla. Este costo tiene dos componentes, el precio pagado por la semilla (ya sea plántulas para construir las cuerdas o bien las cuerdas o cuelgas inoculadas en laboratorio) y la frecuencia con la cual son requeridas, que a su vez depende del régimen de cosechas. En el caso del régimen de cosechas, se evaluó para cada alga cada cuántos meses sería necesaria una cosecha (en consecuencia, una compra de semillas para iniciar un nuevo ciclo de producción) para generar el mayor VPN respecto de la sugerencia dada en estudios previos (principalmente por Candia & Núñez 2013; Macchiavello *et al.* 2013 y Guisado *et al.* 2017) con lo cual queda poco margen para limitar su periodicidad. En este sentido, el precio pagado por la semilla sería el ítem a considerar para ser disminuido, particularmente en el caso del alga chicorea, donde este ítem contribuyó en 18,55% al costo total acumulado al cabo de dos años (Tabla 38). El tercer ítem más importante dentro de los gastos corrientes del cultivo varía de acuerdo al alga cultivada. En efecto, el ítem depreciaciones fue importante sobre todo en el caso del cultivo de chicorea (14,2%) y huiro, en tanto que para pelillo y luga negra (las algas más atractivas desde el punto de vista económico para generar una APE) los sueldos estacionales fueron los más relevantes (12,1 y 31,82%, respectivamente). Sin duda, la mano de obra fija y estacional, así como el costo de la semilla son los ítems donde mayor capacidad de mejora puede existir. En el primer caso, revisando la



cantidad de personas que son necesarias por hectárea cultivada; en el segundo mecanizando ciertos procedimientos en la cosecha y en el tercero mejorando la capacidad de negociación para obtener semillas a menor costo. No hay que olvidar que en la simulación el costo de la semilla (exceptuando pelillo y chicorea) las cuerdas de cultivo son construidas con material vegetativo comprado al mismo precio de primera transacción del alga.

Una mención especial merece el tema del incentivo del estado a la APE. En las simulaciones se incorporó esta variable que implica que el Estado bonifica con un 70% la inversión inicial que la OPA realiza en un emprendimiento relativo a la APE. Los resultados indican que, de las cuatro algas analizados, sólo dos tienen posibilidades de generar, en un horizonte de tiempo de dos años, VPN's positivos que involucran excedentes que puedan ser repartidos entre los asociados: pelillo y luga negra. En el mejor de los escenarios del cultivo de pelillo, el retorno de este 70% de la inversión genera un VPN de \$66,5 millones. Sin embargo, en ausencia de este incentivo el VPN en las mismas condiciones de cultivo genera un VPN negativo de -\$1,9 millones. En el caso del cultivo de luga negra el VPN disminuye de \$152 millones a \$107 millones. Esto implica que algunos cultivos (en este caso el de pelillo) no son viables en ausencia de este incentivo. Esto se explica por el hecho que la inversión inicial en el caso del pelillo asciende a casi \$124 millones (incluido la línea de secado) mientras que para luga negra este nivel de inversión es menor (\$62 millones). Incluyendo este incentivo por parte del Estado, el alga pelillo parece estar en condiciones de asegurar una probabilidad de alcanzar VPN mayores a \$40 millones al cabo de dos años de cultivo. Sin embargo, en su estado actual la bonificación por parte del estado contempla un límite de \$20 millones. Esta cantidad, en el caso del alga pelillo, haría disminuir el VPN de \$66,5 millones a \$19,6. Para el caso de luga negra, esta disminución no es tan grande como en el caso del pelillo. El VPN disminuiría de \$151 millones a \$145 millones.

De esta forma, hay que estudiar de manera cuidadosa los límites en que la bonificación del Estado tendría que operar, ya que dependiendo de la inversión inicial el impacto de esta figura puede ser esencial en la viabilidad de la APE. Esto se ve reflejado en el resultado económico obtenido para las algas huiro y chicorea, los que requieren un grado más alto de bonificación para hacerlos rentables, dada la producción biológica que exhiben hoy sus cultivos. Adicionalmente, la bonificación con tope de \$20 millones (MINECON, 2017) implica que, necesariamente, se requerirá de una mayor superficie de cultivo para hacer rentable el cultivo. A modo de ejemplo, el pelillo que, con un escenario de crédito bancario, con 30% de humedad y cosechando mensualmente y con una bonificación del 70% mostraba VPN positivos a partir de las 3 hectáreas de cultivo, requeriría al menos de 7 hectáreas para lograr un VPN positivo si la bonificación se reduce a \$20 millones.

Existen pocos trabajos de simulación dinámica disponibles para el cultivo de algas en Chile. Previamente (Zuñiga *et al.* 2015) habían mostrado que el cultivo de *M. pyrifera* no era factible económicamente. Ellos simularon los efectos económicos de un cultivo hipotético en la Región de Atacama, usando resultados de crecimiento en el mar reportados por Macchiavello *et al.* (2010). Ellos encontraron que hipotéticamente el cultivo podría generar valores de VPN al cabo de 14 años si se aumentaba la productividad del alga y el precio de primera transacción se incrementa en un 25%. En este sentido, el resultado reportado en este Informe es coherente con el trabajo de Zúñiga *et al.* (2015), en el sentido que no es económicamente rentable. El resto de las algas evaluadas son



difícil de compararlas con otros estudios. Por lo general, corresponden a cultivos experimentales con fines de investigación o bien a cultivos comerciales (particularmente el caso de pelillo) pero de empresas que son celosas de sus resultados, lo que hace dificultoso tener acceso al resultado financiero de tales experiencias. En otras ocasiones corresponden a estudios experimentales de fondo, lo que complica también la comparación directa (e.g., Soto 2011).

Hay que considerar además que los modelos desarrollados fueron hechos a partir del análisis de la literatura disponible y algunos aportes de informantes claves. En este sentido, es un análisis desde un punto de vista teórico, por lo cual los resultados deben ser vistos desde esa perspectiva. El análisis bio-económico de la APE de algas no cuenta en Chile con la historia de otro tipo de cultivos (e.g., salmonicultura), donde cada barrio o plantel cuenta con una base de datos histórica de su producción, con lo cual se puede modelar en base a información productiva con una fuerte componente geográfica. Esto permite modelar la componente biológica de forma bastante realista, determinando los parámetros biológicos y sus respectivas varianzas a una escala sitio-específica. Por estas razones, los resultados reportados en este informe tienen, necesariamente, un carácter inicial. El análisis de riesgo realizado fue posible sólo asumiendo un porcentaje arbitrario en el nivel de precios de venta del producto y de la disponibilidad temporal en la biomasa, como también en los puntos de referencia (PRO y PRL) utilizados. Aun así, solo dos de las algas modeladas bio-económicamente muestran resultados que pueden ser considerados como alentadores desde el punto de vista del riesgo asociado.

Finalmente, se pueden proponer mejoras a futuro, las que pueden generar varias líneas de trabajo. Se presentan a continuación algunas sugerencias que se consideran relevantes para cada submodelo:

Submodelo Biológico

- **Realizar experiencias a nivel productivo**, idealmente en las dos algas identificadas como con mayor potencial de beneficios económicos para agrupaciones de pescadores artesanales: pelillo y luga negra. De esta forma, se puede conocer con más detalle el crecimiento de la especie en un ciclo que incluya desde la siembra hasta la cosecha. Es frecuente que, en los experimentos de investigación publicados, se informe sobre el peso final por cuerda de cultivo, sin tener mayores antecedentes de la temporalidad de esta dinámica. Dentro del ciclo productivo de las algas (cuya duración es un rango variado de meses), no se especifica si en ese lapso el cultivo alcanzó ya la capacidad de carga o bien fue cosechada por alguna otra razón. Tener datos del ciclo completo en el mar permitiría conocer con mayor exactitud los parámetros de la ecuación 1. Del mismo modo, contar con un mayor número de réplicas permitiría conocer la varianza asociada a los parámetros de la ecuación 1 y no solo el peso final de la cuerda (o cuelga).
- **Determinar estacionalidad en el crecimiento**. Es reconocido que la tasa de crecimiento cambia estacionalmente en función de variaciones estacionales en la temperatura y otros factores claves en el crecimiento (Macchiavello et al., 2010; Bulboa et al., 2008). Conocer esta variabilidad temporal permitiría tener mayor precisión en torno a la disponibilidad la biomasa cosechable a través del tiempo.



Tabla 38.

Estructura del costo corriente en pesos (Tabla superior) y porcentual (Tabla inferior) para las cuatro algas analizadas. El color azul representa el principal costo. El color verde representa el segundo más importante y el color gris el tercero más relevante.

	Mantenimiento Motores	Mantenimiento caseta o balsa	Mantenimiento Long lines	Sueldos Fijos	Sueldos Esta.	Vestuario	Pago Concesión	Costos diarios	Imprevistos	Depreciaciones	Semillas
Pelillo	\$ 1.240.000	\$ 744.000	\$ 2.480.000	\$ 156.000.000	\$ 28.800.000	\$ 1.240.000	\$ 466.470	\$ 4.050.667	\$ 1.809.751	\$ 9.359.686	\$ 30.857.143
Huiro	\$ 1.240.000	\$ 744.000	\$ 2.480.000	\$ 252.000.000	\$ 44.100.000	\$ 496.000	\$ 1.469.381	\$ 4.050.667	\$ 1.809.751	\$ 20.500.367	\$ 16.632.000
Luga negra	\$ 1.240.000	\$ 744.000	\$ 2.480.000	\$ 86.365.334	\$ 72.000.000	\$ 42.000.000	\$ 496.000	\$ 466.470	\$ 4.050.667	\$ 1.809.751	\$ 14.592.854
Chicorea	\$ 1.240.000	\$ 744.000	\$ 2.480.000	\$ 21.600.000	\$ 3.420.000	\$ 496.000	\$ 139.941	\$ 4.050.667	\$ 1.809.751	\$ 7.583.170	\$ 9.918.367
	Mantenimiento Motores	Mantenimiento caseta o balsa	Mantenimiento Long lines	Sueldos Fijos	Sueldos Esta.	Vestuario	Pago Concesión	Costos diarios	Imprevistos	Depreciaciones	Semillas
Pelillo	0,5%	0,3%	1,0%	65,8%	12,1%	0,5%	0,2%	1,7%	0,8%	3,9%	13,02%
Huiro	0,4%	0,2%	0,7%	72,9%	12,8%	0,1%	0,4%	1,2%	0,5%	5,9%	4,81%
Luga negra	0,5%	0,3%	1,1%	38,2%	31,8%	18,6%	0,2%	0,2%	1,8%	0,8%	6,45%
Chicorea	2,3%	1,4%	4,6%	40,4%	6,4%	0,9%	0,3%	7,6%	3,4%	14,2%	18,55%



- **Monitorear la producción biológica en sitios específicos.** Hay evidencia de variabilidad en la calidad (e.g., contenido de agar, carragenanos, entre otros atributos) de la materia prima cuando es cultivada en diferentes ambientes o localidades.
- **Estimación de epifitismo en cultivos.** Incorporar en el modelo el efecto del epifitismo, el que puede disminuir la producción biológica del alga. En este sentido, el efecto estacional podría limitar la producción anual de algas debido a que la temporada de cultivo podría verse disminuida, esto en la eventualidad que el cultivo debiera operar en pulsos estacionales.

Submodelo Tecnológico

- **Definición de APE.** Se requiere contar con una definición oficial en términos de lo que se entiende por pequeña escala, ya sea en términos de volúmenes de producción como de superficie límite para ésta. Tal definición es requerida ya que los resultados muestran que el potencial de desempeño financiero del cultivo es función de una superficie crítica, a partir de la cual tal desempeño es positivo.
- **Estandarización de tecnología y sistema de cultivo.** En este submodelo se debiera estandarizar una tecnología de cultivo, basada en lo que fuera tecnológicamente más económico y factible de implementar localmente. Adicionalmente, esto permitiría comparar estudios en diferentes lugares.
- **Ajustar requerimiento de personal de cultivo.** Se necesita profundizar en la estimación de los requerimientos de mano de obra tanto fija como temporal por hectárea de cultivo. Es posible que en la práctica la cantidad de personas que pueden necesitarse por hectárea puede diferir de lo considerado en la literatura.
- **Definición del producto final.** Es importante hacer notar que el alga misma, ya sea húmeda o seca, no necesariamente es el producto final en la cadena de valor: a partir de los recursos analizados, incluyendo chicorea, se obtienen subproductos (e.g., alginatos, carragenanos) que generan valor en la cadena productiva. Es probable que la calidad del producto final varíe estacionalmente como sugiere Vásquez y Vega (2001). De esta manera, incluso en condiciones de baja rentabilidad en la fase de cultivo, el desempeño económico global del cultivo pueda verse mejorado por el mayor valor de un producto tipo premium, cosechado en el momento donde el subproducto derivado es de mejor calidad. Incluso se puede evaluar la posibilidad de llegar a obtener el producto final (e.g., agar), aunque esta posibilidad quizás exceda las capacidades operativas actuales de OPA. Así, simultáneamente con desarrollar el cultivo hasta su fase final, es decir, hasta que alcanza su capacidad de carga, se debiera monitorear la calidad del derivado obtenido a partir del alga bajo cultivo.
- **Mejoramiento de la producción biológica.** Evaluar la factibilidad de generar mejoras en la producción biológica a través de optimizar el espacio o la superficie de cultivo. A modo de ejemplo, el rendimiento en biomasa en un metro lineal de cuerda de polipropileno de 7 mm puede resultar menor que en un metro lineal de cuelga de cultivo, la que al ser más gruesa puede generar una mayor capacidad de carga al sistema de cultivo. Adicionalmente, una mayor cantidad de cuerdas por long line puede también generar más producción en el mismo espacio.



Submodelo Económico

- **Monitoreo de precios de venta.** Contar con un sistema de monitoreo de precios de venta, tanto a nivel de primera como de segunda transacción.
- **Monitoreo de insumos requeridos para la producción.** Levantar un sistema de monitoreo de los principales insumos requeridos para la producción en términos temporales. Probablemente a nivel semestral.
- **Identificación y caracterización de OPA.** Identificar OPA que estén en condiciones de llevar a cabo experiencias de APE, permitiendo conocer las inversiones reales requeridas y su nivel de depreciación (e.g., botes, motores, infraestructura portuaria y de mar).
- **Estimación de variabilidad en la productividad y otros.** El contar con información acerca de la variabilidad temporal en la producción biológica, así como en los parámetros de la ecuación 1, variabilidad en los precios y en los principales bienes de capital permitiría implementar un análisis de riesgo más riguroso.
- **Determinación de los valores de referencia.** La determinación de los valores de referencia (PRO y PRL), así como en el grado de tolerancia para su aceptación (un porcentaje dado de certeza) sólo es posible considerando la opinión de los inversionistas. Distintas asociaciones pueden definir distintos niveles de referencia dependiendo de las expectativas de sus asociados con relación al nivel de ingresos esperados por asociado.
- **Calidad del producto final.** El análisis económico debiera incorporar la temporalidad en la calidad del producto final cuando se trata de derivados obtenidos a partir de las algas bajo cultivo y la forma en que esta variación en la calidad se traduce en precio de transacción del alga, ya sea seca o húmeda.
- **Identificación de mercados alternativos.** Se debiera evaluar qué mercados objetivos alternativos están disponibles para los recursos objetivos. De esta manera se podría orientar la producción a aquellos mercados que ofrecen los precios más atractivos para el recurso. Hasta el momento, los mercados nacionales relacionados a la explotación de algas se basan en la exportación de alga seca, y en menor medida, elaboran algunos productos con mayor valor agregado, como carrageninas, agar agar o alginatos. Para el año 2016, por ejemplo, la línea de elaboración representada por algas secas significó un retorno al país de USD 107.898.122 (Valor FOB), mientras que todas las demás líneas de elaboración de productos de mayor valor agregado representaron en conjunto USD 121.832.010 (Valor FOB), siendo las más significativas las carrageninas (USD 58.913.521), el agar agar (USD 39.029.575) y el propilenglicol (USD 17.533.458). Sin embargo, para el mismo año 2016, en términos de volumen, las algas secas registraron un valor de 75.917 ton, mientras que la exportación de carrageninas (segunda línea de producción de mayor valor) fue de sólo 4.957 ton. Esto implica que, en términos gruesos, el retorno económico por una tonelada de alga seca fue del orden de USD 1421, mientras que por una tonelada de carragenina, el valor FOB fue casi 10 veces mayor (USD 11885).

El actual escenario de líneas de producción en base a algas que sostiene nuestro país, debería convocarnos a repensar el valor agregado que se otorga a los productos derivados de algas. En el campo de la alimentación humana, al menos 145 especies de algas a nivel mundial son usadas como alimento (Zemke & Ohno, 1999). En el año 2013, la cosecha mundial de algas fue estimada en



USD 6,7 billones de d3lares, y m3s del 95% de la producci3n fue por v3a de la acuicultura, con China e Indonesia como los principales productores (FAO, 2015). FAO (2014) tambi3n estima que el 38% de los 23,8 millones de toneladas producidas en 2012 fue destinada a consumo humano. La situaci3n de la acuicultura de algas en Chile es diametralmente opuesta, en los 3ltimos 15 a3os ha aumentado dram3ticamente la participaci3n del desembarque (sobre un 65%, poniendo en riesgo la sustentabilidad de algunos recursos hidrobiol3gicos), mientras que el cultivo de algas (medido como desembarque desde centros autorizados) ha ca3do un 81% (FAO, 2015). Adicionalmente, el mercado de nutrace3uticos y compuestos bioactivos, tiene a3n mayor potencialidad econ3mica.

6.5. Identificaci3n de AMERB y CCAA para implementaci3n de cultivos

Respecto a la identificaci3n de AMERB y CCAA para implementaci3n de cultivos de algas, es importante recalcar la importancia de las capacidades socio-organizaci3nales y t3cnicas de las organizaciones potencialmente ejecutoras (e.g., pescadores artesanales), sobre todo en la adopci3n de pr3cticas de acuicultura que requieren de procesos de aprendizaje, capacitaci3n y apropiaci3n tecnol3gica y de gesti3n que posibilitar3n su desarrollo como actividad productiva (Rebours *et al.* 2014). Si bien se recopil3 informaci3n de potenciales candidatos, no se logr3 informaci3n objetiva suficiente para caracterizar a las OPA desde un enfoque socio-organizaci3n que permita estimar capital humano y organizaci3n 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, seg3n estos autores, debe ser abordado por los gobiernos y organizaciones internacionales que promueven la acuicultura como soluci3n para mejorar la seguridad alimentaria, la nutrici3n y los ingresos econ3micos, si se quiere optimizar la producci3n de recursos en acuicultura. De esta forma, es necesario implementar enfoques de investigaci3n que incorporen la dimensi3n social, organizaci3n y cultural como aspectos relevantes para la caracterizaci3n de OPA (e.g., capital social-organizaci3n), proponer estrategias de intervenci3n y disminuir brechas e incertidumbre para el desarrollo de la acuicultura de algas. Al respecto enfoques como el de "Medios de Vida Sostenible" pueden ser una buena aproximaci3n en el contexto de una pol3tica de desarrollo del cultivo de algas a peque3a escala (e.g., Neely *et al.*, 2004; Allison & Horemans, 2006)

6.6. Indicadores para evaluar acuicultura y repoblaci3n de algas

En el presente estudio, se proponen indicadores, dentro de diversas dimensiones (i.e., Tecnol3gica, Econ3mica, Ambiental, Institucional y Social), para la evaluaci3n de proyectos y acciones de acuicultura y/o repoblaci3n de algas, pre- y post cultivo (Tabla 37). El principal aporte de la propuesta de evaluaci3n del 3xito del cultivo de algas (Tabla 37) es la inclusi3n de 3ndices que eval3an cada especie algal antes de comenzar el cultivo, lo que puede ser complementario a los indicadores listados en la ley 20.925 (Tabla 39). Los indicadores espec3ficos pre-cultivo abordan conocimiento b3sico biol3gico y tecnol3gico que es esencial para el desarrollo de cualquier actividad de acuicultura (Tabla 37). Por ejemplo, el tiempo de cultivo (e.g., en hatchery y/o ambiente natural) son diferentes para cada especie y es necesario conocer esto para calcular los beneficios



econ3micos, ya que los n3meros de cosecha por a3o dependen de cada especie cultivada. Otro aspecto que es incluido en la propuesta, es la dimensi3n institucional. En este 3mbito, se incluye la situaci3n legal (i.e., si poseen o no la documentaci3n requerida para realizar acuicultura) de la agrupaci3n cultivadora de algas y el 3rea que el productor posee para implementar el cultivo. Esto tambi3n debe ser considerado ya que estos factores pueden afectar los posibles beneficios econ3micos de la producci3n final del cultivo de algas. En t3rminos sociales y econ3micos, la propuesta coincide con lo expuesto en los indicadores de la Ley 20.925 que crea Bonificaci3n para el repoblamiento y Cultivo de Algas. En general, la experiencia previa en actividades de cultivo, la estructura, el n3mero de miembros y la proporci3n de g3nero de la organizaci3n, dentro del 3mbito social, est3n claramente descritos como 3ndices de importancia en nuestra propuesta y en la ley. En t3rminos econ3micos, los 3ndices descritos en ambas listas hacen acuso de la importancia de la producci3n del cultivo y el tipo de producto que podr3a venderse lo cual afectar3 la venta e ingresos para el cultivador. En resumen, la propuesta del presente estudio incluye aspectos importantes para la evaluaci3n del 3xito de acuicultura y/o repoblaci3n de algas complementando lo indicado en la ley.

Tabla 39.

Indicadores para determinar el impacto positivo de la Ley 20.925.

Dimensi3n/3mbito	Indicador	Horizonte de tiempo
Biol3gico	Biomasa expresada como:	Corto y largo plazo
	-Sembrada por superficie	
	-Productividad por 3rea	Corto plazo
	Densidad expresada como:	
-Unidad de siembra por superficie		
Social	Numero participantes y roles	Corto y largo plazo
	Porcentaje o n3mero de mujeres participantes	Corto y largo plazo
	Numero participantes/participante total	Corto y largo plazo
	Horas trabajadas por d3a	Corto y largo plazo
	Capacidad de organizaci3n	Corto y largo plazo
	Mano de obra por superficie	Largo plazo
	Grado de integraci3n social	Largo plazo
	Grado de satisfacci3n econ3mico, expresada como:	Largo plazo
	-N3mero de experiencias realizadas	
	Nivel de ingreso familiar	Largo plazo
Importancia relativa actividad (repoblamiento y/o cultivo)	Largo plazo	
Econ3mico	Valorizaci3n de la mano de obra	Corto y largo plazo
	Ingresos, expresados como:	Largo plazo
	-Ingreso bruto o per c3pita	
	-Ingresos por unidad de superficie	
Reinvenci3n o capitalizaci3n	Largo plazo	
Ecol3gico o de sustentabilidad indirecta	Biomasa extra3da desde cultivos	Largo plazo
	Biomasa extra3da desde praderas naturales	



7. CONCLUSIONES

Desarrollo actual y proyección de la acuicultura de algas

- A nivel nacional existen 14 especies de algas que cuentan con desarrollo en investigación y tecnología de cultivo que las convierte en recursos potenciales de ser cultivados.
- Existe un desarrollo desigual para las diferentes especies investigadas, siendo las más estudiadas y con mayor desarrollo e implementación de sus cultivos, el pelillo *G. chilensis*, seguido del huiro *M. pyrifera*, la chicorea de mar *C. chamissoi*, y la luga negra *S. crispata*.
- El desarrollo de iniciativas de cultivo corresponden principalmente a proyectos de investigación ejecutados por universidades y centros de investigación. En la actualidad la poca oferta de capacitación, transferencia tecnológica y provisión de plántulas/semillas de especies de algas comerciales está 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 más escasas las experiencias a escala piloto o comercial en el mar.
- Aparte de *G. chilensis*, las experiencias de cultivo por parte de pescadores artesanales o pequeños acuicultores son aún muy escasas.
- Existe una buena percepción de todos los grupos investigados respecto de que el cultivo de algunas 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. La mayoría de los empresarios y OPAs están dispuestos a emprender cultivos.
- El cultivo suspendido se percibe como una buena opción para escalar los cultivos de algas.
- Algas para consumo humano y nuevos productos se indican como buenas oportunidades de mercado que darían mayor valor a la biomasa producida.
- Dado que no existen muchos cultivos comerciales o de escala piloto en funcionamiento, dimensionar los costos y utilidades asociados a los cultivos es una necesidad urgente, esto permitirá poder realizar un mejor análisis económico 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 éxito de la acuicultura de algas, el conocimiento de la técnica de cultivo, mayor capacitación a los usuarios, incremento en la disponibilidad de



semillas/plántulas de calidad (Dimensión Tecnológica), fortalecimiento de las OPA y el compromiso de ellas con el desarrollo de los cultivos (Dimensión social), financiamiento y aumento de la demanda (Dimensión Económica), agilización de trámites, apoyo y seguimiento de las iniciativas por parte de las autoridades (Dimensión Institucional), e identificación de áreas aptas para el cultivo (Dimensión Ambiental).

-Con la información disponible en la actualidad, se desarrolló un sistema/herramienta para seleccionar especies a cultivar y su sistema de producción asociado, el cual debe ser mejorado conforme aumente y mejore el conocimiento científico y empírico relativo a la acuicultura de las diversas especies potenciales.

Análisis FODA-AHP para la acuicultura de algas

-Se definieron 50 factores referidos como fortalezas, oportunidades, debilidades o amenazas para la implementación de la acuicultura de algas en Chile.

-El análisis FODA cuantitativo muestra que, si bien, la acuicultura de algas presenta variadas fortalezas y oportunidades, aún se posiciona en el cuadrante de las debilidades competitivas y que justamente la dimensión Institucional y la ponderación de factores que lo avalan, es el que representa el grupo de amenazas más relevante para el desarrollo de la actividad.

-El análisis de las diversas dimensiones involucradas en el desarrollo de la acuicultura de algas (y las diferencias entre éstas) sugiere un déficit de capacidades para afrontar un rápido crecimiento. Esta disparidad entre las dimensiones del sistema puede impedir beneficios a mediano y largo plazo derivados de la acuicultura de algas que, por otro lado, podrían ser fortalecidos por la nueva ley, además de las ventajas intrínsecas que dependen de un mercado establecido, experiencias de cultivo ya probadas, tecnología de base y condiciones ambientales favorables.

-El funcionamiento expedito de las instancias de administración, planificación cuidadosa capaz de promover diversificación de productos, mejora de canales comerciales, fuerte marketing y programas de educación pueden prevenir un escenario desfavorable en el mediano plazo para la acuicultura de algas.

Propuesta de zonificación para desarrollo de acuicultura y/o repoblación de algas en Chile

-Dada las diferencias y asimetrías geográficas en diversos factores que inciden en dar viabilidad al desarrollo de la acuicultura y/o repoblación de algas en Chile, se requiere de estrategias sectorizadas geográficamente para desarrollar la acuicultura y/o repoblación de algas en Chile.

-Se presenta una propuesta inicial y orientada geográficamente (i.e, macrozonas) para desarrollar acuicultura y/o repoblación en AMERB y CCAA, considerando el análisis de los resultados de las encuestas, entrevistas con informantes clave, las capacidades instaladas y potenciales para



producci3n e investigaci3n de algas por regi3n, las particularidades geogr3ficas de cada macrozona, y el desarrollo de estudios o proyectos en esta tem3tica.

-En general se sugiere para la Zona Norte, potenciar el desarrollo de cultivos de *G. chilensis*, *M. pyrifera* y *C. chamosoi*, y la repoblaci3n de *Lessonia* spp. Para la Zona Central, cultivos de *M. pyrifera*, *C. chamosoi* y *G. chilensis*, y la repoblaci3n de *D. ant3rctica*. Para la Zona Sur, cultivos de *M. pyrifera*, *S. crispata*, *G. chilensis* y *Pyropia* spp. Y para la Zona Austral cultivo de *A. plicata* y cultivo y repoblaci3n de *G. skottsbergii*.

An3lisis bio-econ3mico de cultivos de algas

-En el estado actual del an3lisis, s3lo las algas pelillo y luga negra generan VPN (Valor Presente Neto) positivos. Tanto huiro como chicorea no parecen ser rentables en un horizonte de tiempo como el analizado.

-El alga pelillo genera una certeza mayor que el de luga negra de generar mayores VPN (iguales o mayores a \$70 millones).

-El alga pelillo genera una certeza mayor que el de luga negra de evitar una situaci3n donde el VPN sea igual o inferior a \$30 millones.

-Sin el incentivo por parte del Estado (i.e., ley de bonificaci3n) a la APE, los cultivos suspendidos de los recursos pelillo y luga negra disminuyen sus probabilidades de ser viables econ3micamente. En el caso de huiro y chicorea este incentivo es determinante, pero se requiere reevaluar en qu3 montos de estimulo por parte del Estado hacen que el cultivo de estas dos especies pueda ser viable econ3micamente.

-Hay una serie de mejoras en el an3lisis y en el tipo de informaci3n requerida para profundizar en el an3lisis bio-econ3mico que son sugeridas en el presente informe.

-Se deben explorar mecanismos que permitan aumentar el margen de retornos econ3micos para las OPA que emprendan actividades de cultivo de algas. Una de las formas de lograr aquello es generando mecanismos para que comercialicen directamente con los demandantes de materia prima. Otras pueden ser, explorar formas de uso alternativo y de mayor valor agregado para las actuales l3neas de producci3n basadas en algas.

Identificaci3n de AMERB y CCAA para implementaci3n de cultivos

-Informaci3n del tipo socio-organizacional en pescadores para estimar capital humano y organizacional para desarrollar iniciativas de acuicultura de algas es a3n escasa y no permite una selecci3n objetiva de OPA.



-Se seleccionaron 2 áreas y OPA en la isla de Chiloé, con las cuales se ha comenzado a trabajar en la planificación de la implementación de los cultivos pilotos.

-Para la implementación de los cultivos y a partir de la aplicación de la herramienta desarrollada en el objetivo 1 se seleccionaron las especies a cultivar y modelo de producción en ambos sitios. De esta forma las especies a cultivar seleccionadas correspondieron a huiro (*M. pyrifera*), luga negra (*S. crispata*) y chicorea de mar (*C. chamissoi*). El modelo de producción seleccionada para ambos sitios de cultivo corresponde al sistema de cultivo suspendido tipo long-line.

Indicadores para evaluar acuicultura y repoblación de algas

-Se han descrito las dimensiones asociadas a los procesos de cultivo y repoblación de algas (i.e., Tecnológica, Económica, Ambiental, Institucional y Social), y se propone un sistema de indicadores para evaluar pre y post- acciones de acuicultura y repoblación.

-La propuesta de indicadores e índices de evaluación desarrollada en el presente estudio incluye aspectos importantes para la evaluación del éxito de acuicultura y/o repoblación de algas que complementa lo indicado en la ley de bonificación.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allison E & Ellis F (2001) The livelihoods approach and management of small-scale fishery. *Marine Policy* 25: 377-388.
- Bixler HJ, Porse H (2011) A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *J Appl Phycol* 23:321-335
- Bulboa, C., J. Macchiavello, E. Oliveira y E. Fonck. 2005. First attempt to cultivate the carrageenan-producing seaweed *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützting (Rhodophyta; Gigartinales) in Northern Chile. *Aquac. Res.* 36: 1069 – 1074.
- Bulboa, C. J. Macchiavello, E. Oliveira y K. Véliz. 2008. Growth rate differences between four Chilean populations of edible seaweed *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales). *Aquac. Res.* 39:1550 – 1555.
- 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, A.H., Cabello, F., Young, K., Carvajal, J., Varela, D.A. y Henríquez, L. 2009. Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. *Oce. Coast. Manag.* 52, 243-249.
- 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.
- Caddy, J.F., Mahon, R. 1996. Reference points for fisheries management. *FAO Fisheries Technical Papers* 347, FAO, Rome.
- Camus C, Ballerino P, Delgado R, Olivera-Nappa Á, Leyton C, Buschmann AH (2016) Scaling up bioethanol production from the farmed brown macroalga *Macrocystis pyrifera* in Chile. *Biofuels, Bioprod Biorefining* 10:673–685
- Camus C, Infante J, Buschmann AH (2016b) Overview of 3 year precommercial seafarming of *Macrocystis pyrifera* along the Chilean coast. *Rev Aquac* 1-17



- Castilla JC, Fernandez M (1998) Small-scale benthic fisheries in Chile: On co-management and sustainable use of benthic invertebrates. *Ecol Appl* 8:S124–S132
- Chang H-H, Huang W-C (2006) Application of a quantification SWOT analytical method. *Math Comput Model* 43:158–169
- Chisti Y (2007) Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25:294-306
- Chopin T, Buschmann AH, Halling C, Troell M, Kautsky N, Neori A, Kraemer GP, Zertuche-González JA, Yarish C, Neefus C (2001) Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. *J Phycol* 37:975-986
- 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
- Correa JA, Lagos NA, Medina MH, Castilla JC, Cerda M, Ramírez M, Martínez E, Faugeton S, Andrade S, Pinto R, Contreras L (2006) Experimental transplants of the large kelp *Lessonia nigrescens* (Phaeophyceae) in high-energy wave exposed rocky intertidal habitats of northern Chile: Experimental, restoration and management applications. *J Exp Mar Bio Ecol* 335:13–18
- Crona B, Gelcich S, Bodin Ö (2017) The Importance of Interplay Between Leadership and Social Capital in Shaping Outcomes of Rights-Based Fisheries Governance. *World Dev* 91:70–83
- Edding ME, Tala FB (2003) Development of techniques for the cultivation of *Lessonia trabeculata* Villouta et Santelices (Phaeophyceae: Laminariales) in Chile. *Aquac Res* 34:507–515
- Eklöf JS, Henriksson R, Kautsky N (2006) Effects of tropical open-water seaweed farming on seagrass ecosystem structure and function. *Mar Ecol Prog Ser* 325:73–84
- Eppen, G.D. Gould, F.J., Schimdt, C.P. 2001. *Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa*. Prentice-Hall, Hispanoamericana, S.A, 489 pp.
- FAO.2015. *FAO Global Aquaculture Production database updated to 2013 – Summary information*. FAO, Rome.
- FAO, 2016. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos*. Roma. 224 pp.
- Folke C, Kautsky N, Berg H, Jansson Å, Troell M (1998) The ecological footprint concept for sustainable seafood production: a review. *Ecol Appl* 8:S63-S71
- Gelcich S, Cinner J, Josh Donlan C, Tapia-Lewin S, Godoy N, Carlos Castilla J (2017) Fishers' perceptions on the Chilean coastal TURF system after two decades: problems, benefits, and emerging needs.
- Gelcich S, Guzman R, Rodríguez-Sickert C, Castilla JC, Cárdenas JC (2013) Exploring External Validity of Common Pool Resource Experiments: Insights from Artisanal Benthic Fisheries in Chile. *Ecol Soc* 18



- Gelcich S, Hughes TP, Olsson P, Folke C, Defeo O, Fernández M, Foale S, Gunderson LH, Rodríguez-Sickert C, Scheffer M, Steneck RS, Castilla JC (2010) Navigating transformations in governance of Chilean marine coastal resources. *Proc Natl Acad Sci* 107:16794–16799
- Glaser BG, Strauss AL (1967) *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. Aldine, New York
- Gonzalez E (2008) Chile's National Aquaculture Policy: missing elements for the Sustainable Development of aquaculture.
- González DJ (2009) La construcción de capital social en la acuicultura: el caso de la Región Noroeste de México. *Territorios*:53–86
- Guillemin M-L, Faugeron S, Destombe C, Viard F, Correa JA, Valero M (2008) Genetic variation in wild and cultivated populations of the haplo-diploid red algae *Gracilaria chilensis*: how farming practices favor asexual reproduction and heterozygosity. *Evolution (N Y)* 62:1500–1519
- Guisado, Ch., M. Campos, F. Inostroza, J. Ortúzar, D. Díaz, R. Maltrain, M. Benelli y D. Lissard. 2017. Diseño y valoración de modelos de cultivo para la Acuicultura de pequeña escala. Informe Final Proyecto FIPA nº 2015 – 02. 556 pp.
- Gutierrez-Wing, M.T. y Malone, R.F. 2006. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquac. Engin.* 34, 163–171.
- 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.
- Hardaker, J.B., Huirne, R.B.M., Anderson, J.R., Lien, G. 2004. *Coping with risk in agriculture*. 2nd Edn. Cambridge, CABI Publishing. Hoagland P, Anderson DM, Kaoru Y, White AW. 2002 The economic effects of harmful algal blooms in the United States: estimates, assessment issues, and information needs. *Estuaries*. 2002;25:677–695.
- Hayashi L, Bulboa C, Kradolfer P, Soriano G, Robledo D (2014) Cultivation of red seaweeds: a Latin American perspective. *J Appl Phycol* 26:719-727
- Kam, L.E., Leung, P.S. y Ostrowski, A.C. 2003. Economics of offshore aquaculture of Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*) in Hawaii. *Aquaculture*. 223, 63–87.
- Kovalenko I, Zdyrko B, Magasinski A, Hertzberg B, Milicev Z, Burtovyy R, Luzinov I, Yushin G (2011) A Major Constituent of Brown Algae for Use in High-Capacity Li-Ion Batteries. *Science* 334:75-79



- 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.
- Kumbhakar, S., 2002. Risk preferences and technology: A joint analysis. *Mar.Res. Econ.* 17, 77-89.
- Lorbeer AJ, Tham R, Zhang W (2013) Potential products from the highly diverse and endemic macroalgae of Southern Australia and pathways for their sustainable production. *J Appl Phycol* 25:717-732
- 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.
- Macchiavello, J., C. Sepúlveda, F. Saéz y N. Méndiz. 2013. Manual de cultivo de *Chondracanthus chamissoi* (Chicorea de mar). Informe Proyecto ACUICULTURA EN ÁREAS DE MANEJO: Una innovación para mejorar su desempeño mediante el cultivo suspendido de chicorea de mar (*Chondracanthus chamissoi*) en la Región de Antofagasta. Código 12BPCR – 16600. 32 pp.
- Mansilla, A., M. Palacios y S. Aguilar. 2004. Efecto de la salinidad en el desarrollo inicial de *Sarcothalia crispata* (Bory) Lesiter (Rhodophyta, Gigartinales) bajo condiciones de laboratorio. *An. Inst. Pat.* 32: 13 – 23.
- Melaku-Canu, D. P. Campostrini, S. Dalla Riva, R. Pastres, L. Pizzo, L. Rossetto and CS (2011) Addressing Sustainability of Clam Farming in the Venice Lagoon. *Ecol Soc* 16
- Miles MB, Huberman AM (1994) *Qualitative data analysis: an expanded sourcebook*, 2nd edn. Sage, Thousand Oaks
- Minecon. 2017. Programa de bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas año 2017 y bases de procedimiento para su implementación. R. Ex. N1 1499. 9 de mayo de 2017.
- Moreira D & Pires JCM (2016) Atmospheric CO₂ capture by algae: negative carbon dioxide emission path. *Bioresour Technol.* 215: 371–379.
- Muir, J. 2005. Managing to harvest? perspectives on the potential of aquaculture. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 360, 191–218
- Naylor RL, Goldberg 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.
- Neely C, Sutherland K & Johnson J (2004) ¿Los enfoques basados en los modos de vida sostenible tienen repercusión positiva en la población rural pobre? Análisis de doce estudios de casos. Subprograma de aprendizaje institucional. 64 pp.
- 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.



- Candia A & Núñez M (2013) Protocolo de cultivo de luga negra y luga roja. Proyecto HUAM-FONDEF AQ 081031. Instituto de Fomento Pesquero. 17 pp.
- Candia A & Núñez M (2017) Manual de Técnicas de repoblación y cultivo de “luga negra” (*Sarcothalia crispata*). Proyecto HUAM-FONDEF AQ 081031. Instituto de Fomento Pesquero, 35 pp.
- Pérez, E.P., A. Araya, M. Araneda y C. Zúñiga. 2012. Bioeconomic effect from the size selection in red abalone intensive culture *Haliotis rufescens* as a production strategy. *Aquaculture International*. 20: 333-345.
- Pérez, E.P. 2014. Efectos económicos de la estrategia de cosechas múltiples en el cultivo del ostión del norte *Argopecten purpuratus*: una oportunidad para mejorar la competitividad. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 42:180 – 191.
- Pérez, E.P. 2017. Estimación de cuota total permisible para los recursos huiro negro (*Lessonia berteroana/spicata*), huiro palo (*Lessonia trabeculata*) y huiro flotador (*Macrocystis integrifolia*) en las regiones de Atacama y Coquimbo. Informe de avance. 65 pp.
- Pillay, T. V. y Kutty, M. N. 2005. *Aquaculture, principles and practices*. Second edition. Fishing new books. Blackwell Science Ltd, United Kingdom, 624 pp.
- Pizarro A (1986) Conocimiento actual y avances recientes sobre el manejo y cultivo de *Gracilaria* en Chile. *Monogr. Biol.* 4: 63–96.
- Posadas, B.C. y Hanson, T.R. 2006. Economics of integrating nursery systems into indoor biosecure recirculating saltwater shrimp grow-out systems. In: P.S. Leung and C. Engle, (Eds.) *Shrimp culture: economics, market, & trade*. Ames, Blackwell Publishing. pp. 279–290.
- 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
- Romo, H. K. Alveal y C. Werlinger. 2001. Growth of the commercial carrageenophyte *Sarcothalia crispata* (Rhodophyta, Gigartinales) on suspended culture in central Chile. *J. Appl. Phycol.* 13: 229 – 234.
- Santelices B (1996) Seaweed research and utilization in Chile: moving into a new phase. *Hydrobiologia* 326:1-14
- Saaty RW (1987) The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Math Model* 9:161–176.



- Saaty TL (1990) How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research* 48: 9-26.
- Scolozzi R, Schirpke U, Morri E, D'Amato D, Santolini R (2014) Ecosystem services-based SWOT analysis of protected areas for conservation strategies. *J Environ Manage* 146:543–551
- Seijo, J. C. 2004. Risk of exceeding bioeconomics limit reference points in shrimp aquaculture systems. *Aquacul. Econ. Manag.* 8, 201-212
- Seijo, J., Defeo, O. y Salas, S., 1997. Bioeconomía pesquera. Teoría, modelación y manejo. *FAO Doc. Téc. Pesca*, 368: 1-176
- Sernapesca (2016) Anuario Estadístico de Pesca, www.sernapesca.cl.
- Soto, O. 2011. Cultivo de *Gigartina skottsbergii* (luga roja) como desarrollo de idea de negocio. Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad Austral de Chile. Escuela de Ingeniería Civil Industrial. Sede Puerto Montt. 67 pp.
- Treasurer, J. W., Hannah, F. y Cox, D., 2003. Impact of a phytoplankton bloom on mortalities and feeding response of farmed Atlantic salmon, *Salmo salar*, in west Scotland. *Aquaculture*. 218, 103–113.
- Troell M, Ronnback P, Halling C, Kautsky N, Buschmann A (1999) Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. *J Appl Phycol* 11:89-97
- 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.
- UCSC. 2015. Estudio de emplazamiento de áreas de acuicultura de pequeña escala en la zona sur (VI a XIV Regiones). Informe Final Proyecto FIPA N° 2013 – 24. 435 pp.
- Van Wyk, P., Davis-Hodgkins, M., Laramore, C.R., Main, K.L., Mountain, J. y Scarpa, J. (1999) Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems. FDACS contract M520. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee, Florida, USA.
- Vásquez JA, Tala F (1995) Repopulation of intertidal areas with *Lessonia nigrescens* in northern Chile. *J Appl Phycol* 7:347–349
- 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, J. y J. M. A. Vega (2001) *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) in northern Chile: ecological aspects for management of wild populations. *J. Appl. Phycol.* 13:267 – 277.
- Vásquez JA (2009) Production, use and fate of Chilean brown seaweeds: re-resources for a sustainable fishery. In: Borowitzka MA, Critchley AT, Kraan S, Peters A, Sjøtun K, Notoya M (eds) *Nineteenth International Seaweed Symposium: Proceedings of the 19th International Seaweed Symposium, held in Kobe, Japan, 26-31 March, 2007*. Springer Netherlands, Dordrecht, p 7–17



- Vásquez J, Piaget N, Vega JMA (2012) The *Lessonia nigrescens* fishery in northern Chile: “how you harvest is more important than how much you harvest.” *J Appl Phycol* 24:417–426
- Vásquez JA, Zúñiga 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.
- Wang, Q., B.L. White, R.M. Redman, D.V. Lightner. 1999. Per os challenge of *Litopenaeus vannamei* postlarvae and *Farfantepenaeus duorarum* juveniles with six geographic isolates of white spot syndrome virus. *Aquaculture* 170:179-194.
- Wargacki AJ, Leonard E, Win MN, Regitsky DD, Santos CNS, Kim PB, Cooper SR, Raisner RM, Herman A, Sivitz AB, Lakshmanaswamy A, Kashiwama Y, Baker D, Yoshikuni Y (2012) An Engineered Microbial Platform for Direct Biofuel Production from Brown Macroalgae. *Science* 335:308-313
- 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.
- Westermeier R, Murúa P, Patiño DJ, Muñoz L, Müller DG (2016) Holdfast fragmentation of *Macrocystis pyrifera* (integrifolia morph) and *Lessonia berteroa* in Atacama (Chile): a novel approach for kelp bed restoration. *J Appl Phycol* 28:2969–2977
- Zúñiga S y K. Soria. 2009. Costo del capital en el sector pesquero – acuícola chileno. *Interciencia* 34: 543 – 550.
- Zúñiga, S. 2010. A dynamic simulation analysis of Japanese abalone (*Haliotis hannai*) production in Chile. *Aquacult. Int.* 18: 603 – 620.
- Zemke-White, W. L., & Ohno, M. (1999). World seaweed utilisation: an end-of-century summary. *Journal of Applied Phycology* 11, 369 -376.
- Zuniga S, Marín MC & Bulboa C (2015). Bioeconomic analysis of giant kelp *Macrocystis pyrifera* cultivation (Laminariales; Phaeophyceae) in northern Chile. *Journal of Applied Phycology*, 28(1), 405-416

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