



INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2018:
Programa integral de desarrollo de acuicultura de algas
para pescadores artesanales. Etapa 2.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2019

INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2018:
Programa integral de desarrollo de acuicultura de algas
para pescadores artesanales. Etapa 2.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2019

REQUIRENTE

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

Subsecretario de Economía y
Empresas de Menor Tamaño
Ignacio Guerrero Toro

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Luis Parot Donoso

Jefe División Investigación en Acuicultura
F. Leonardo Guzmán Méndez

JEFE PROGRAMA

Francisco Cárcamo Vargas

AUTORES

Luis Henríquez Antipa
Francisco Galleguillos Foix
Sandra Saavedra Muñoz
Denisse Torres Avilés
Sebastián Cook Alvarado
Francisco Cárcamo Vargas
Pablo Leal Sandoval
Yeriko Alanis Villalobos
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.

En esta etapa del programa, el desarrollo del **objetivo específico 1**: “Proponer modelos de gestión y producción asociados al desarrollo de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA”, se orientó principalmente al Análisis bio-económico de cultivos de algas en fase hatchery y a la Evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de Organizaciones de Pescadores Artesanales (OPA), utilizando como sitio de estudio la región de Los Lagos.

-Respecto del análisis bio-económico, se realizó una recopilación de información bibliográfica y visitas técnicas a hatcheries de producción de algas a lo largo de Chile con el fin de analizar información multi-dimensional (e.g., tipo de construcción, capacidad productiva, costos, variables de producción, capital humano, mercado) que permita el diseño de un hatchery básico de producción y el posterior análisis de esta fase del cultivo. Se presentan resultados finales de diseño y costeo de un hatchery básico para producción de algas en contexto de acuicultura de pequeña escala (APE), y el análisis y modelamiento bio-económico del cultivo en hatchery para huiro (*Macrocystis pyrifera*), pelillo (*Agarophyton chilensis*), luga negra (*Sarcothalia crispata*) y chicorea de mar (*Chondracanthus chamissoi*). A excepción del pelillo, para las demás especies se proyecta la existencia de un potencial de producción semillas o plántulas en hatchery, pero aún se desconocen aspectos claves-productivos como: nivel de variables físico-químicas óptimas, nivel y costos de producción, requerimientos mínimos de personal, entre las más relevantes. De esta forma, la actividad de producción en hatchery aún es incierta, desconociéndose la real capacidad productora nacional. En la actualidad, las estimaciones de precio de plántulas para las algas en estudio son altas, haciendo inviable un negocio de producción masiva de algas en fase de mar, o al menos introduce un elemento de incertidumbre muy alta al sistema.

-Respecto de la evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de OPA para desarrollar acuicultura de algas, se presenta una herramienta tipo encuesta validada por un panel de expertos locales. Se presentan resultados de la evaluación y análisis de 28 OPA titulares de AMERB o CCAA en la región de Los Lagos y se discute la aplicabilidad de la herramienta como instrumento para la toma de decisiones. Los resultados indicaron que un porcentaje superior al 50% de las OPA evaluadas evidencian un desarrollo por sobre el umbral en ambos aspectos, sin embargo, es necesario un reforzamiento permanente de capitales sociales básicos de las OPA (e.g., liderazgo, resolución de conflictos, cooperación, entre otros) para que puedan lograr implementar exitosamente iniciativas APE. Este trabajo es particularmente crítico en OPA que teniendo potencialidades bio-físicas no logran un adecuado desarrollo de potencialidades organizacionales. En el ámbito bio-físico, se requiere ajustar las tecnologías actualmente disponibles para implementar prácticas de APE, ya que los resultados indican que ellas solo son aplicables en sitios de baja energía, como el mar interior de Chiloé y la zona del estuario de Reloncaví. En base a los resultados, se sugieren estrategias de acción particulares en función del desarrollo de las diversas potencialidades organizacionales y/o bio-físicas alcanzadas en las OPA. Se concluye además, la necesidad de incorporación de los contextos socio-



económicos propios de cada grupo o territorio en el diseño e implementación de políticas orientadas a diversificar las alternativas productivas de comunidades costeras.

-Los resultados alcanzados para este objetivo, muestran que para configurar un modelo de gestión y producción eficiente y rentable, asociado al desarrollo de acuicultura en AMERB y CCAA, falta aún abordar brechas tales como: reducción de costos en sistemas de cultivo, reducción de costos en producción o en el valor de compra de plántulas, investigación para aumentar la productividad de las especies a cultivar, diseño de procesos de acompañamiento y transferencia tecnológica continuos y ajustados a las características de las OPA a intervenir, generación de procesos de levantamiento de información socio-económica permanentes a través de herramientas metodológicamente validadas y con cobertura territorial adecuada.

El desarrollo del **objetivo específico 2**: “Desarrollar cultivos pilotos de algas en AMERB y CCAA de diferentes zonas geográficas del país”, se centró en la implementación y seguimiento de tres cultivos pilotos y una iniciativa de repoblación.

-Para el sur de Chile, se seleccionaron 2 áreas y OPA en la isla de Chiloé, con las cuales se implementaron cultivo de algas: i) 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, y ii) 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. Se presentan los resultados productivos y ambientales del primer y segundo ciclo de cultivo de chicorea de mar (*C. chamissoi*), huiro (*M. pyrifera*) y luga negra (*Sarcothalia crispata*).

Si bien se registró variabilidad entre los patrones de crecimiento en ambos sitios, el cultivo de chicorea y huiro es realizable sin mayores diferencias por ambas OPA, a pesar de que el número de socios involucrados en las labores de manejo del cultivo varió entre sitios. Las diferencias en la producción de biomasa parecen no ser un impedimento para la implementación de este tipo de acuicultura.

Las variaciones en los factores ambientales, especialmente la concentración de nutrientes no mostraron variaciones significativas en ambos sitios, a pesar de que ambos podrían presentar diferencias en influencia urbana, sin embargo, esto no parece ser un factor determinante durante los ciclos de cultivo. En resumen, ambos sitios de cultivo presentan características suficientes para desarrollar cultivo a pequeña escala. Destacable fue el cultivo de chicorea, cuya biomasa de cultivo persistió bajo epifitismo, incluso durante el verano temprano.

-Para el norte de Chile se trabajó en la implementación de una experiencia de cultivo y repoblación de huiro palo (*Lessonia trabeculata*) en el AMERB de Chungungo B, administrada por la Organización Comunitaria de Buzos Mariscadores “Los Castillo” de caleta Chungungo, comuna de La Higuera, región de Coquimbo. Se presentan los resultados de las evaluaciones poblacionales, comunitarias y censo de peces (iniciales) del AMERB en estudio. También, resultados de la primera y segunda siembra, pruebas de adhesión al sustrato de plántulas de huiro palo, pruebas de exclusión de herbívoros para testear hipótesis de ausencia de reclutamiento de esta especie en el AMERB, así como las gestiones y actividades para el desarrollo del cultivo (e.g., producción de plántulas) y los permisos sectoriales correspondientes.

Se registró mortalidad total de plántulas en ambas siembras, probablemente por la estacionalidad y el bajo tamaño de las plántulas en las fechas de siembra. Destacable son los resultados de la prueba de



adhesión de plántulas a sustrato rocosos con cianoacrilato como alternativa de siembra en iniciativas de repoblación, la cual mostró ejemplares que sobrevivieron a la presión de herbivoría y alcanzaron la fase reproductiva. Resultados de experimentos de exclusión demostrarían que la ausencia de huero palo en el AMERB Chungungo B, no se debería a la presencia de herbívoros en el área.

El desarrollo del **objetivo específico 3**: “Desarrollar una metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas”, se orientó en la propuesta inicial de una herramienta de caracterización de sitio que mida la aptitud para realizar APE de algas pardas y permita identificar sitios óptimos. La propuesta combina herramientas de Evaluación Multicriterio (MCE) y Sistema de Información Geográfico (SIG) para sintetizar mapas temáticos multicapas que incluyen atributos/variables críticas para evaluación de aptitud. En esta etapa del programa, y en base a revisión bibliográfica y levantamiento de información de terreno, se definieron: i) restricciones, conflictos sociales por usos del espacio, factores de aptitud física, de crecimiento y supervivencia, aptitud ecológica, y otros que serán considerados en la validación, ii) criterios utilizados, iii) valores y rangos de aptitud y fuentes bibliográficas de criterios y variables, y iv) métodos de medición y fuentes de datos. Los diversos criterios y variables fueron agrupados y normalizados para sintetizar un indicador comparativo correlacionado con el desempeño de los cultivos (i.e., productividad de algas) y las demás características entre distintos sitios de cultivo. Se definieron 23 variables, distribuidas en 5 tipos de criterios: Factores de crecimiento y supervivencia (9), Factores socio-económicos sitio-específicos (11), Factores de aptitud física (3), Factores de aptitud ecológica (1), y Restricciones legales (9). Para cada variable se definieron Rangos de Aptitud por Factor (RAF).

Debido al amplio rango ambiental que permite el cultivo de algas pardas a lo largo de Chile, las capacidades organizacionales inherentes y características oceanográficas como oleaje, parecen ser de mayor preponderancia para discriminar aptitud de sitio. Se requiere refinamiento de variables y valores que incluyan aptitudes socio-económicas sitio-específicas para maximizar el uso de la información.

El desarrollo del **objetivo específico 4**: “Identificar parámetros ambientales óptimos para el cultivo de algas claves para el desarrollo de APE”, en esta etapa del programa, se orientó a la evaluación experimental de curvas de tolerancia a temperatura en esporas de algas de las especies huero (*M. pyrifera*), luga negra (*S. crispata*) y luga-luga (*Mazzaella laminarioides*). Los resultados mostraron que macroalgas pardas y rojas responden de manera distinta a diferentes temperaturas (12, 14 y 16°C) y que éstas, no afectaron sustancialmente el desarrollo de los estadios tempranos de las tres especies, alcanzando todas, altas densidades de juveniles. Esto indica que las tres especies pueden ser exitosamente cultivadas en condiciones controladas de laboratorio en un rango de 12 a 16°C.

Se concluye que estudios adicionales requieren incluir temperaturas extremas (e.g., < 10°C y > 16°C) para determinar la tolerancia termal de éstas y otras especies de macroalgas.

El desarrollo del **objetivo específico 5**: “Realizar acciones de difusión, entrenamiento y transferencia asociadas al desarrollo de la acuicultura de algas”, fue abordado a través de: i) difusión de los principales resultados del programa en tres instancias científicas (i.e., dos congresos y un seminario), ii) visita tecnológica de dos OPA de Chiloé a cultivos de algas en el Centro experimental Hueihue IFOP, iii) difusión y transferencia de resultados a OPA participantes del programa (dos talleres), iv)



taller de difusión de resultados del Informe Final realizado en la ciudad de Puerto Montt, y v) producción de material gráfico de divulgación de la acuicultura de algas: un manual de acuicultura de algas titulado “Cultivo de macroalgas: Diversificación de la Acuicultura de Pequeña Escala en Chile” (versión digital e impresa), y volantes para cinco especies de algas y un tríptico sobre acuicultura de algas que estuvieron disponibles para su distribución en el stand de SUBPESCA dispuesto en el marco de la Feria Internacional AQUASUR, realizada en Puerto Montt durante octubre del 2018.

En resumen, el presente informe final da cuenta de las actividades y resultados obtenidos desde enero del 2018 a mayo del 2019, incorporando además resultados pendientes del primer ciclo de cultivo de algas iniciado en el segundo semestre del 2017 y concluido en el primer semestre del año 2018.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	I
ÍNDICE GENERAL	V
1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVO GENERAL	9
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
4. METODOLOGÍA	10
4.1. Diseño de hatchery básico para producción de algas.....	10
4.2. Análisis bio-económico de cultivos de algas en hatchery	10
4.3. Evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de OPA titulares de AMERB en la región de Los Lagos.....	10
4.4. Obtención de semillas/plántulas de algas para cultivos.....	12
4.5. Seguimiento de cultivos pilotos de algas en la región de Los Lagos	12
4.6. Implementación de cultivo y repoblación de huiro <i>L. trabeculata</i> en el norte de Chile.....	16
4.7. Revisión bibliográfica sobre variables claves y enfoques para identificar sitios óptimos	28
4.8. Levantamiento de información productiva y ambiental en sitios de estudio.....	29
4.9. Análisis de información para identificar sitios óptimos para APE de algas	30
4.10. Desarrollo de una herramienta para identificar sitios óptimos para APE de algas.....	32
4.11. Cultivo de esporas de algas.....	34
4.12. Evaluación experimental de curvas de tolerancia a temperatura, luz y nutrientes en esporas de algas	34
4.13. Desarrollo de un manual de acuicultura de algas	37
4.14. Visita tecnológica de OPA a cultivos de algas en Centro Experimental Hueihue	37
5. RESULTADOS	38
5.1. Diseño de hatchery básico para producción de algas.....	38
5.2. Análisis bio-económico de cultivos de algas en hatchery	44
5.3. Evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de OPA titulares de AMERB en la región de Los Lagos.....	87
5.4. Obtención de semillas/plántulas de algas para cultivos.....	101
5.5. Seguimiento de cultivos pilotos de algas en la región de Los Lagos	110
5.6. Implementación de cultivo y repoblación de huiro <i>L. trabeculata</i> en el norte de Chile.....	140
5.7. Revisión bibliográfica sobre variables claves y enfoques para identificar sitios óptimos	157
5.8. Levantamiento de información productiva y ambiental en sitios de estudio.....	160
5.9. Análisis de información para identificar sitios óptimos para APE de algas	160
5.10. Desarrollo de una herramienta para identificar sitios óptimos para APE de algas.....	188
5.11. Evaluación experimental de curvas de tolerancia a temperatura en esporas de algas.....	191
5.12. Desarrollo de un manual de acuicultura de algas	196
5.13. Visita tecnológica de OPA a cultivos de algas en Centro Experimental Hueihue	197
5.14. Actividades generales.....	198



6. DISCUSIÓN	201
6.1. Diseño de hatchery básico para producción de algas.....	201
6.2. Análisis bio-económico de cultivos de algas en hatchery	202
6.3. Evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de OPA titulares de AMERB en la región de Los Lagos	204
6.4. Seguimiento de cultivos pilotos de algas en la región de Los Lagos	210
6.5. Implementación de cultivo y repoblación de huiro <i>L. trabeculata</i> en el norte de Chile.....	212
6.6. Identificación de sitios óptimos para desarrollar APE de algas.....	214
6.7. Evaluación experimental de curvas de tolerancia a temperatura en esporas de algas.....	215
7. CONCLUSIONES	217
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	221

ANEXOS

- Anexo 1.** Herramienta de evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de OPA titulares de AMERB en la región de Los Lagos
- Anexo 2.** Detalle de costos de propuesta de hatchery de macroalgas
- Anexo 3.** Documentos asociados a producción y traslado de plántulas de huiro palo (*L. trabeculata*)
- Anexo 4.** Documentos asociados a gestión de permisos de acuicultura y repoblación en sitios de estudio
- Anexo 5.** Datos ambientales sitios de cultivo Dalcahue y Auchac (primer y segundo ciclo de cultivo)
- Anexo 6.** Manual de acuicultura de algas
- Anexo 7.** Lista de asistentes, registro fotográfico y presentaciones Visita tecnológica de OPA a Centro Experimental Hueihue
- Anexo 8.** Material de difusión generado en el marco del Programa Etapa 2, año 2018
- Anexo 9.** Programa, lista de asistentes, registro fotográfico y presentaciones de Talleres de Difusión de Resultados (regiones de Los Lagos y Coquimbo)



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.* 2013), 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 (*Agarophyton chilensis*, ex *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 *A. 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 podrían ser muy dependientes 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 OPA.

-Desarrollo de la acuicultura debe considerar el capital humano (e.g. trabajo colaborativo, asociatividad, redes) y conocimiento tradicional existente en las OPA 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.

En resumen y a la fecha, 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 AMERB y la Ley de Bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas constituyen dos instancias para promover su desarrollo. Es importante destacar que para los dos primeros años de funcionamiento de la Ley de Bonificación (i.e., 2017-18) se han presentado y aprobado, principalmente, iniciativas para cultivo de pelillo *A. chilensis* (<http://www.subpesca.cl>).

El presente programa se desarrolla orientado por el marco que otorgan ambas instancias y por la oportunidad económica y social que el cultivo de algas representa. Considerando además, que es de alta relevancia contar con experiencias pilotos que permitan implementar, acompañar, evaluar y orientar el desarrollo de la acuicultura de algas nacional en AMERB y CCAA.



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. Desarrollar una metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas.
4. Identificar parámetros ambientales óptimos para el cultivo de algas claves para el desarrollo de APE.
5. Realizar acciones de difusión, entrenamiento y transferencia asociadas al desarrollo de la acuicultura de algas.



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. Diseño de hatchery básico para producción de algas

Mediante recopilación bibliográfica, entrevistas y visitas a hatcheries de producción de algas nacionales se propuso el diseño de un hatchery de producción, considerando equipamiento y los costos de inversión, implementación y funcionamiento. Las directrices para la propuesta fueron el diseño de un hatchery básico, de baja complejidad y que permita abastecer de semillas/plántulas de las especies identificadas con mayor proyección para masificar su cultivo (e.g., pelillo, huiro, luga negra, chicorea) considerando cubrir la demanda de al menos 10 hectáreas de cultivo.

4.2. Análisis bio-económico de cultivos de algas en hatchery

Se realizó un análisis bio-económico dinámico del cultivo a través de modelación para evaluar la factibilidad económica de la producción de semillas/plántulas de cuatro especies de algas en escenarios de producción asociados a AMERB y CCAA. El análisis 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. Las especies que fueron modeladas corresponden a las con mayor proyección para masificar su cultivo (e.g. pelillo, huiro, luga negra, chicorea). Mediante recopilación bibliográfica, entrevistas, visitas a hatcheries y los resultados de la Actividad 1, se recolectaron datos para la construcción de los sub-modelos: biológico, tecnológico, económico y ambiental para cada especie.

4.3. Evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de OPA titulares de AMERB en la región de Los Lagos

La adopción de tecnologías de cultivo por parte de comunidades de pescadores artesanales requiere que uno de los focos de intervención considere aspectos socio-culturales (entendidos como capacidades existentes dentro de las OPA), y que no sólo se prioricen aspectos de inversión y transferencia tecnológica.

El desarrollo de esta actividad consideró como marco teórico-metodológico el enfoque de “Medios de Vida Sostenible”. Este enfoque ha sido utilizado como marco conceptual para diagnosticar, ordenar y priorizar OPA en el contexto de implementación de módulos de acuicultura en AMERB en la región de Coquimbo (Proyectos: *Fortalecimiento organizacional para avanzar en la implementación de acuicultura en las áreas de manejo de la región de Coquimbo* y *Transferencia tecnológica para el*



desarrollo de acuicultura en las áreas de manejo de la región de Coquimbo). El Enfoque de “Medios de Vida Sostenible” considera diferentes dominios, dentro de los cuales los aspectos humanos (capital humano y social), además de aspectos biofísicos (condiciones del área e infraestructura mínima de soporte donde se desarrollarán los cultivos de algas) pueden entregar información crítica en el contexto del diseño, implementación y evaluación de resultados de una política de desarrollo del cultivo de algas a pequeña escala (Edwards 2000; Allison & Ellis 2001; Neely et al. 2004; Allison & Horemans 2006).

La aplicación de esta metodología, en la región de Los Lagos, permitió poner a prueba una herramienta de diagnóstico que permitiría eventualmente priorizar la intervención socio-productiva relacionada al desarrollo de APE, caracterizando a las OPA en 4 grupos: 1) Aptas organizacionalmente y biofísicamente, 2) Aptas solo organizacionalmente, 3) Aptas solo biofísicamente y 4) No aptas organizacionalmente y biofísicamente.

La metodología consideró el diseño de un instrumento de recolección de datos (cuestionario semi-estructurado, Anexo 1), la validación del instrumento y la aplicación del instrumento (i.e., encuesta) a dirigentes de OPA distribuidas en tres territorios de la región de Los Lagos: 1) Costa Expuesta al Océano Pacífico, 2) Mar Interior de Chiloé, y 3) Costa Este de la región de Los Lagos (Estuario Reloncaví y Hualaihué), además de la sistematización de información secundaria existente.

El instrumento se estructuró en base a factores y sub-factores a evaluar, que fueron los siguientes:

- Factor Potencialidades Organizacionales
 - Sub-Factor Capital Social – Acción Colectiva: entendida como el conjunto de acciones que requieren participación de un grupo de personas con intereses comunes, las acciones buscan lograr ese interés compartido para formar comunidad.
 - Sub-Factor Relaciones Verticales: relaciones con instituciones y tomadores de decisión ubicados en niveles jerárquicos mayores, que ayudan o no a la obtención de objetivos de las organizaciones.
 - Sub-Factor Relaciones Horizontales: redes de parentesco, asociaciones, organizaciones y otras formas que permiten identificarse como pares. Su función es permanente y cotidiana, con el fin de resolver dificultades u obtener ventajas comparativas en sus medios de vida.

- Factor Potencialidades Bio-Físicas
 - Sub-Factor Físico: infraestructura, condiciones del entorno, distancia a la caleta, acceso público, condición de insularidad, conectividad (telefónica, terrestre, marítima), habilitación de las caletas, equipamiento para labores de cultivo.
 - Sub-Factor Natural: grado de exposición sur-oeste, grado de exposición norte, heterogeneidad de la costa. Este sub-factor se evaluó en zonas específicas identificadas por los entrevistados al interior de las AMERB o CCAA que administran y que según su criterio cumplen con condiciones ideales para el desarrollo de APE.



En cada organización entrevistada, cada sub-factor fue dimensionado en base a la asignación de puntaje por el cumplimiento de criterios definidos en la encuesta. De este modo, cuando una organización alcanzó el máximo puntaje observado para un sub-factor, se le asignó un 100% de desarrollo del sub-factor. Para el resto de las organizaciones entrevistadas, se calculó el porcentaje de desarrollo del sub-factor evaluado de manera porcentual, mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ desarrollo sub-factor}_i = \frac{PP_i}{PM_o} \times 100$$

Donde

PP_i = Puntaje Parcial obtenido por la i-ésima organización

PM_o = Puntaje máximo observado en la evaluación de ese subfactor

De esta forma, las demás organizaciones fueron ordenadas en forma descendente en relación al grado de desarrollo de ese sub-factor evaluado. Finalmente, el porcentaje de desarrollo de cada sub-factor evaluado fue ponderado mediante un panel de expertos (n=5), integrado por actores del ámbito público y privado con conocimiento cabal de las zonas, habilitaciones y organizaciones del territorio, quienes definieron el peso relativo de cada sub-factor. De esta forma, el panel de expertos definió un factor de ponderación para cada sub-factor, el cual permitió ajustar los valores de porcentaje de desarrollo obtenidos en cada sub-factor evaluado y hacerlos comparables entre OPA.

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

4.4. Obtención de semillas/plántulas de algas para cultivos

Semillas/plántulas de las algas huiro *M. pyrifera*, huiro palo *L. trabeculata*, luga negra *S. crispata* y chicorea *C. chamissoi* fueron obtenidas desde cultivo en hatchery (dependiendo de la especie), mediante producción propia (Centro Experimental Hueihue del Instituto de Fomento Pesquero) y/o mediante compra a proveedores externos autorizados, y de acuerdo a protocolos de producción vigentes. Especímenes fueron utilizados para implementación de experiencias de cultivos suspendidos y repoblación (ver actividades siguientes).

4.5. Seguimiento de cultivos pilotos de algas en la región de Los Lagos

Durante el mes de septiembre y diciembre del 2017 y asociados a la etapa 1 del presente programa, se implementaron 2 cultivos pilotos (i.e., primer ciclo de cultivo) en:

-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 Comercializaci3n de productos del mar de la localidad de Dalcahue, Chilo3.

En la etapa 2 se continu3 trabajando en ambos sitios para finalizar el primer ciclo de cultivo, y a partir del mes de agosto del 2018, se realizaron nuevas siembras de algas (huir3, luga negra y chicorea) en lo que se denomin3 segundo ciclo de cultivo. Adicionalmente, se continu3 con el monitoreo de par3metros de crecimiento y par3metros f3sico-qu3micos de los sitios de cultivo. Datos obtenidos desde los cultivos permitieron:

- Proporcionar datos para corregir/ajustar modelos bio-econ3micos
- Identificar relaciones entre variables ambientales del sitio y productivas

4.5.1. Monitoreo de par3metros productivos del cultivo en mar

El crecimiento de algas del primer ciclo de cultivo fue monitoreado aproximadamente cada 15-20 d3as siguiendo el protocolo descrito en el Informe Final de la Etapa 1 del Programa (C3rcamo et al. 2017). Para el segundo ciclo de cultivo se procedi3 de forma similar. Muestras fueron obtenidas desde 3 l3neas en cada uno de los cultivos y para cada una de las especies cultivadas ($n=3$ por cada long-line y especie cultivada). 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 1). Para chicorea y huir3, 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 2). Desde cada muestra se removieron la totalidad de las algas para calcular biomasa m^{-1} lineal, tasa de crecimiento standard (SGR) y cuantificaci3n de epibiontes (g peso h3medo m^{-1} lineal).

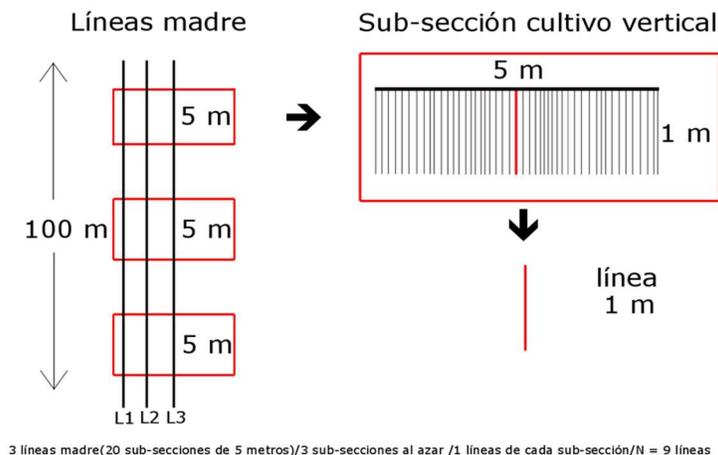


Figura 1. Esquema de monitoreo de crecimiento en cultivos de luga negra. La l3nea madre fue dividida en secciones de 5 m de longitud de las cuales tres secciones se seleccionaron al azar. De cada sub-secci3n de 5 m, se removió un trozo de 1 m lineal para obtener el peso fresco de las algas.

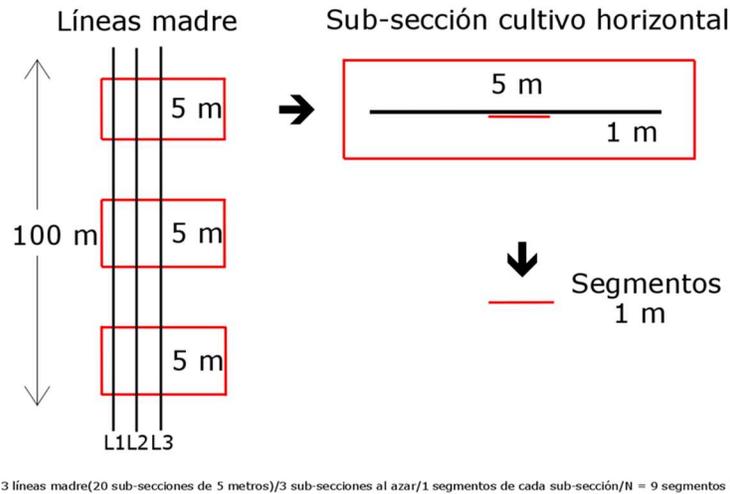


Figura 2. Esquema de monitoreo de crecimiento en cultivos de chicorea y huiro. La línea madre fue dividida en secciones de 5 m de longitud de las cuales tres secciones se seleccionaron al azar. De cada sub-sección de 5 m, un segmento de 1 m de longitud fue totalmente removido para obtener el peso fresco de las algas.

4.5.2. Monitoreo de parámetros físico-químicos del cultivo

En ambos ciclos y sitios de cultivo, se realizaron mediciones continuas de parámetros físicos con data loggers instalados a una profundidad de 3 m. Luz y temperatura con HOBO Onset Pendant Temp/light, 64k, conductividad con HOBO Onset U24-002-C y oxígeno disuelto con HOBO Onset U26-001. La instalación de estos dispositivos se realizó paralelamente a la siembra de las algas (Figura 3). Adicionalmente, se obtuvieron perfiles sitio-específicos de temperatura, salinidad, clorofila a, oxígeno disuelto y luz PAR (Photosynthetic Active Radiation) con un CTD (Sea and Sun, CTM 691).

En ambos ciclos de cultivo, se obtuvieron muestras de agua para el análisis de nutrientes, dentro y fuera de los sitios de cultivo. La metodología es la indicada en Cárcamo et al. (2017) y consistió en tomar 3 muestras por cada lado exterior del polígono de cultivo y 3 muestras por cada lado interior (dentro) del polígono de cultivo, además de 3 muestras distanciadas por 100 metros de cada lado del polígono (N total =27) (Figura 4). Muestras fueron extraídas en jeringas para obtener 50 ml de agua filtrada a 0,2 μ (Figura 5), para su posterior análisis en equipo fotométrico Merck Spectroquant -Nova 60. Los nutrientes determinados fueron concentración de nitratos y nitritos (mg l^{-1}) presentes en agua de mar durante el momento del muestreo.

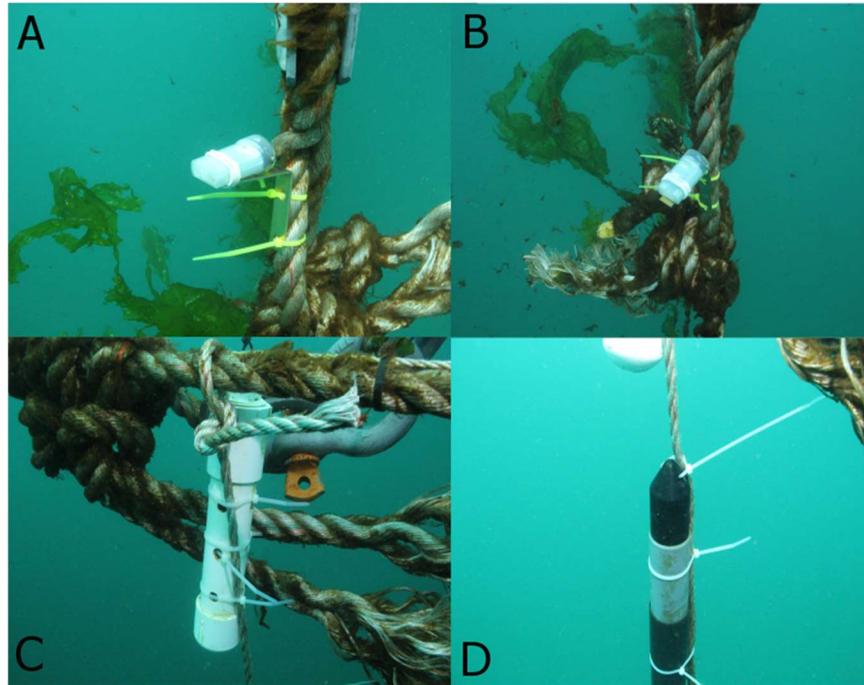


Figura 3. Instalaci3n de sensores de par3metros f3sicos. A-B: Sensores de luz y temperatura (HOBO Onset Pendant Temp/light, 64k); C: Sensor de conductividad (HOBO Onset U24-002-C); D: Sensor de ox3geno disuelto (HOBO Onset U26-001).

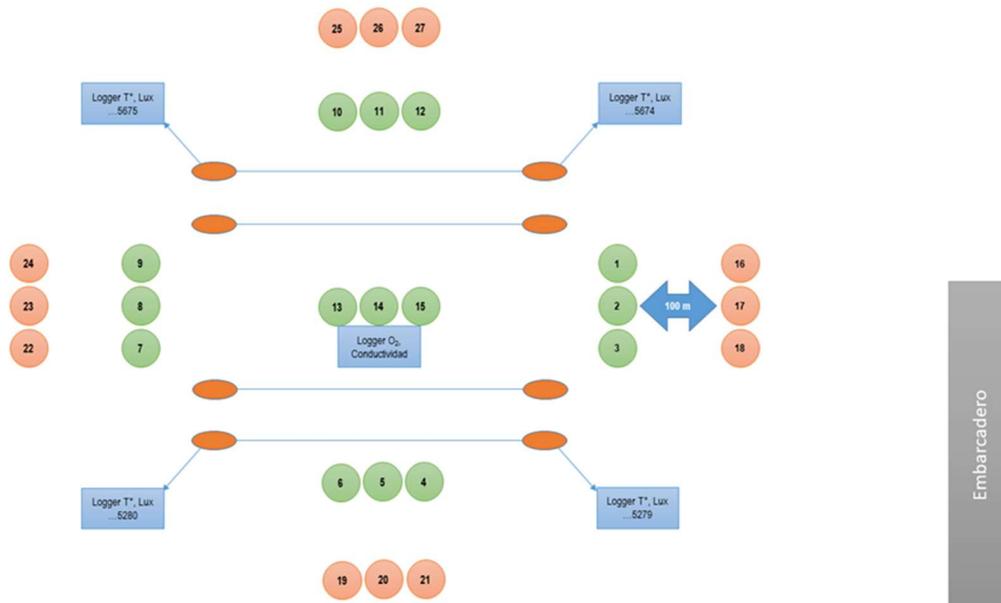


Figura 4. Diagrama de la obtenci3n de muestras para medici3n de par3metros f3sico-qu3micos.



Figura 5. Proceso de filtrado de agua *in situ* para el an3lisis de nutrientes.

4.6. Implementaci3n de cultivo y repoblaci3n de huiro *L. trabeculata* en el norte de Chile

4.6.1. 3rea de estudio

Se realiz3 una experiencia de cultivo y repoblaci3n de huiro palo *L. trabeculata* en la AMERB de Chungungo B (comuna de La Higuera, regi3n de Coquimbo) administrada por la OPA: Organizaci3n Comunitaria de Buzos Mariscadores “Los Castillo”. Esta AMERB se ubica en la zona norte de la bahía de Chungungo, con orientaci3n al sur (Figura 6). Para ello, junto a la OPA se realizaron las gestiones para solicitar a SUBPESCA un Permiso Experimental de Acuicultura que autorice el trabajo de cultivo y repoblaci3n en el AMERB. El polígono solicitado es de una superficie total de 1 h3 (Tabla 1, Figura 7).

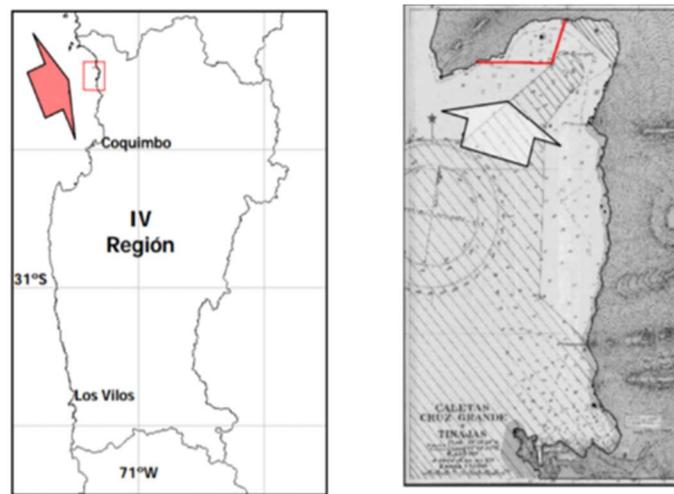


Figura 6. Mapa AMERB Chungungo B, Comuna de La Higuera, Regi3n de Coquimbo. Imagen ESBA tomada de Caillaux (2001).



Tabla 1.

Vértices en WGS-84 del polígono solicitado para realizar Acuicultura Experimental en AMERB Chungungo B.

Vértice	Latitud S	Longitud W
A	29°25'00,259" S	071°19'11,903"
B	29°25'03,156" S	071°19'10,888"
C	29°25'02,509" S	071°19'07,036"
D	29°24'59,558" S	071°19'07,963"

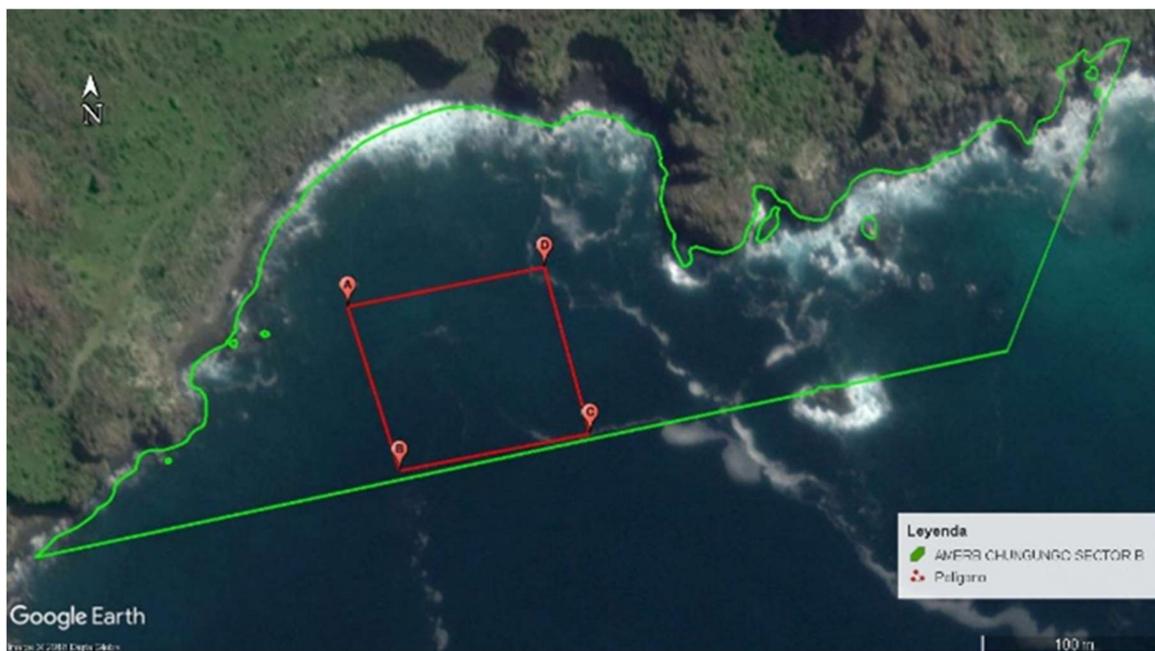


Figura 7. Representación gráfica del polígono solicitado para realizar Acuicultura Experimental en AMERB Chungungo B.

En el estudio de situación base de esta AMERB, realizado el año 2000, se informó que el área estaba constituida por al menos 4 comunidades bentónicas: fondos blanqueados someros, comunidad de *L. trabeculata*, comunidad de organismos suspensívoros y comunidad de incrustantes. La comunidad de *L. trabeculata* descrita formaba un bosque submareal de baja densidad, con cobertura de 30-50%, con plantas de 1 m de altura (Caillaux 2001). En el informe de seguimiento N°2, se informa de comunidad de macroalgas en el área (Figura 8). Sin embargo, en el seguimiento N°10 del periodo 2016-2017 en la cual se realizó una evaluación cualitativa del área, solo se describieron comunidades de fondos blanqueados, caracterizada por coberturas de algas crustosas calcáreas y con organismos móviles como *Tetrapygus niger*, *Stichaster striatus*, actinias y moluscos como *Tegula* spp., *Nassarius gayi*, *Mitrella* sp. y *Fissurella* spp. Además, para ese periodo no se solicitó cuota de extracción para las



especies principales loco, lapa negra y lapa reina debido a su escasa presencia en el área (Jofré, 2017).

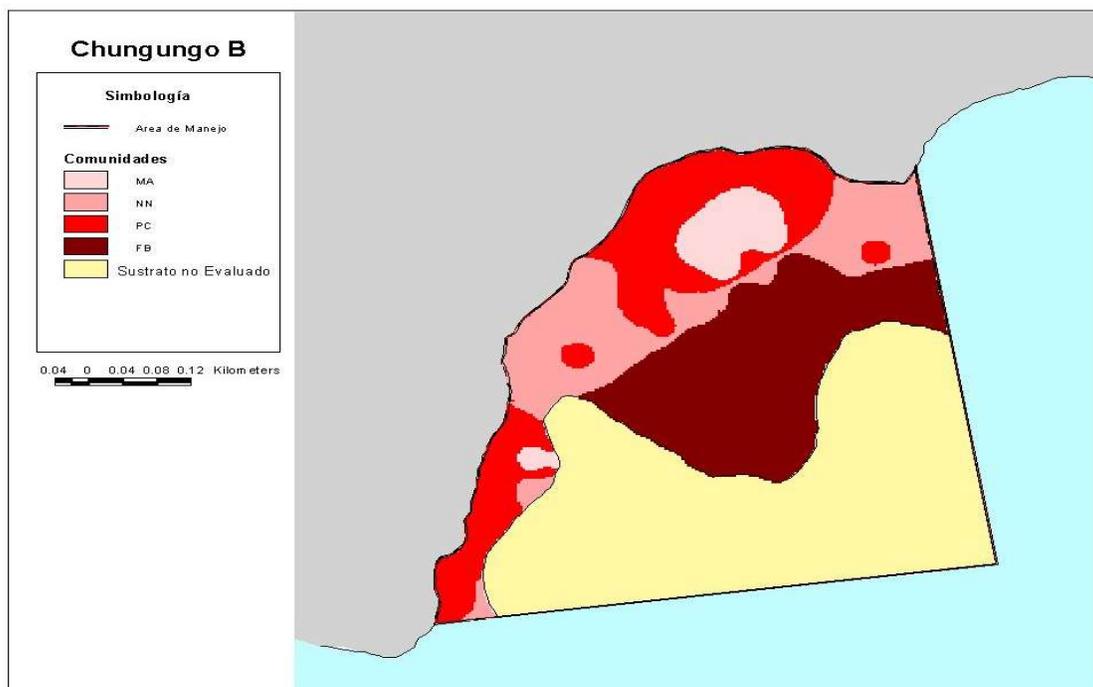


Figura 8. Mapa de la distribución espacial de comunidades submareales en el área de manejo Chungungo B, durante el año 2003. Comunidad de macroalgas en color rosado. Elaborado por Consultora Ciclos Ltda.

4.6.2. Evaluación inicial del AMERB

El 17 de enero del 2018, se realizó una prospección inicial mediante buceo autónomo, en la cual se realizaron grabaciones y se tomaron fotografías para planificar las evaluaciones posteriores del área. Estas evaluaciones permitirán conocer el estado actual del área y planificar el proceso de cultivo y repoblación.

4.6.2.1. Evaluación de *L. trabeculata*

La primera evaluación del área se realizó el día 9 de mayo del 2018. Mediante buceo autónomo se dispusieron transectas de forma regular, preferentemente, sobre sustrato rocoso. Se localizaron 10 transectas de 50 m de longitud perpendiculares a la costa y 1 transecta paralela a la costa. En cada transecta se registró la presencia y abundancia de *L. trabeculata* y se contabilizó el número de individuos de especies con mayor densidad con un rango de observación de 1 m a cada lado de la transecta. Generando observaciones de 100 m², completando un área muestreada de 1100 m² totales (Figura 9).



4.6.2.2. Evaluaci3n de comunidades bent3nicas

Paralelamente, se realiz3 un muestreo de comunidades mediante cuadratas de 0.25 m² con 100 puntos de intersecci3n en 3 estaciones de muestreo: al inicio (0 metros), a los 25 metros y al final de la transecta (50 metros). En cada estaci3n se registraron 3 r3plicas. En total se evaluaron 99 cuadratas, con una total superficie total evaluada de 24.75 m². Registrando adem3s el tipo de sustrato y profundidad. Esta evaluaci3n permitir3 conocer el ensamble comunitario presente en el 3rea previo a la repoblaci3n, adem3s permitir3 evaluar las especies de herb3voros bent3nicos que pueden, potencialmente, depredar los individuos repoblados. Para ello se utilizaron los registros cuantitativos de las 99 cuadratas observadas. El tipo de dato obtenido correspondi3 a la identificaci3n y conteo de invertebrados m3viles o semi-s3siles y a la cobertura de los invertebrados s3siles y algas conspicuas.

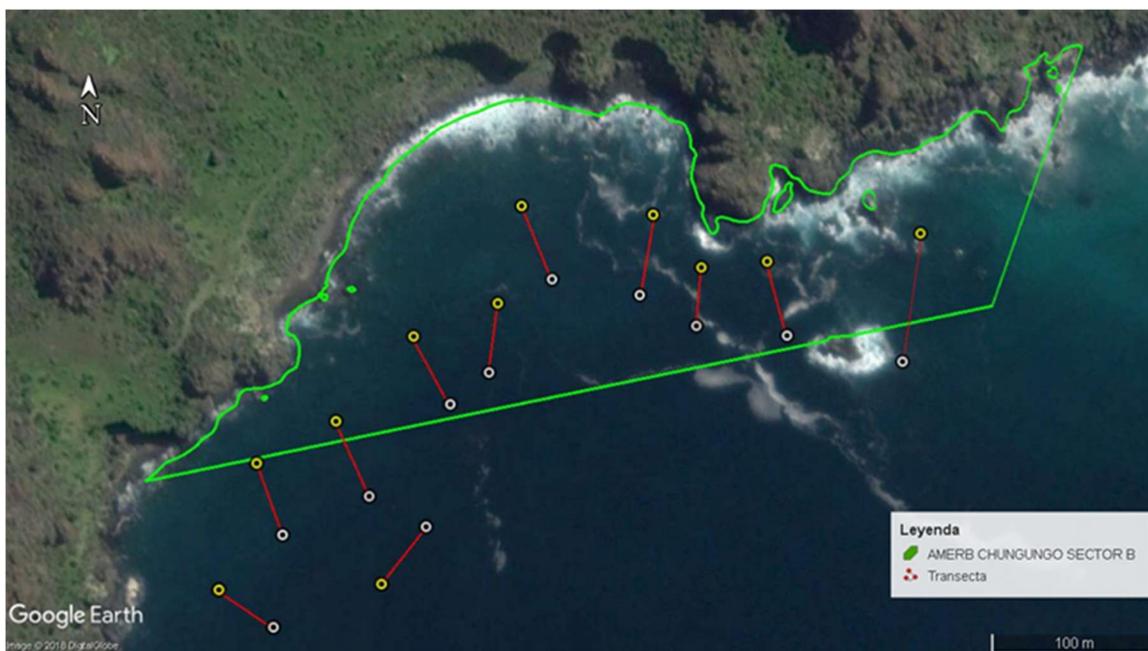


Figura 9. Localizaci3n espacial de las transectas para la evaluaci3n inicial de AMERB Chungungo B.

Con los datos de las evaluaciones de terreno se estimaron los siguientes indicadores comunitarios:

Estimaci3n de la riqueza de Taxa (S): La riqueza de taxa corresponde al n3mero total de grupos taxon3micos diferentes que se registraron en las evaluaciones realizadas para cada tipo comunidad.

Estimaci3n de la riqueza de Taxa (D'): La riqueza de taxa para estimar los 3ndices de diversidad (D') corresponde al n3mero total de taxa identificados, que es factible contar num3ricamente en t3rminos de frecuencia, seg3n la categorizaci3n estandarizada.



Estimación de valores de cobertura: La cobertura es representada a través de una gráfica de torta, directamente a través de la proporción de puntos de intersección (p_i) que presentó cada taxa en el total de los cuadrantes evaluados, los que pueden ser obtenidos dividiendo por 100 el n total de los p_i .

Estimación de la diversidad: Los índices ecológicos estimados corresponden a la Diversidad de Shannon-Wiener (H'), y a la Uniformidad (J'). Los algoritmos para su cálculo son:

- Índice de diversidad de Shannon-Wiener:

$$H' = - \sum p_i \log p_i$$

- Uniformidad:

$$J' = H' / \log n$$

Donde:

p_i : Abundancia relativa de cada especie (invertebrados) registrada en la comunidad.

n : Número total de especies (invertebrados) registrados en la comunidad.

Log: Logaritmo (en base 10).

4.6.2.3. Censo de peces

El día 30 de agosto del 2018, se realizó un censo de peces para caracterizar la comunidad íctica del sector, utilizando la metodología descrita por Pérez-Matus *et al.* (2014). Se realizaron 2 transectas de 100 m. Una de ellas, fue ubicada fuera del polígono a repoblar (transecta 1) y la otra dentro del polígono (transecta 2). Se determinó la riqueza de especies y se evaluaron especies conspicuas y crípticas (Figura 10).

Las especies conspicuas fueron evaluadas por dos buzos autónomos, Un buzo registró la especie y la longitud total (TL) de cada pez encontrado dentro de un "túnel" de 4 m de ancho a lo largo de cada transecta. Un segundo buzo grabó la transecta para realizar una revisión posterior del procedimiento. Para la evaluación de peces crípticos, se establecieron 3 estaciones de 3m de longitud con 1 m de observación por lado, para ello el buzo realizó búsquedas entre grietas y posibles refugios. Para los peces conspicuos se calculó la biomasa individual (peso, W) utilizando la longitud específica de la especie con la siguiente formula; $W = \alpha L^b$. Donde L es la longitud del cuerpo de cada individuo de estimaciones visuales, y los parámetros a y b son constantes para cada especie (Pérez-Matus *et al.* 2014). Los peces fueron categorizados en cinco grupos tróficos basado en información dietaria publicada. Las especies de peces fueron etiquetadas como (1) herbívoros, (2) planctívoros, (3) carnívoros bentónicos, (4) omnívoros, y (5) piscívoros (Angel & Ojeda 2001; Pérez-Matus *et al.* 2012).



Figura 10. Ubicaci3n de las transectas realizadas en censo de peces, transecta 1 en amarillo y transecta 2 en celeste. En verde se delimita el AMERB Chungungo B, mientras que en rojo se representa el pol3gono del APE.

4.6.2.4. Exclusi3n de herb3voros

Bajo la hip3tesis de que en el 3rea existe asentamiento natural de *L. trabeculata*, pero que producto de la herbivor3a, las algas no se desarrollan, se realiz3 una experiencia de exclusi3n de herb3voros. La idea del dise1o de las Unidades Experimentales (UEs) est3 basada en la experiencia realizada por Perreault *et al.* (2014), en la que utilizaron tapas de alcantarillado (redondas) para el control y rodeadas con malla para la exclusi3n parcial (organismos bent3nicos). En este caso se utiliz3 una estructura cuadrada, con base de hormig3n de 0,25 m², sobre la cual se levant3 una estructura met3lica hasta los 0,5 m de altura (formando un cubo). Sumado a lo anterior, una estructura que permiti3 colocar una c3mara para realizar el registro fotogr3fico de la base de hormig3n.

La experiencia const3 de 3 tratamientos y 4 r3plicas por tratamiento. Los tratamientos consistieron en 1) sin manipulaci3n (control), la cual no ten3a ning3n tipo de exclusi3n; 2) con exclusi3n parcial de herb3voros bent3nicos, UEs que ten3a una abertura apical como obst3culo al sustrato de fijaci3n; 3) con exclusi3n total, UEs con una tapa con malla, para excluir todo tipo de herbivor3a (Figura 11).

El d3a 16 de agosto del 2018, las UEs fueron transportadas en una embarcaci3n artesanal de fibra, hacia el pol3gono previamente georreferenciado (Figura 12).

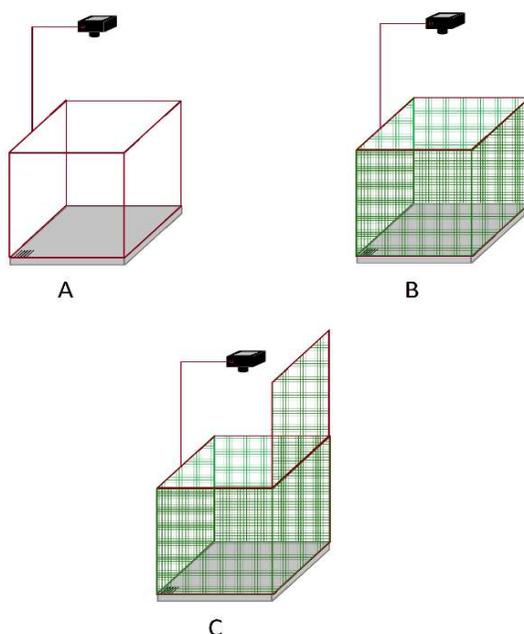


Figura 11. Esquema de las unidades experimentales (UE), d3nde A) Corresponde al tratamiento Control; B) Exclusi3n parcial de organismos bent3nicos; C) Corresponde a la unidad de exclusi3n total (se muestra con la tapa abierta).



Figura 12. Posici3n de las estaciones en el AMERB Chungungo B; d3nde se instalaron los 3 tipos de UEs.



En el lugar se realiz3 una exploraci3n de los lugares m3s apropiados para instalar las UEs mediante buceo semiaut3nomo ligero. Los criterios considerados fueron:

- Que el espacio tenga una profundidad no mayor a los 13 m.
- Un espacio de preferencia de fondo semi-duro, en caso contrario una plataforma regular de sustrato duro (roca plana) (Figura 13).
- Un espacio que permita posicionar las UEs a no m3s de 5 m cada una y a no m3s de 2 m de profundidad de diferencia.
- Mantener las condiciones anteriores para los 3 tratamientos.

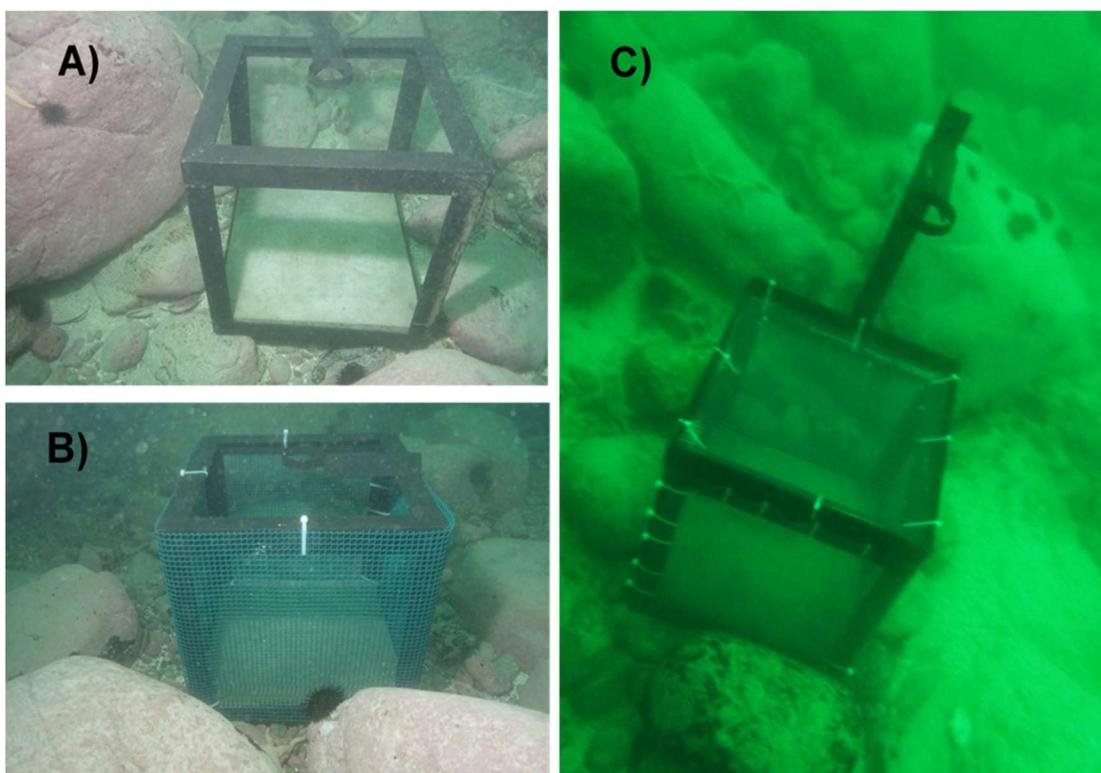


Figura 13. Unidades Experimentales (UEs); d3nde A) corresponde al tratamiento sin manipulaci3n (control), B) tratamiento con exclusi3n parcial de herb3voros bent3nicos, y C) tratamiento de exclusi3n total.

Se realizaron revisiones mensuales con la finalidad de mantener las UEs en condiciones operativas (Figura 14). Luego de 7 meses en el mar se fotografiaron y se calcul3 el porcentaje de cobertura de las especies presentes en 0,25 m².



Figura 14. Registro y mantenci3n de UE, mediante buceo semi aut3nomo.

4.6.3. Cultivo piloto de *L. trabeculata*

El d3a 25 de septiembre del 2018, se instalaron dos l3neas de cultivo o long-line de 50 m dispuestos a 3 y 5 m de profundidad (Figuras 15 y 16). Estas l3neas se instalaron con las indicaciones descritas en Macchiavello *et al.* (2014) y con el apoyo de los socios de la OPA.

El d3a 25 de octubre del 2018, se realiz3 la siembra de cabo inoculado con pl3ntulas de *L. trabeculata*. Se colectaron 3 trozos de cabos al azar en cada l3nea de cultivo y llevado al laboratorio en frascos individuales de 200 ml con agua de mar. Cada trozo fue revisado en lupa para el conteo de pl3ntulas y medici3n todas aquellas que midieran sobre 1cm, con el objeto de determinar la densidad de pl3ntulas sembradas y contar con una aproximaci3n del tama3o promedio de algas. Este procedimiento de monitoreo se realiz3 nuevamente al cumplir un mes desde la siembra, el d3a 25 de noviembre. Cada 15 d3as se realiz3 mantenci3n de las l3neas. Mensualmente se recolectar3an 3 unidades de muestreo de 10 cm en distintos sectores de cada l3nea de cultivo y para las dos profundidades. Muestras fueron analizadas en laboratorio mediante lupa estereosc3pica, para estimar tasa de supervivencia, fenolog3a reproductiva (% de plantas f3rtiles), biomasa m⁻¹ lineal y tasa de crecimiento standard (SGR).

El d3a 11 de diciembre se realiz3 una segunda siembra de pl3ntulas provenientes del mismo batch de reproductores de la primera siembra. Estas pl3ntulas fueron obtenidas del desprendimiento de esporofitos en etapas tempranas del cultivo para la obtenci3n de cabos inoculados. Luego del desprendimiento fueron rescatadas y siguieron un cultivo tipo free floating. El d3a anterior a la siembra, se encordaron las pl3ntulas cada 10 cm en trozos de cabo de 1,5 m, dejando 0.25 m de cabo para el amarre en la l3nea madre en un extremo y 0.25 m de cabo para el amarre de un peso muerto. Se seleccionaron pl3ntulas que tuvieran m3s de un estipe y que tuvieran mayor tama3o. En total se



encordaron 100 fragmentos de cabos. Estos cabos fueron sembrados en posici3n vertical con una distancia entre ellos de un metro. Para determinar la longitud y n3mero de estipes de las pl3ntulas sembradas se llev3 al laboratorio 5 cabos con pl3ntulas encordadas. Cada pl3ntula fue sacada del cabo, medida en su longitud y se les conto la cantidad de estipes con hojas que ten3an. Posteriormente se pes3 en una balanza digital la biomasa total por cabo.

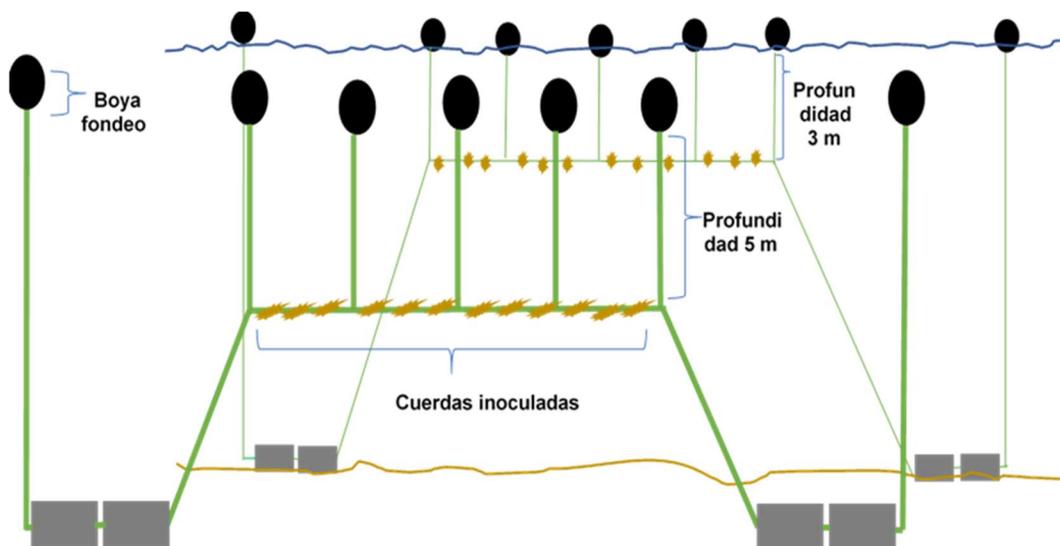


Figura 15. Esquema para cultivo en mar con esporofitos de huiro *L. trabeculata*.



Figura 16. Ubicaci3n de las l3neas de cultivo instaladas para la siembra de huiro *L. trabeculata*; donde en verde se delimita el AMERB Chungungo B, mientras que en rojo se representa el pol3gono del APE.



4.6.4. Repoblación

4.6.4.1. Pruebas de adhesión al sustrato

Se realizaron pruebas de adhesión de plántulas de huiro *L. trabeculata* utilizando el pegamento cianoacrilato. Esta metodología ha sido descrita por Westermeier *et al.* (2012), quienes evaluaron distintos métodos de adhesión, siendo este pegamento el que generó mejores resultados de supervivencia en plántulas sobre rocas. Para ello, el día 16 de abril, se extrajeron 12 plántulas de 15 a 32 cm de longitud y con discos de 0.5 a 3 cm de diámetro. Fueron transportadas en contenedores con agua de mar fresca y evitando la luz directa. Se ubicó un sector dentro del AMERB que cuenta con una profundidad de 7.4 m, profundidad similar al sector donante. Del área experimental, se removieron todos los herbívoros presentes (Figura 17). Los puntos de adhesión fueron cincelados para aumentar la superficie de adhesión y limpiar el área. Luego, las algas previamente marcadas con amarracables plásticos numerados, fueron adheridas colocando pegamento en el punto de adhesión de la roca y en el disco de la plántula (Figura 17). Luego de dos semanas se registró la supervivencia de las plántulas. Posteriormente, se realizó seguimiento de supervivencia y crecimiento.

Bajo la alternativa de repoblación a través de la adhesión de cabos inoculados directamente sobre la roca, se realizó una prueba utilizando 3 fragmentos de 1.5 m de cabo inoculado con *L. trabeculata*. Cada fragmento fue puesto de manera espiral con la finalidad de evitar el paso de herbívoros bentónicos a las porciones del cabo que quedaban en el interior. Para adherir de mejor manera el cabo se despejó el área de adhesión y se establecieron 4 puntos de adhesión (Figura 17).

4.6.4.2. Identificación de sitios aptos para repoblación

Se consideraron los resultados de las evaluaciones previas, para determinar sitios aptos para repoblación. Lo sitios deben presentar una profundidad superior a 5 metros, con sustrato duro, principalmente rocas en donde poder adherir los fragmentos de cabos inoculados en las distintas épocas de trasplante y la densidad de herbívoros de la zona a repoblar.

4.6.4.3. Experimentos de repoblación

El proceso de repoblación se realizaría tentativamente en el mes de enero del 2019 y en 2 etapas. En la primera etapa se proponía sembrar 162 plántulas de 10 cm de longitud y en la segunda etapa, con otras 162 plántulas de 20 cm sobre rocas marcadas. En cada etapa se sembrarían en 2 sitios y en cada uno de ellos se ubicarán 3 sectores de 1m² con 27 plántulas. los que serían fijados a rocas marcadas usando pegamento rápido de cianoacrilato, sensu Westermeier *et al.* (2014).

En cada sector sembrado, se proponía monitorear el número y tamaño de esporofitos presentes, así como, su fenología reproductiva (% de plantas fértiles) con una frecuencia mensual durante un año. A su vez, los mismos parámetros serían monitoreados en los esporofitos en cultivo suspendido a 3 y 5 m en 3 segmentos de 50 cm de cada unidad de cultivo para calcular biomasa m⁻¹ lineal y tasa de crecimiento standard (SRG). Adicionalmente, se evaluaría la recuperación de hábitat, midiendo cobertura de algas (%) y la abundancia de invertebrados y peces del sitio previo a la acción de



re poblaci3n, y luego a trav3s de muestreos estacionales asociados a los sets de rocas inoculadas y comparada con la estructura comunitaria de una poblaci3n de *L. trabeculata* de referencia.

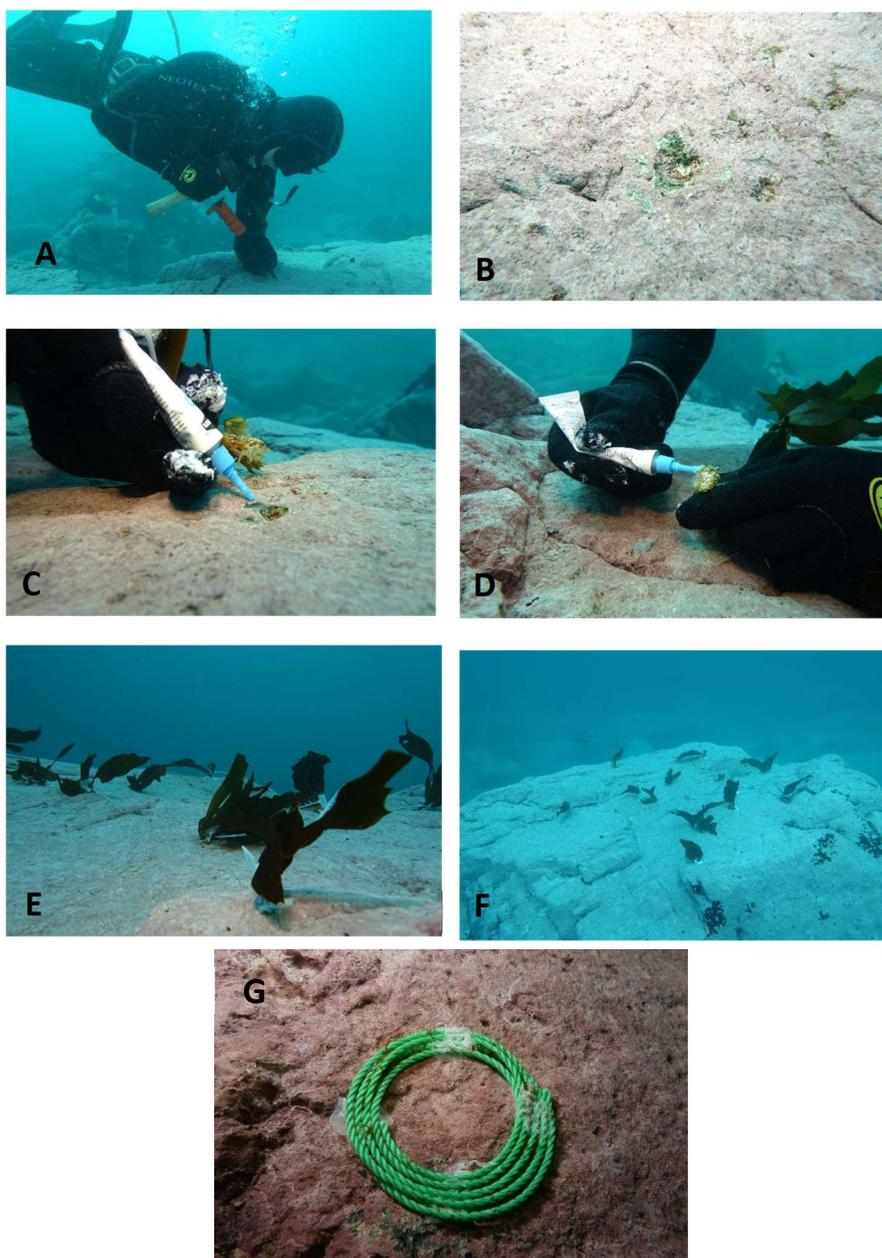


Figura 17. Fotografías de la experiencia de trasplante al sustrato de plántulas mediante pegamento cianoacrilato en AMERB Chungungo B. A) Buzo cincelando sustrato rocoso, B) Sustrato rocoso cincelado, C) cianoacrilato en el punto de adhesión en la roca, D) cianoacrilato en disco de la plántula, E) Detalle de plántula adherida, F) vista general del sitio del trasplante. G) Prueba de adhesión cabo inoculado sobre roca mediante cianoacrilato.



4.6.5. Monitoreo de parámetros físicos del área de estudio

Con la finalidad de conocer la variaci3n de los parámetros abióticos del sitio, se instalaron el día 16 de agosto del 2018, data loggers de medici3n continua, permitiendo registrar la salinidad (HOBO Conductivity Logger U24-002-C), Temperatura y luminosidad (HOBO Pendant Temp/Light UA-002-64) y oxígeno disuelto (HOBO Dissolved Oxygen Logger U26-001). Se registró informaci3n hasta el día 26 de diciembre del 2018.

Objetivo específico 3: *Desarrollar una metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas.*

4.7. Revisi3n bibliográfica sobre variables claves y enfoques para identificar sitios óptimos

La determinaci3n de áreas idóneas para acuicultura se basa en atributos y factores ambientales, productivos, logísticos y socioeconómicos. Sin embargo, la variabilidad ambiental asociada a los potenciales sitios es la que facilita principalmente el manejo y la planificaci3n futura del cultivo (Radiarta et al. 2011). Si bien el desarrollo de la acuicultura costera ha estado limitado por el uso múltiple del espacio costero, es necesario determinar posibles conflictos en el borde costero, las características fisico-oceanográficas (e.g., exposici3n al oleaje, variaciones temporales de nutrientes) usando, por ejemplo, métodos de geo-posicionamiento satelital (Ross et al. 1993, 2013, Radiarta et al. 2011) y determinaci3n de la calidad del agua (Pérez et al. 2003). Adem3s, es necesario considerar la biología y ecología, tanto de las especies a cultivar, como de las especies fundadoras que coexisten en un sitio dado (Liu et al. 2013, Falconer et al. 2016). Para el cultivo de algas estos pueden ser factores críticos, ya que, por un lado, su potencial impacto aún no está clarificado, centrándose sólo en aproximaciones hipotéticas sobre el efecto del detritus algal que produciría el cultivo sobre la productividad secundaria (Krumhansl 2012), o para facilitar la regulaci3n y obtenci3n de permisos de acuicultura (Brigolin et al. 2015, Wood et al. 2017). Por último, la selecci3n espacial puede constituir una herramienta que ayude a optimizar la tecnología y condiciones de cultivo para maximizar la productividad. Esto cobra importancia si afecta la selecci3n de cepas o cultivos de calidad dependiendo de la ubicaci3n espacial.

De esta forma, a través de esta actividad se realizó una recopilaci3n y revisi3n bibliográfica para actualizar el estado del arte en torno a caracterizaci3n de sitios y metodologías para cuantificar factores claves que estimen atributos intrínsecos del espacio costero que puedan ser usados como indicadores para el cultivo de macroalgas. Esta aproximaci3n no ha sido abordada en nuestro país, sin embargo, se espera que este procedimiento permita, por un lado, identificar y clasificar atributos físicos, biológicos y de manejo para un sitio de cultivo dado, y por otro, permitir el establecimiento de relaciones con la productividad asociada a una especie determinada y la potencial calidad de la biomasa producida en un sitio dado.



4.8. Levantamiento de información productiva y ambiental en sitios de estudio

Se realizó un levantamiento de información productiva y ambiental utilizando como modelos los sitios de cultivos pilotos en Dalcahue y Auchac, sin embargo, si es necesario la selección de variables y datos será ampliada para incluir parámetros más adecuados para la costa de Chile. De esta forma, se identificaron y ponderaron diversos atributos según metodologías existentes en literatura especializada. Además, se determinaron atributos o factores que sean capaces de discriminar potenciales diferencias en selección de sitio que puedan tener efecto sobre la producción, calidad e idoneidad del sitio y los posibles efectos en el ecosistema circundante. Para lo anterior, se ejecutaron las siguientes actividades de búsqueda de información y mediciones:

4.8.1. Evaluación de factores de crecimiento y supervivencia de cultivos de algas

Tasa de crecimiento standard: Tomando como modelo de estudio los cultivos de Dalcahue y Auchac se medirá la tasa de crecimiento standard (SGR) (Obtenidos de la actividad 4.5). Esta evaluación permitirá evaluar ambos sitios de cultivo y comparar su desempeño. Adicionalmente, se recopilaron datos desde la literatura en investigación en acuicultura como modelos de estudio.

Biomasa de epífitos: Se medirá la biomasa de organismos epífitos (g peso húmedo m^{-1} lineal) durante el período final de cultivo en los sitios antes señalados (obtenidos de la actividad 4.5).

4.8.2. Evaluación ambiental del sitio

Dinámica de nutrientes: Se obtendrán muestras de nutrientes distribuidas al azar en el área de cultivo. La frecuencia de muestreo será mensual durante el período de menor (verano) y mayor (invierno) disponibilidad de nutrientes disueltos (ver Actividad 4.5).

Metales pesados: Para una caracterización inicial, se medirá la concentración de los metales pesados Hierro (Fe), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Cadmio (Cd) en la columna de agua del polígono de ambos sitios cultivo tomando 4 muestras de agua al azar en verano e invierno. Adicionalmente se determinará la concentración de metales pesados en tejidos de cuatro muestras por cada especie cultivada. Análisis serán externalizados en un laboratorio certificado. Estas mediciones tienen por objeto determinar la calidad del sitio de cultivo asociado a impactos antrópicos.

Irradiancia y turbidez: La turbidez del sitio de cultivo puede ser medida utilizando el método del disco Secchi (Boyd & Tucker, 1992). Sin embargo, valores de irradiancia promedio pueden ser obtenidas ($\mu\text{mol } m^{-2} \text{ seg}^{-1}$) con un fotómetro Li-cor provisto de cable submarino. La frecuencia de esta medición estará asociada a la campaña de muestreo de la determinación de productividad del cultivo. Alternativamente este parámetro se puede obtener por medio de data-loggers de medición continua de luz montados en los vértices del polígono de cultivo (ver Actividad 4.5), o bien, desde literatura especializada sobre valores críticos de estudios publicados sobre acuicultura de algas.



Conductividad y temperatura superficial: Estos parámetros ser3n obtenidos instalando data-loggers en los v3rtices del pol3gono de cultivo (ver Actividad 4.5) o desde valores cr3ticos para las zonas de estudio desde literatura especializada.

Circulaci3n hidrodin3mica: Se determinar3n patrones generales de circulaci3n o intensidad de corrientes, utilizando informaci3n de mediciones o resultados de modelaci3n realizada por el grupo de Oceanograf3a del IFOP:

Batimetr3a y Sustrato disponible: Se determinar3 batimetr3a y sustrato disponible de los sitios de estudio, utilizando informaci3n disponible (Caracterizaci3n Preliminar del Sitio, Estudio de Situaci3n Base, Cartograf3a N3utica) y/o mediante recopilaci3n en terreno con un ecosonda. Datos ser3n usados como valores de referencia para futuras caracterizaciones y/o comparaciones.

Exposici3n al oleaje: Se utilizar3 el 3ndice de exposici3n al oleaje (i.e., Openness) siguiendo el m3todo descrito por Hill et al., (2011), que utiliza un punto de coordenadas que representa la ubicaci3n del cultivo desde donde se calcula un n3mero de vectores en todas direcciones y su distancia a cualquier masa de tierra cercana a trav3s de sistemas de geo-posicionamiento global (GIS). Se usar3n valores para sitios protegidos y expuestos seg3n este m3todo obtenidos desde la literatura.

4.8.3. Evaluaci3n de factores antr3picos inherentes a los sitios de cultivo

La evaluaci3n de factores antr3picos sitio-espec3ficos que pueden afectar la productividad del cultivo comprenden fuentes de contaminaci3n, presencia de desag3es, etc., sin embargo, las caracter3sticas log3sticas de distintas 3reas (e.g., acceso a muelles, internet, cercan3a de ciudades, insumos) y las capacidades organizacionales pueden influir en el 3xito de la acci3n de cultivo y, por lo tanto, son una variable ponderable para la determinaci3n de aptitud de sitio. Se realizar3 una caracterizaci3n geogr3fica incorporando en un SIG informaci3n de diversas fuentes (e.g., nutrientes y/ o metales) y caracter3sticas antr3picas obtenidas de diversas fuentes. Algunos de los par3metros a ser evaluados para el mapeo base ser3n: desag3es, ciudades o pueblos, instalaciones de salmonicultura y/o mitilicultura, infraestructura y ubicaci3n de instalaciones (e.g., muelles, embarcaderos, invernadero, secadoras, galpones de acopio), entre otros.

4.9. An3lisis de informaci3n para identificar sitios 3ptimos para APE de algas

Se seleccionaron y clasificaron las restricciones legales/sociales, factores ambientales y factores socioecon3micos (e.g., log3sticos y organizacionales) que influyen en la aptitud de h3bitat para el desarrollo de APE de algas usando como modelo de estudio el cultivo en long-lines para algas pardas.

4.9.1. Identificaci3n, selecci3n y clasificaci3n de las restricciones legales/sociales

La definici3n de las restricciones legales/sociales para la selecci3n de sitios aptos debe contestar la siguiente pregunta: ¿Cu3les son las restricciones seg3n la legislaci3n y normativa vigente para realizar



APE de algas? Para ello se realizó: 1) una revisión bibliográfica, para identificación y clasificación de restricciones legales/sociales en la normativa actual de SUBPESCA, Directemar, Ministerios, etc., y 2) una identificación de restricciones claves, métodos, criterios y rangos de aptitud por actor.

4.9.2. Identificación, selección y clasificación de factores ambientales de aptitud de hábitat

El grupo de factores ambientales que modulan la biología y el hábitat para la APE de algas pardas, se expresó en un modelo conceptual que permite sintetizar las dimensiones del ecosistema para el recurso “macroalgas pardas”. Este modelo incorpora procesos y forzantes definidos a distintas escalas espaciales (e.g., Global, Océano pacífico, Pacífico suroriental y área de la pesquería bentónica) y temporales (e.g., inter-decadal, interanual, estacional e intra-estacional), que influyen la distribución geográfica, historia de vida, dispersión y conectividad poblacional de este grupo de recursos.

El modelamiento puede concebirse como un modelo de distribución de la especie de interés, particularmente cuando se desea modelar el área ocupada en el dominio geográfico. Alternativamente se conceptualizó como un modelo de hábitat esencial, para modelar las condiciones ambientales favorables de la especie de interés o caracterización del hipervolumen del nicho (Peterson et al. 2011). Desde esta perspectiva, el área de distribución de una especie, en un tiempo dado, puede describirse como el resultado de una combinación de factores del ecosistema. De estos, hay tres grupos de factores que son de particular importancia y corresponden al ambiente abiótico o variables scenopoéticas (A), al ambiente biótico (B) y al conjunto de sitios que la especie ha tenido tiempo de visitar desde un tiempo dado, conformando la sombra o huella de migración (M). Estos tres factores permiten representar de manera abstracta el espacio geográfico (G) mediante el diagrama BAM (Figura 18) (Soberón & Peterson 2005).

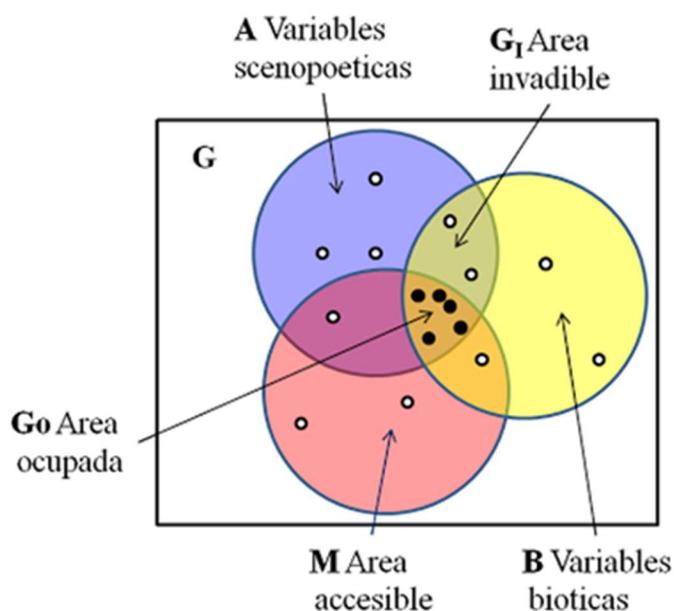


Figura 18. Representación del espacio geográfico mediante diagrama BAM (Soberón & Peterson 2005).



De esta forma, para la elaboraci3n del modelo conceptual se consider3 como insumos, la revisi3n bibliogr3fica, y la identificaci3n y clasificaci3n de la informaci3n para cada dimensi3n del sistema: aspectos biol3gicos y productivos de la especie y tecnologa de cultivo; y factores ambientales de aptitud de h3bitat para la APE de algas pardas.

Los resultados fueron expresados en una tabla que agrupa las variables, rango de valores de datos, fuente de datos, criterio, Rango Aptitud por Factor (RAF), valor del RAF y fuente del RAF de la base de datos utilizada en el an3lisis de aptitud de h3bitat para la selecci3n de sitios aptos para la APE de algas pardas.

4.10. Desarrollo de una herramienta para identificar sitios 3ptimos para APE de algas

Con los insumos de las dos actividades anteriores, se desarroll3 una propuesta inicial de herramienta o metodologa de caracterizaci3n de sitio que mida la aptitud para realizar APE de algas. Los diversos atributos y variables ser3n agrupados y normalizados para sintetizar un indicador comparativo correlacionado con el desempe1o de los cultivos (i.e., productividad de las especies de algas) y las dem3s caracteristicas entre distintos sitios de cultivo. El enfoque metodol3gico propuesto se presenta en la Figura 19, y corresponde a una adaptaci3n de la metodolog3 propuesta por Silva *et al.* 2011, pero sin considerar la etapa final referida a capacidad de carga.

De esta forma, la metodolog3 de selecci3n de sitios se bas3 en las restricciones y factores ambientales de aptitud identificados en la actividad anterior, y aplicando herramientas de an3lisis espacial disponibles en Sistemas de Informaci3n Geogr3fica (e.g., geodatabase, geoestadística, fuzzy logic, multicriterio) y el enfoque metodol3gico desarrollado por Silva *et al.* (2011, 2012) para la determinaci3n de sitios aptos para acuicultura de mitílidos. Con el SIG se aplicar3 una evaluaci3n multicriterio (MCE) de los h3bitats disponibles, restricciones legales/ sociales y factores ambientales simulados en base a los rangos 3ptimos de tolerancia para algas pardas emanados de la literatura y la t3cnica fuzzy logic (i.e., procesamiento basado en grados de libertad) para determinar la capacidad un 3rea determinada de albergar sitios id3neos. En general, las actividades a desarrollar corresponden a:

1. Defini3n de restricciones, conflictos sociales por usos del espacio, factores de aptitud f3sica, de crecimiento y sobrevivencia, aptitud ecol3gica, u otros que ser3n considerados en la validaci3n.
2. Defini3n de criterios utilizados.
3. Defini3n de rangos de aptitud y fuentes bibliogr3ficas.
4. Defini3n de m3todos de medici3n y fuentes de datos a utilizar posteriormente en la validaci3n.
5. Detalle de los procesos SIG que son utilizados para la importaci3n de datos, generaci3n de mapas de restricciones y factores multicapa, evaluaci3n de aptitud (fuzzy-logic), evaluaci3n multicriterio, mapa final de aptitud.
6. Dise1o del modelo y metodolog3.
7. Validaci3n del modelo y metodolog3.

En el presente informe se presentan el desarrollo y resultados de las actividades 1-4. Las siguientes actividades ser3n desarrolladas en el marco de la Etapa 3 del Programa.

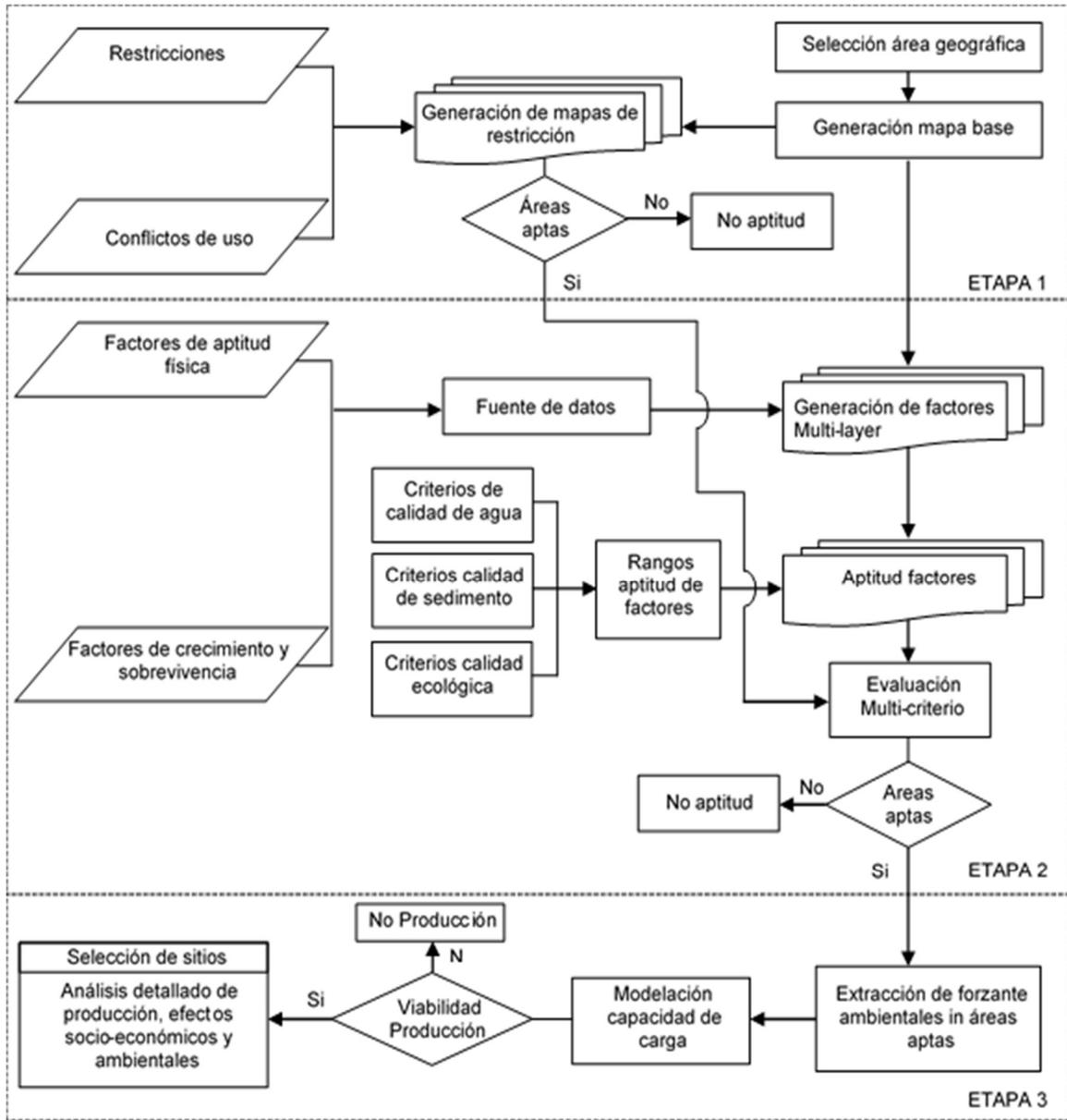


Figura 19. Diagrama metodol3gico para la selecci3n de sitios para el cultivo de moluscos (Silva *et al.* 2011).



Objetivo específico 4: *Identificar parámetros ambientales óptimos para el cultivo de algas claves para el desarrollo de APE.*

4.11. Cultivo de esporas de algas

En esta etapa se evaluarán curvas de tolerancia a temperatura, luz y nutrientes las macroalgas *M. pyrifera*, *C. chamissoi* y *S. crispata*. Para ello, se colectó tejido fértil (i.e., con esporas) de cada especie y desde poblaciones naturales cercanas a la ciudad de Puerto Montt. Las muestras fueron tomadas de ≥ 10 individuos por especie. La obtención de esporas se realizó de acuerdo a las metodologías reportadas para cada grupo taxonómico: macroalgas rojas (Romo et al. 2001, Macchiavello et al. 2003) y macroalgas pardas (Leal & Roleda 2018).

El desarrollo de los estados microscópicos será monitoreado usando una cámara fotográfica digital conectada a un microscopio invertido.

4.12. Evaluación experimental de curvas de tolerancia a temperatura, luz y nutrientes en esporas de algas

Para desarrollar los experimentos de tolerancia, esporas de las diferentes especies fueron cultivadas, por separado, en agua de mar filtrada ($0,2 \mu\text{m}$) dentro de placas multipocillo (6 pocillos aislados, cada uno representa una réplica), y expuestas a un rango amplio de los factores abióticos. Las concentraciones de esporas de cada especie para usar durante los experimentos fueron determinadas en cultivos preliminares. Cada experimento fue mantenido por lo menos un mes o hasta cuando los estados microscópicos expuestos a condiciones extremas comiencen a morir.

Los rangos experimentales fueron determinados luego de revisar la literatura disponible para las mismas especies o géneros cercanos. Para cada especie, se obtendrán curvas de tolerancia (Figura 20) correspondientes a los siguientes factores abióticos: 1) luz (e.g., $10 - 200 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{s}^{-1}$) será regulada modificando el número de fuentes de luz (e.g., tubos fluorescentes) y/o cubriendo la fuente de luz con malla de ocultación; 2) temperatura (e.g., $4 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$) será regulada con calefactores y/o enfriadores de agua dentro de cámaras de cultivo idénticas; y 3) nitrato (e.g., $1 - 200 \mu\text{M NO}_3^-$) se adicionará al medio de cultivo como KNO_3 .

La relación entre el desarrollo de los estados microscópicos de cada especie y los distintos factores abióticos serán estadísticamente evaluados. Esto permitirá conocer los requerimientos abióticos básicos para su crecimiento, reproducción y supervivencia en poblaciones naturales y en cultivo.

Durante esta etapa del proyecto se llevó a cabo un experimento para evaluar la respuesta de estadios microscópicos de macroalgas a diferentes temperaturas. La evaluación experimental de la intensidad de luz y nutrientes se desarrollará durante la siguiente etapa del Programa.



4.12.1. Experimento de temperatura

Las macroalgas utilizadas en este experimento fueron seleccionadas según su índice de cultivo relativo (ICR) (Cárcamo et al. 2017) y la disponibilidad de material reproductivo de cada especie. *M. pyrifera* tiene el índice más alto (ICR = 0,93) y *S. crispata* está en el cuarto lugar con un ICR de 0,89. En reemplazo de *C. chamissoi*, se incluyó a *Mazzaela laminarioides*, la cual es de interés comercial, pero tiene un ICR de 0,70 (bajo el límite de viabilidad, ICR = 0,75), principalmente porque sólo se ha cultivado a escala de laboratorio (Cárcamo et al. 2017). Su reemplazo también obedeció a la disponibilidad de material reproductivo de esta especie en la temporada de experimentación.

Durante aproximadamente un mes (abril-mayo del 2019), se evaluó el crecimiento de estadios microscópicos de *M. pyrifera*, *M. laminarioides* y *S. crispata* cultivadas a tres temperaturas diferentes. Para ello, de cada especie, se colectó tejido fértil (i.e., con esporas) desde poblaciones naturales ubicadas en Ahui, Ancud. Las muestras fueron de ≥ 10 individuos por especie. La obtención de esporas fue realizada de acuerdo a Leal & Roleda (2018) *M. pyrifera* y a Romo et al. (2001) para *M. laminarioides* y *S. crispata*. Luego del proceso de esporulación, las esporas de cada especie fueron cultivadas en agua de mar enriquecida ($2 \text{ g L}^{-1} \text{ KNO}_3$ y $0,2 \text{ g L}^{-1} \text{ NaH}_2\text{PO}_4$) y depositadas por separado en placas multi-pocillo (6 pocillos aislados, cada uno representa una réplica) y expuestas a tres temperaturas (12, 14 y 16°C) dentro de tres idénticas cámaras incubadoras (FOC 215IL, VELD Scientifica srl. Italia). La intensidad de luz se mantuvo a $52,3 \pm 1,4 \mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ con un fotoperiodo de 12h:12h. El medio de cultivo fue renovado cada dos días. El porcentaje de germinación (día 3), tasa de crecimiento (día 11), número de juveniles (día 20) fueron monitoreados usando una cámara fotográfica digital (Mshot MD90, Micro-shot Technology Co., Ltd., Guangzhou, China) conectada a un microscopio invertido (DMi1, Leica Microsystems Inc., IL, USA).

Para satisfacer normalidad (prueba Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene), los datos de porcentaje de germinación y tasa de crecimiento fueron transformados a logit (Warton & Hui 2011). La significancia estadística en germinación de esporas, tasa de crecimiento, proporción sexual y número de juveniles fueron evaluados usando ANOVA ($P < 0,05$) de una vía para meiosporas de *M. pyrifera* y ANOVA ($P < 0,05$) de dos vías para carposporas y tetrasporas de *M. laminarioides* y *S. crispata*. La prueba de Tukey fue aplicada cuando un efecto significativo de las variables fue observado. Todos los análisis estadísticos fueron realizados usando el software SigmaPlot v. 12.0 (Systat Software, Inc., San José, CA).

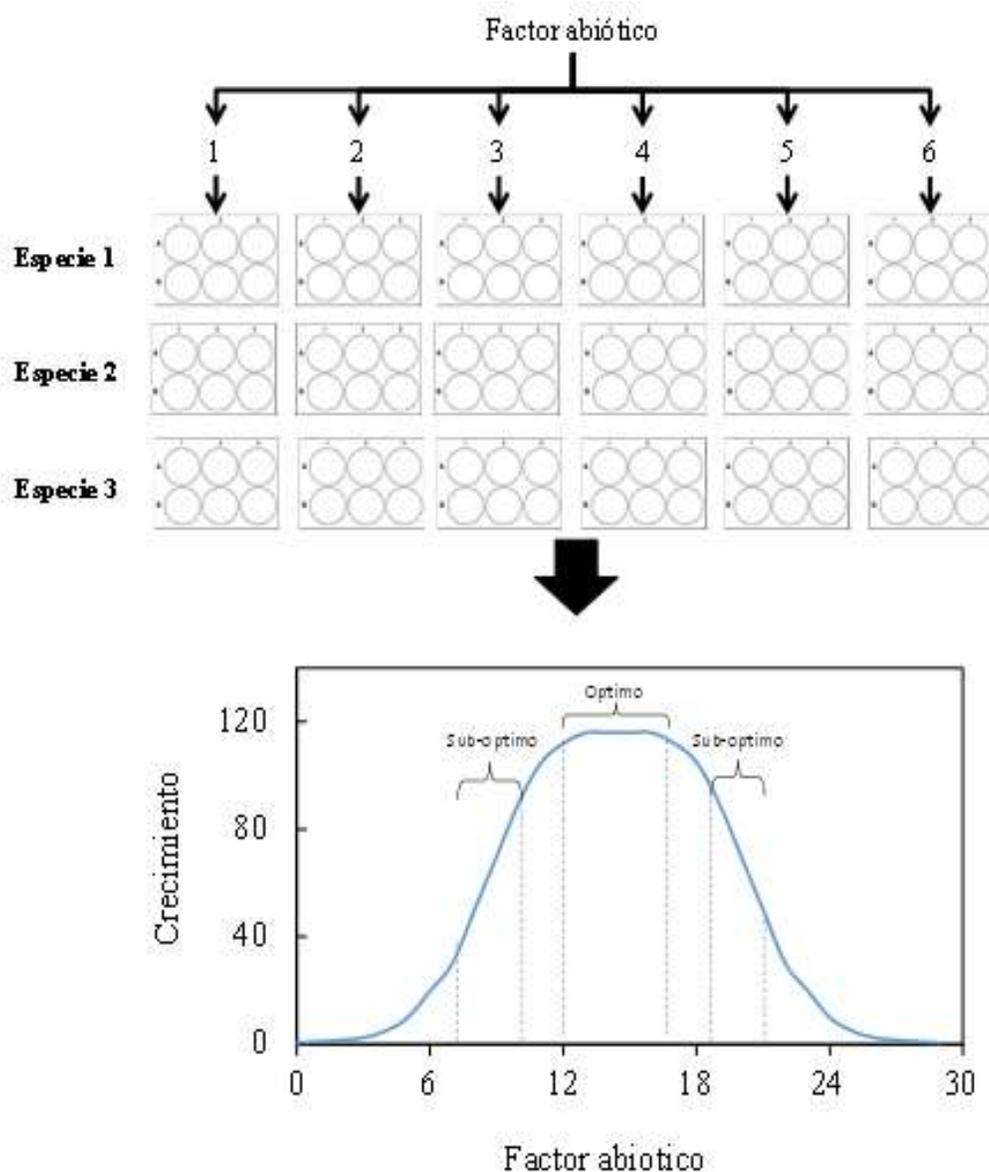


Figura 20. Diseño experimental para la obtenci3n de curvas de tolerancia de macroalgas. Las esporas ser3n cultivadas en placas multipocillo ($n = 6$) y expuestas a un rango amplio de cada factor abiótico a estudiar. Luego del periodo de experimentaci3n se obtendr3 la curva de tolerancia que indica el rango 3ptimo y sub-3ptimo para el crecimiento de cada especie.



Objetivo espec3fico 5: *Realizar acciones de difusi3n, entrenamiento y transferencia asociadas al desarrollo de la acuicultura de algas.*

4.13. Desarrollo de un manual de acuicultura de algas

A partir de la revisi3n del estado del arte de especies de algas realizada en la Etapa 1 del Programa, y que incluy3 aspectos biol3gicos, ecol3gicos y tecnol3gicos, as3 como tambi3n factores cr3ticos que pueden afectar la implementaci3n de su cultivo, se desarroll3 un manual de algas cultivables y con potencial para desarrollar su cultivo en Chile. Para su desarrollo se profundiz3 en los diversos aspectos antes mencionados, a trav3s de revisi3n bibliogr3fica y consulta a expertos nacionales, adem3s de incluir aspectos bio-econ3micos para algunas especies. Para el dise1o y contenidos, se enfatiz3 en la rigurosidad cient3fica-tecnol3gica, pero tambi3n en entregar un producto con variedad de recursos gr3ficos, 3til y accesible a pescadores artesanales y peque1os acuicultores. Se generar3 una versi3n impresa (300 ejemplares) que ser3 distribuida a pescadores y peque1os acuicultores, y una versi3n digital de acceso y distribuci3n libre.

4.14. Visita tecnol3gica de OPA a cultivos de algas en Centro Experimental Hueihue

Un total de 15 personas, provenientes del Sindicato de Trabajadores Independientes, Pescadores Artesanales, Algueros, Buzos mariscadores y ramos afines de la localidad de Auchac, y del Sindicato de Trabajadores Independientes, Pescadores Artesanales, Acuicultores de mit3lidos y Comercializaci3n de productos del mar de la localidad de Dalcahue, fueron invitadas para visitar el Centro Experimental Hueihue (IFOP) en Chilo3. Se prepar3 un programa intensivo para introducirlos en la acuicultura de algas, considerando las fases de hatchery y cultivo en mar. Para ello, se combinaron actividades que incluyeron exposiciones de investigadores, trabajo pr3ctico en el hatchery incluyendo armado de bastidores, obtenci3n, observaci3n y siembra de esporas de algas, entre otros. Con el desarrollo de estas actividades se entreg3 una idea general del funcionamiento de un centro productor de semillas de algas.



5.RESULTADOS

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

5.1. Diseño de hatchery básico para producción de algas

Entre los meses de abril y julio de 2018 se visitaron hatcheries de producción de algas marinas con el objetivo de:

- Verificar *in situ* su funcionamiento actual
- Conocer su configuración estructural en cuanto a tipo de construcciones y equipamiento
- Identificar las especies a las cuales están orientadas y el tipo de producto, considerado como “semilla” de alga
- Recabar información respecto de su capacidad productiva
- Recopilar información acerca de los costos de producción y de venta, así como la metodología empleada para el costeo y la determinación del precio de venta
- Conocer si los métodos de producción están respaldados por experimentos formales que permitan conocer los niveles óptimos de variable físico – químicas de manera de maximizar el potencial biológico de las especies cultivadas

Se identificaron ocho hatcheries ubicados entre Iquique y Ancud, tres de ellos asociados a Universidades; uno asociado a un consorcio entre la Universidad Católica del Norte y Fundación Chile; y cuatro hatcheries privados, uno de ellos artesanal, definiendo este tipo de hatchery como aquel sin control de temperatura y con infraestructura básica. El detalle de los hatcheries visitados se entrega en la Tabla 2.

Tabla 2.
Detalle de los hatcheries visitados.

Fecha	Región	Localidad	Tipo Construcción	Orientación Hatchery (Experimental (E)/Productivo (P))
27-04-2018	Valparaíso	Quintay	Adaptadas	E
07-05-2018	Tarapacá	Iquique	Adaptadas	E
08-05-2018	Antofagasta	Mejillones	Adaptadas	P
09-05-2018	Atacama	Bahía Inglesa	Nuevas	E
09-05-2018	Atacama	Caleta Los Patos	Adaptadas	P
10-05-2018	Coquimbo	Coquimbo	Adaptadas	P
05-07-2018	Los Lagos	Ancud	Adaptadas	P
06-07-2018	Los Lagos	Metri	Artesanal	P



5.1.1. Tipo de Construcciones

En cuanto a las instalaciones, se pudo comprobar que en la zona norte y central el 80% de las construcciones son antiguas, y han sido adaptadas como hatcheries. Los materiales de construcción no fueron pensados ni usados para cumplir con alguna función técnica predeterminada, como por ejemplo eficiencia térmica para la sala de cultivo de plántulas o de cuerdas inoculadas con esporas. A pesar de no estar suficientemente cuantificados, se reconoce que los costos de energía son unos de los principales ítems asociados al cultivo en hatchery. La sala de cultivo requiere mantener una temperatura constante para lo cual utilizan un sistema de aire acondicionado del tipo “Split” durante las 24 horas del día. No obstante, no se conoce la eficiencia térmica del tipo de construcción de la sala de cultivo. Una excepción a lo anterior lo constituye el hatchery del Centro de Investigaciones Costeras (CIC) de la Universidad de Atacama (UDA) en la región de Atacama. Ahí, el hatchery fue diseñado con un enfoque ingenieril que satisface los requerimientos de un hatchery productivo. El hatchery de Cultivos Marinos San Cristóbal también está pensado en la producción exclusiva de semillas de algas, aunque no cuenta con los materiales con los que fue construido el hatchery del CIC. Todos los demás hatcheries visitados son construcciones mixtas entre material liviano y concreto, revestidos en su mayoría con cerámicos normales. Todos los hatcheries visitados fueron puestos en funcionamiento en lugares que ya contaban con servicios básicos de agua, electricidad, alcantarillado y accesos, requiriéndose adaptaciones menores en estos ítems para su implementación.

En la zona sur (Región de Los Lagos), se visitó un hatchery a nivel productivo privado, donde las instalaciones son de tipo galpón, techado y con buena infraestructura (agua, luz, laboratorios). De hecho, las instalaciones permiten la producción a gran escala (72 mil metros lineales de cuerda inoculada anual). Además, se visitó un hatchery totalmente artesanal: este consta de una oficina pequeña, un galpón y un pequeño laboratorio con instalaciones básicas. Fue construido con materiales ligeros, con un nivel de inversión muy baja. El bombeo de agua se hace a través de una bomba sumergible sencilla y un blower mantiene en movimiento las plántulas de *M. pyrifera* dentro de 8 estanques circulares instalados en un galpón de material ligero revestido con plástico transparente. La sala de incubación consiste en una sala de unos 6 m² con agua filtrada, UV y un aire acondicionado pequeño que mantiene la temperatura en esta fase de cultivo.

5.1.2. Capacidad Productiva

Entre Iquique y Coquimbo, los hatcheries están centrados fundamentalmente en algas pardas (básicamente *M. pyrifera* y *L. berteriana*). La excepción es Algas Marinas S.A. en Mejillones, que está orientada a producir *A. chilensis*, aunque en este caso no poseen hatchery, sino que el cultivo se basa en material vegetativo que es puesto en cuerdas mediante un procedimiento mecánico desarrollado por la compañía. Las capacidades productivas de los hatcheries visitados son muy variadas, tanto en la forma del producto identificado como “semilla” de alga como en la cantidad que cada hatchery estima o declara capaz de producir: en el caso del hatchery de la UNAB (Quintay) se estima una capacidad productiva de 12 millones de microtalos (no especificándose que superficie de cultivo podría ser cubierta con esta producción), en el caso del hatchery de la UNAP (Iquique), la producción estimada es de 5.000 plántulas mensuales, en el caso del hatchery del CIC-UDA (Bahía Inglesa) se estima una capacidad de producción de 3.200 metros lineales de cuerda inoculada con esporas de



algas pardas, el hatchery de Cultivos Marinos san Cristóbal tiene una capacidad productiva de 80.000 plántulas mensuales de algas pardas, mientras que el hatchery de AquaPacífico estima una capacidad productiva de 1.200 metros lineales de cuerda inoculada con esporas o plántulas de algas pardas. En la zona sur, solo la empresa Algas Marinas S.A. en Ancud indica una estimación de su capacidad productiva (72.000 metros lineales de cuerda inoculada con material vegetativo de *A. chilensis*). Un análisis más detallado se desarrolla en el punto 5.2.1.1.

Los hatcheries visitados tienen un carácter más bien experimental o de pequeña escala, no habiendo escalado aún a nivel comercial (e.g., no podrían suministrar plántulas a una actividad de cultivo a pequeña escala que resulte significativa). Así, por ejemplo, en el caso del huiro flotador *M. pyrifera*, si las cuerdas inoculadas (con plántulas o esporofitos microscópicos) fueran dispuestas horizontalmente en una hectárea, podrían ser instalados desde 7 – 8 (Guisado et al. 2017; Pérez 2017) hasta 99 líneas de cultivo (Camus et al. 2019) de 100 m de longitud. De este modo, un cultivo de 10 hectáreas requeriría entre 7.000 y 99.000 metros lineales por cada ciclo productivo. En caso que las cuerdas inoculadas fueran dispuestas verticalmente (Zúñiga et al., 2016), se requerirían 200 m lineales de cuerda inoculada por cada línea de cultivo, es decir entre 14.000 y 16.000 m de cuerda inoculada (para 10 ha); esto considerando sólo un ciclo de producción dentro del año con una duración estimada de 3 a 4 meses. Esta demanda supera la capacidad declarada por la mayoría de los hatcheries.

En el caso que el cultivo se desarrolle a partir de plántulas, en la línea de cultivo cada una de éstas estaría separada entre 10 y 30 cm una de otra (Westermeier et al., 2006). Así, por metro lineal se requerirían entre 4 a 11 plántulas y en 100 m de línea de cultivo se necesitarían entre 400 y 1100 plántulas para un ciclo productivo de entre 3 y 4 meses. De este modo, el hatchery de la Universidad Arturo Prat podría generar el material necesario para 4,5 a 12,5 líneas de cultivo en forma mensual, una superficie equivalente a alrededor de 1,7 hectáreas. El potencial productivo declarado por Cultivos Marinos San Cristóbal permite una mayor cobertura, pudiendo alcanzar una superficie cultivada de entre 25 a 28 hectáreas mensualmente.

En cuanto a la producción de semillas de algas rojas, sólo el hatchery de la Universidad Andrés Bello en Quintay está produciendo y enfocado básicamente a *C. chamissoi* y *Callophyllis variegata*, si bien también podría agregar *M. pyrifera*. Se orienta a la producción de talos, microtalos y cuerdas inoculadas con esporas de estas especies. En la actualidad este hatchery es básicamente experimental. Debido a que aún está en etapa experimental, su capacidad productiva aún no se ha dimensionado objetivamente. Una idea aproximada es que podría generar alrededor de 12 millones de semillas en forma de microtalos.

En el caso de la región de Los Lagos, la empresa Algas Marinas S.A. enfoca su producción al recurso pelillo *A. chilensis* a gran escala. El proceso parte con la recolección de material reproductivo que es llevado a hatchery para que libere esporas. Estas esporas se asientan sobre cuerda dispuesta en bastidores, las que permanecen en condiciones controladas de luz, temperatura y recambio de agua por 3 a 5 meses. Cuando las plántulas alcanzan un tamaño pequeño (1 a 2 mm), la cuerda de desenrolla de los bastidores y son trasladadas a una concesión de acuicultura para que las plántulas crezcan y produzcan biomasa denominada "F₁". Esta biomasa crece en un lapso de 3 a 4 meses, pudiendo cosecharse hasta 5 veces de esas cuerdas. La biomasa "F₁" cosechada sirve para producir



cuerdas de 20 m de largo y 2,5 kg de peso inicial. Estas cuerdas son distribuidas a cultivadores de pelillo sin costo, a cambio de que la producción sea vendida a la empresa. La ventaja de este modelo de negocio es que las cuerdas hechas con biomasa "F₁" tienen un potencial de crecimiento mayor al de praderas naturales que se mantienen sólo por fragmentación vegetativa.

5.1.3. Diseño de hatchery básico para producción de algas.

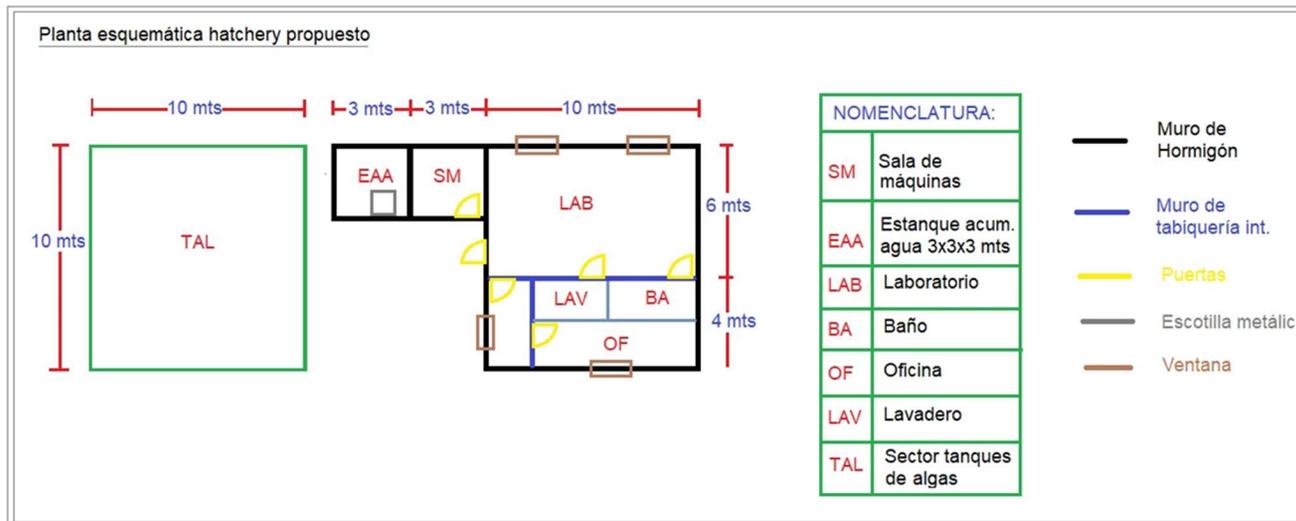
Se diseñó un hatchery tipo, de acuerdo a lo descrito en la Figura 21. El diseño posee una superficie de 100 m², incluyendo oficina, lavadero y baño, con una sala de laboratorio (sala de incubación) dedicada a la producción de semillas de algas de 60 m², bajo condiciones controladas de variables ambientales como luz y temperatura (Ver LAB, Figura 22). Incluye, además, la sala de bombas (sala de máquinas en el diagrama) y un patio de 100 m² para albergar los estanques de cultivo.

El costo total del proyecto de fito – hatchery es de alrededor de UF 3.388, e incluye la instalación de las faenas, obra gruesa, terminaciones y gastos generales. La construcción asume que se dispone de empalmes a red eléctrica, agua potable y alcantarillado cercanos. Una aproximación al costeo del hatchery se describe en la Tabla 3. El detalle de los costos se entrega en el Anexo 2.

Tabla 3.
Costeo general del hatchery.

Ítem	Total \$	Total UF
Instalación de faena	6.643.517	244,6
Obra gruesa	10.716.848	394,6
Terminaciones	21.278.835	783,4
Instalaciones	24.880.000	916,0
Gastos generales	28.500.000	1.049,3
TOTAL	92.019.200	3.387,9

En cuanto al suministro de agua de mar y equipamiento del laboratorio (Figura 22), la toma de agua de mar se hace a través de una bomba hidráulica y pasa a un estanque de 2.000 lt, posteriormente pasa por un filtro rotatorio y es acumulada en un estanque de 20.000 lt de capacidad. Una bomba termo – plástica la lleva al interior de las instalaciones del hatchery a un sistema de filtros de anilla, de ahí a un sistema de filtros Cuno y finalmente a un sistema de purificación con UV. Posteriormente es distribuida para alimentar la fase de cultivo en la sala de acuarios y al sistema de cultivo en patio en estanques de 800 lt. El hatchery posee además una sala con una máquina auto clave y otra con lupa y microscopio. Los requerimientos de equipo y el costo asociado para esta zona de laboratorios se indica en la Tabla 4. Este equipamiento está pensando en suministrar semillas para un cultivo suspendido de 10 hectáreas. Esta superficie constituye la superficie máxima a la cual podría optar una organización de pescadores para ser considerado un cultivo de pequeña escala.



Notas aclaratorias:

1	Hatchery se considera de 10x10 mts sector de laboratorio y oficinas (100m ²)
2	Sala de máquinas de 3x3 al costado de laboratorio, adosado (9m ²)
3	Se considera sector para tanques de acumulaci3n de algas, con radiador preparado, drenaje y rejillas de AALL, no se incluye valor de los tanques en ppto
4	Se considera un estanque de acumulaci3n de agua bajo cota cero de 3 mts de profundidad (dimensiones 3x3x3mts)
3	Obra gruesa se considera de Hormig3n armado, en todos los muros perimetrales.
4	Interior tabiquería divisoria y cielos falsos para distribuci3n de instalaciones por cielos y shafts
5	Techumbre de estructura de madera, más hojalatería.
7	No se incluye en el presente presupuesto los equipos de especialidad, solo las instalaciones necesarias
9	Se considera interior de recintos revestidos con cerámico en áreas de laboratorio y baños
10	Interior de recinto oficina y pasillos revestidos con pintura
11	Interior total de recinto con pavimento cerámico
12	Ventanas y puerta de acceso principal de PVC + temopanel, material aislante térmico
13	Interior revestido en sector perimetral con Volcapol, para aislaci3n térmica superior, en recintos no húmedos
14	Se considera calefacci3n interior con aire acondicionado para conservaci3n de temperatura

Figura 21. Diagrama de hatchery propuesto para el cultivo masivo de macroalgas.

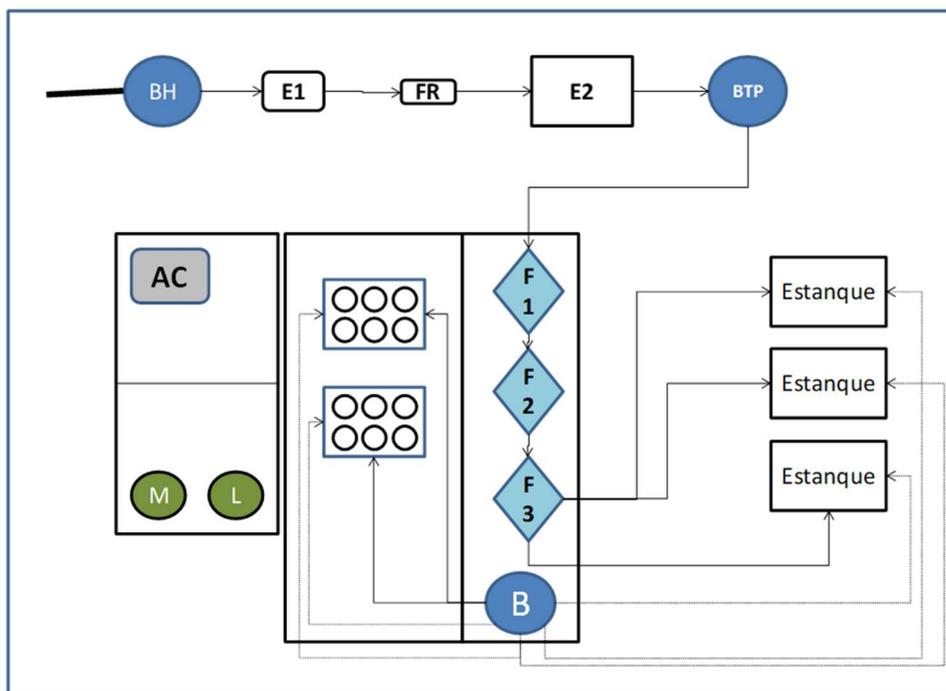


Figura 22. Representaci3n esquemática de zona de laboratorio. BH: bomba hidrática; E1: estanque de 2.000 lt; FR: filtro rotatorio; E2: estanque 20.000 lt; BTP: bomba termo-plástica; F1: filtro de anilla; F2: filtro Cuno; F3: filtro UV; B: blower; AC: auto clave; M: microscopio; L: lupa.

Tabla 4.
Requerimientos de equipamiento para un fito hatchery tipo.

Ítem	Unidades	Costo unitario (\$)	Costo Total (\$)	Depreciaci3n (mensual)	Vida Útil (años)
Autoclave	1	1.500.000	1.500.000	41.667	3
Microscopio	1	4.000.000	4.000.000	55.556	6
Balanza precisi3n	1	200.000	200.000	5.556	3
Estanques 2000 l	2	600.000	1.200.000	6.667	15
Esterilizador UV	4	200.000	800.000	22.222	3
Tubos Fluorescentes	36	446	16.056	2.676	0,5
Acuarios	24	25.000	600.000	16.667	3
Bomba hidrática	1	2.000.000	2.000.000	166.667	1
Filtro rotatorio	1	10.000.000	10.000.000		10
Estanque 20.000 l	1	6.000.000	6.000.000	33.333	15
Bomba Termoplástica	1	800.000	800.000	33.333	2
Filtro anilla	3	1.053.745	3.161.235	26.344	10
Sistema UV	3	611.660	1.834.980	15.292	10
Blower	2	4.238.780	8.477.560	176.616	4
Total		31.229.632	31.229.632	602.594	



5.2. Análisis bio-económico de cultivos de algas en hatchery

La información relacionada al desarrollo de este resultado será presentada bajo el siguiente esquema:

- Estado actual del conocimiento de la producción de semillas de algas por parte de los productores (Hatcheries)
- Cuantificación del crecimiento en hatchery.
- Modelamiento del cultivo en hatchery y costos de producción.
- Producción, costeo y valor presente neto en fase de cultivo en mar.

5.2.1. Estado actual del conocimiento de la producción de semillas de algas por parte de los productores (Hatcheries)

5.2.1.1. Costos de Producción y de Venta

En general, los hatcheries no tienen un costeo adecuado para su proceso productivo (Tabla 5). En algunos casos sólo poseen un valor de costo aproximado y su estrategia de negocios en términos de márgenes de ganancias no está definida. Una de las principales dificultades para llevar a cabo el costeo es que la unidad de producción de “semillas” de algas está asociada a otras unidades de producción (moluscos, peces, equinodermos, entre otras) que subsidian la operación del hatchery dedicado a la producción de semillas de algas. Estas múltiples unidades comparten personal, sistemas de bombeo y de filtros y consumo de energía, lo que hace difícil para sus operadores poder separar los gastos de cada unidad. Probablemente otro aspecto que hace difícil tener un costeo es que los equipos de trabajos son en su mayoría investigadores o técnicos encargados de la operatividad del hatchery, pero no cuentan con un equipo asesor en aspectos financieros.

En cuanto a los valores, la mayor parte de los hatcheries no poseen estimados de valores reales de producción y de venta. En caso de declarar algún valor se declara también que son aproximaciones. Así, por ejemplo, el costo de producción por plántula de alga parda oscila entre los \$200 + IVA (UNAB), \$150 (Cultivos Marinos San Cristóbal) y los \$50 (CIC – UDA). También para algas pardas, pero en formato “metro lineal inoculado con esporas” el único valor obtenido fue en Coquimbo (AquaPacífico) y fue de \$1.923 por metro lineal, costo de producción. Ellos aplican un margen de utilidad de la menos 30% por lo que el precio de venta podría ser de \$2.500 por metro lineal. Sin embargo, en este último caso no se está en una etapa de producción, sino de construcción de nuevas instalaciones y el costo de producción señalado podría ser incluso mayor de acuerdo a lo declarado por los entrevistados. De hecho, este costo efectivamente fue mayor al concretarse una venta real por parte de AquaPacífico: la venta de 200 m de cabo inoculado con esporas y/o plántulas de *L. trabeculata* se hizo por \$3.023.076, es decir, \$15.115/m lineal.

En el caso del hatchery de Algas Marinas S.A. no se pudo obtener información acerca de costos de producción, por tratarse de una empresa privada, más bien cauta al momento de compartir esa información. Esta unidad de negocios consiste en un hatchery productivo orientado al desarrollo de



esporocultivos de *A. chilensis*. Las cuerdas sembradas con esporas permanecen por aproximadamente 3 meses en condiciones controladas de luz, temperatura y nutrientes, y posteriormente son trasladadas a una fase de mar en concesiones de la propia empresa. Posterior al desarrollo de la fase de mar, se producen cuerdas inoculadas con material vegetativo "F₁" que son suministradas a costo cero a pescadores artesanales con concesiones de cultivo con el compromiso de vender a Algas Marinas S.A. la producción generada a partir de dichas cuerdas (Ver punto 5.1.2). Una aproximación teórica a la estructura de costos de un hatchery con estas características se presenta más adelante en el informe.

Finalmente, el hatchery Algas Chile SpA constituye el único caso de un hatchery artesanal a nivel productivo. El sistema productivo es muy simple (Ver 5.1.1.). Este suministra plantas encordadas a asociaciones de pescadores artesanales con concesiones de acuicultura. Tampoco se obtuvo acceso a su estructura de costos, pero el principal ítem de gasto lo constituye la energía eléctrica (alrededor de \$310.000 mensuales). En este centro productor trabaja sólo una persona, que es su propietario.

Tabla 5.
Características productivas y de costos de los hatcheries visitados.

Hatchery	Especies	Tipo Producto	Capacidad producción	Costo producción	Precio Venta
UNAB	<i>Ch. chamissoi</i>	Microtalos	12.000.000	No	\$200 +IVA
	<i>Ch. variegata</i>	Plántulas	microtalos	estimado	(plántulas
	<i>M. pyrifera</i>	Cuerda inoculada			<i>M. pyrifera</i>)
UNAP	<i>L. trabeculata</i>	Plántulas	5.000	No	No
	<i>Ch. chamissoi</i>		plántulas/mes	estimado	estimado
Algas Marinas S.A. (Mejillones)	<i>A. chilensis</i>	Cuerda con material vegetativo	No estimado	No estimado	No estimado
CIC-UDA	<i>L. trabeculata</i>	Cuerda inoculada	3.200 m	\$50	No
	<i>M. pyrifera</i>	Plántulas	lineales/año	plántula	estimado
Cultivos Marinos San Cristóbal	<i>L. trabeculata</i>	Plántulas	80.000	\$150	No
	<i>L. berteroana</i>		plántulas	plántula	estimado
	<i>M. pyrifera</i>		mensuales		
AquaPacífico	<i>M. pyrifera</i>	Cuerda inoculada	1.200 m	\$1.923 /m	\$2.500 /m
	<i>L. berteroana</i>		lineales/año		
	<i>L. trabeculata</i>				
	<i>Ch. chamissoi</i>				
Algas Marinas S.A. (Ancud)	<i>A. chilensis</i>	Cuerda con material vegetativo	72.000 m	No estimado	No estimado
Algas Chile SpA	<i>M. pyrifera</i>	Plántulas	No estimado	No estimado	No estimado



5.2.1.2. Variables Abióticas en la Producción

Todos los hatcheries entrevistados concordaron en que los ítems más importantes en términos de gastos de operación fueron mano de obra (sueldos), energía y medio de cultivo. En situaciones como esta, la estrategia obvia ha sido reducir el tiempo de permanencia en fase de hatchery ajustando los parámetros físico-químicos de tal manera de optimizar el crecimiento, reduciendo de esta forma el tiempo requerido para obtener el producto final competente para ser trasladado a engorda o fase de mar. Consultados los productores de semillas de algas respecto de cómo se llegó a establecer los niveles de luz, fotoperiodo, salinidad, pH, nutrientes se evidenció que no existe un protocolo formal del cual se haya determinado los niveles óptimos para estas variables de control. Por lo mismo, se desconoce si el tiempo de crecimiento en esta fase podría ser optimizado. Cada productor ajusta los niveles de estas variables de manera empírica de acuerdo a sus propias impresiones. La mayoría emplea Provasoli, aunque algunos también han experimentado con fertilizantes foliares de uso comercial, los que según ellos les han dado buenos resultados con menores costos.

En la región de Los Lagos la producción en los hatcheries no tiene mayores variables de control más allá de regular el fotoperiodo. Este es el caso del hatchery de Algas Marinas S.A. Además, se adicionan nutrientes no especificados al agua de mar en la fase de esporulación del material traído del ambiente natural, la cual ocurre sobre bastidores con cuerdas donde las esporas se fijan. En cuanto al hatchery artesanal visitado, en la sala de incubación sólo se mantiene la temperatura, mientras que en los estanques de cultivo no hay variables de cultivo controladas.

5.2.1.3. Otros Aspectos Relevantes

Respecto al personal requerido: existe consenso en que para operar un hatchery se requiere entre 3 a 4 personas, a saber: 2 técnicos, 1 profesional y 1 buzo. En el caso del buzo es recomendable que uno de los técnicos pueda tener esta función, con lo cual se requerirían 3 personas. En cuanto a los niveles de sueldos (bruto) algunos sugieren que el sueldo de los técnicos no debiera ser inferior a \$800.000 y el profesional no menos de \$1.000.000 de manera de hacerlos atractivos para trabajar a largo plazo.

Respecto a la necesidad de escalar a nivel piloto o productivo: la mayoría está consciente que es imperativo pasar de la actual fase experimental a una fase piloto-productivo. La limitante la visualizan fundamentalmente por el lado de la inversión en equipamiento. (e.g., autoclaves para disponer de más agua estéril en los modelos de producción de plántulas vía free floating).

Respecto al destino de la producción: este aspecto está fuertemente influido por las especies de interés de los productores de semillas. Estos son conscientes que el alto costo de producción, tanto en hatchery como en cultivo en fase de mar, hacen que el cultivo comercial tenga poca viabilidad. En este escenario ellos visualizan que el destino de la producción de semillas debiera estar orientado al repoblamiento. En este sentido, visualizan como su cliente, en términos de poder de compra, al Estado y a los pescadores artesanales como un intermediario (mano de obra) entre ellos y el objetivo de repoblar.



Disyuntiva producción de biomasa sin/con valor agregado: entre los hatcheries entrevistados, la opinión es que perciben más interés en la producción de biomasa sin valor agregado (i.e., cultivo de algas pardas para alginatos) más que en obtener una producción con valor agregado (e.g., extracción de subproductos, compuestos bio-activos, certificación de la calidad de la biomasa) aunque sea en volúmenes bajos. En este sentido el foco se ha puesto más en “el envase” (producción de biomasa sin mayor valor agregado) más que en lo que contiene ese “envase” (verificar si el recurso cultivado posee cualidades químicas o bio moléculas mejoradas respecto de praderas naturales). Perciben la necesidad de avanzar en esa línea si se quiere convertir la acuicultura de algas en una actividad económicamente atractiva.

5.2.2. Cuantificación del crecimiento en hatchery

Esta fase consideró el análisis de información disponible para alimentar el sub-modelo biológico de crecimiento de algas en hatchery (Tabla 6).

Tabla 6.

Resumen de los trabajos analizados para la estimación del crecimiento en la fase de hatchery.

Especie	Autor	Variabes	Observaciones
<i>Chondracanthus chamissoi</i>	Bulboa et al. (2008)	Temperatura	cultivo con material de cuatro poblaciones
	Avila et al. (2011)	Densidad de Flujo Fotónico Temperatura	Resultados para fase tetraspórica Tº 1 = 13 °C ; Tº 2 = 10 °C
<i>Macrocystis pyrifera</i>	Gutierrez et al. (2006)	Fijas	Cuerdas inoculadas PFD = 30 - 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ Temperatura = 9 - 10 °C Salinidad = 30 ppm pH = 7,8 - 7,9 Fotoperiodo variable según la semana de desarrollo Free floating
	Westermeier et al. (2006)	Fijas	PFD = 20 -25 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 50 - 54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ Temperatura = 16 °C Salinidad = ? ppm pH = ? Fotoperiodo variable según la semana de desarrollo Cuerdas inoculadas
<i>Gracilaria chilensis</i>	Camus y Buschmann (2017)	Temperatura Densidad de Flujo Fotónico Fotoperiodo Concentración macronutrientes Concentración micronutrientes Tasa flujo de aire	Material proveniente de una sola localidad
	Gallegos et al. (2018)	Salinidad	Compararon fases haploide y diploide
<i>Sarcothalia crispata</i>	Aguila (2015)	Temperatura, luminosidad, salinidad, nutrientes, flujo de agua, medio de cultivo	Cultivo en bastidores, como lo propuesto por Alveal et al. (1997)
	Werlinger et al. (2007)	Flujo fotónico y tipo de fertilizante	Muestras provenientes de Pta. Arenas
	Romo et al. (2001)	Temperatura y flujo fotónico	crecimiento medido solo al tiempo final del experimento. Material proveniente de la Región del Biobío



5.2.2.1. *Chondracanthus chamissoi*

Para evaluar el efecto de variables de control en el cultivo en fase de hatchery para esta especie, se utilizó el trabajo de Bulboa et al. (2008) y el de Ávila et al. (2011). Bulboa et al. (2008) hizo experimentos separados para evaluar el efecto de la temperatura, densidad de flujo fotónico (PFD) y fotoperiodo en el crecimiento de *C. chamissoi*, tanto en la fase gametofítica como en la tetraspórica. Debido a que los resultados indicaron un mejor desempeño para la fase gametofítica el análisis se centrará en esta fase.

Por alguna razón que no queda bien explicada en el trabajo original, estos autores llevaron a cabo el experimento para evaluar el fotoperiodo con la temperatura fija en 15 °C y tres fotoperiodos diferentes: 8:16, 12:12 y 16:8. Además, en los gráficos de resultados se muestran sólo la tasa de crecimiento diaria (en forma porcentual) al final del experimento, es decir, la medida a la cuarta semana (Figura 23), aunque en el texto del trabajo los autores declaran que los segmentos bajo cultivo fueron pesados semanalmente. Esto imposibilitó hacer los ajustes de manera continua en el tiempo, por lo que los modelos obtenidos supondrán que hay una tasa de crecimiento constante durante el periodo de producción en hatchery. Tampoco se declara en la publicación cuál es el peso inicial, de manera de poder expresar las ecuaciones en términos de peso.

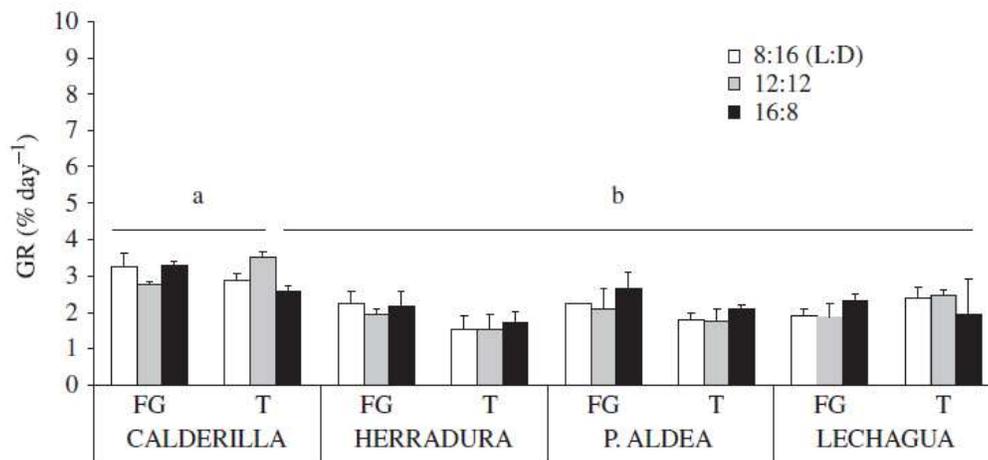


Figura 23. Resultados del fotoperiodo sobre la tasa de crecimiento diaria medida como porcentaje sobre el peso inicial (GR % day⁻¹) reportados por Bulboa et al. (2008) en *C. chamissoi*. FG: fase gametofítica; T: fase tetrasporofítica (tomada de Bulboa et al. (2008)).

El análisis estadístico realizado por Bulboa et al. (2008) mostró que hubo diferencias significativas en el efecto del fotoperiodo sobre la tasa diaria de crecimiento entre los tratamientos, siendo el material proveniente de Calderilla el que mostró mayores tasas de crecimiento.

En los experimentos de temperatura y PFD (Figura 24), los autores encontraron diferencias significativas entre tratamientos al final del experimento.

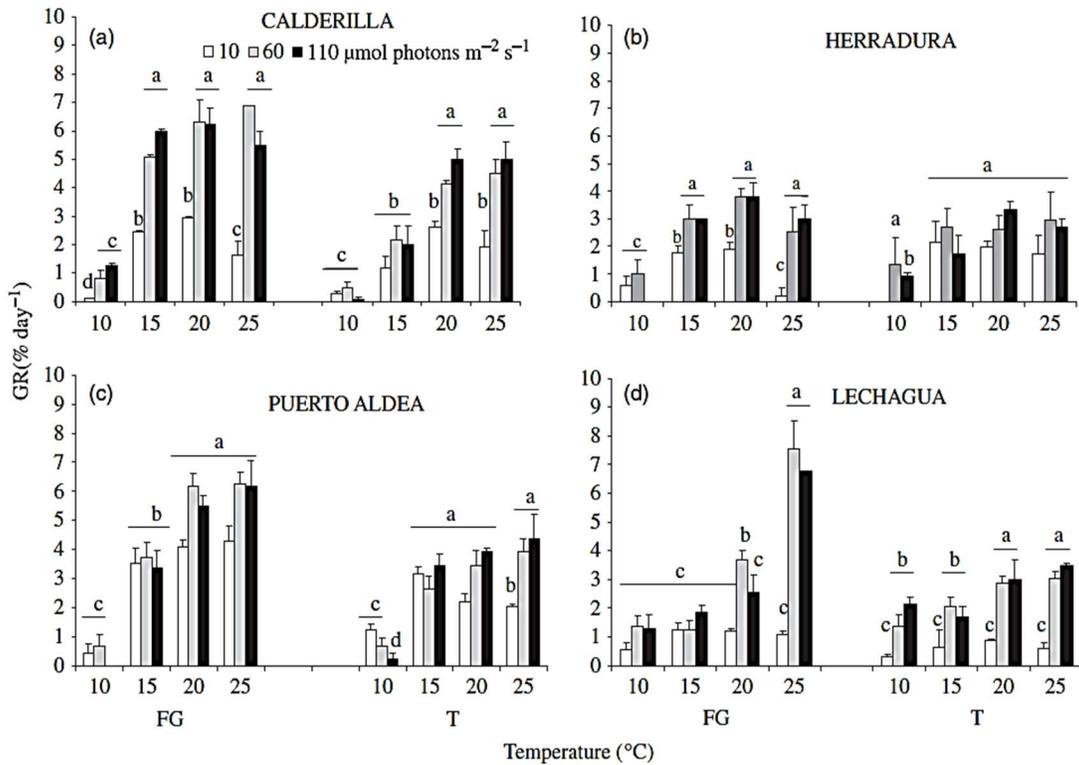


Figura 24. Resultados de la densidad de flujo fot3nico sobre la tasa de crecimiento diaria medida como porcentaje sobre el peso inicial (GR % day⁻¹) en cuatro temperaturas de cultivo, reportados por Bulboa et al. (2008) en *C. chamissoi*. FG: fase gametof3tica; T: fase tetraesporof3tica (tomada de Bulboa et al. (2008)).

Para los prop3sitos del estudio, el an3lisis para establecer ecuaciones en funci3n de la temperatura y del PFD se realiz3 por localidad. Esto se hizo as3 para poder determinar las relaciones funcionales sitio-espec3fico.

Modelo de Tasa de Crecimiento diario para Calderilla

A partir de los resultados originales de Bulboa et al. (2008) fue posible ajustar el siguiente modelo que estima la tasa de crecimiento diaria (%) en funci3n de la temperatura (T) y del PFD

$$GR(\%) = -15,15 + (1,716 \cdot T) - (0,0424 \cdot T^2) + (0,1016 \cdot PFD) - (0,0006 \cdot PFD^2)$$

El modelo result3 significativo (Tabla 7) para todos sus par3metros y explic3 el 84% de la varianza observada.



Tabla 7.

Valor de los parámetros del modelo de ajuste y nivel de significancia.

	Param.	Std. Err	t	p
Intercept	-15,1508	3,272145	-4,63024	0,002397
Temperatura	1,7316	0,395067	4,38306	0,003222
Temperatura^2	-0,0424	0,011197	-3,78687	0,006831
PFD	0,1016	0,029315	3,46444	0,010484
PFD^2	-0,0006	0,000238	-2,53878	0,038733

Modelo de Tasa de Crecimiento diario para Herradura

A partir de los resultados originales de Bulboa et al. (2008) fue posible ajustar el siguiente modelo que estima la tasa de crecimiento diaria (%) en función de la temperatura (T) y del PFD

$$GR(\%) = -9,46 + (1,26 \cdot T) - (0,03 \cdot T^2) + (0,01 \cdot PFD)$$

El modelo resultó significativo (Tabla 8) y explicó el 75% de la varianza observada.

Tabla 8.

Valor de los parámetros del modelo de ajuste y nivel de significancia.

	a	b	b1	c
Estimate	-9,4588	1,255567	-0,03303	0,012850
Std.Err.	2,6144	0,318803	0,00904	0,005533
t(8)	-3,6180	3,938374	-3,65607	2,322466
-95%CL	-15,4876	0,520405	-0,05387	0,000091
+95%CL	-3,4301	1,990728	-0,01220	0,025609
p-value	0,0068	0,004306	0,00644	0,048731

Modelo de Tasa de Crecimiento diario para Puerto Aldea

A partir de los resultados originales de Bulboa et al. (2008) fue posible ajustar el siguiente modelo que estima la tasa de crecimiento diaria (%) en función de la temperatura (T) y del PFD

$$GR(\%) = -9,95 + (1,31 \cdot T) - (0,03 \cdot T^2)$$

El modelo resultó significativo sólo para la variable temperatura (Tabla 9) y explicó el 91% de la varianza observada.



Tabla 9.

Valor de los parámetros del modelo de ajuste y nivel de significancia.

	a	b	b1
Estimate	-9,9475	1,308167	-0,02777
Std.Err.	2,4709	0,303767	0,00861
t(9)	-4,0259	4,306475	-3,22528
-95%CL	-15,5371	0,620997	-0,04724
+95%CL	-4,3579	1,995336	-0,00829
p-value	0,0030	0,001972	0,01040

Modelo de Tasa de Crecimiento diario para Lechagua

El modelo de regresión polinómica original que resultó adecuado para la población de Calderilla resultó ser no significativo para Lechagua (Tabla 10).

$$GR(\%) = a + (b \cdot T) + (b_1 \cdot T^2) + (c \cdot PFD) + (c_1 \cdot PFD^2)$$

Tabla 10.

Valor de los parámetros del modelo de ajuste y nivel de significancia.

	a	b	b1	c	c1
Estimate	1,99070	-0,54970	0,023167	0,086760	-0,00055
Std.Err.	4,88575	0,58989	0,016718	0,043771	0,00035
t(7)	0,40745	-0,93187	1,385731	1,982125	-1,54522
-95%CL	-9,56227	-1,94456	-0,016365	-0,016742	-0,00139
+95%CL	13,54367	0,84516	0,062698	0,190262	0,00029
p-value	0,69585	0,38242	0,208371	0,087906	0,16621

Tampoco resultó significativo (Tabla 11) el siguiente modelo teórico:

$$GR(\%) = a + (c \cdot PFD) + (c_1 \cdot PFD^2)$$



Tabla 11.

Valor de los parámetros del modelo de ajuste y nivel de significancia.

	a	c	c1
Estimate	0,18970	0,086760	-0,00055
Std.Err.	1,54869	0,067051	0,00054
t(9)	0,12249	1,293936	-1,00872
-95%CL	-3,31369	-0,064920	-0,00178
+95%CL	3,69309	0,238440	0,00068
p-value	0,90520	0,227904	0,33946

Del mismo modo el siguiente modelo, tampoco fue significativo (Tabla 12).

$$GR(\%) = a + (b \cdot T) + (b_1 \cdot T^2) + (c \cdot PFD)$$

Tabla 12.

Valor de los parámetros del modelo de ajuste y nivel de significancia.

	a	b	b1	c
Estimate	3,05017	-0,54970	0,023167	0,021000
Std.Err.	5,24019	0,63900	0,018110	0,011090
t(8)	0,58207	-0,86024	1,279217	1,893583
-95%CL	-9,03373	-2,02325	-0,018595	-0,004574
+95%CL	15,13406	0,92385	0,064928	0,046574
p-value	0,57655	0,41469	0,236674	0,094901

Finalmente, el modelo basado sólo en el efecto de la temperatura tampoco resultó ser significativo (Tabla 13).

$$GR(\%) = a + (b \cdot T) + (b_1 \cdot T^2)$$



Tabla 13.
Valor de los parámetros del modelo de ajuste y nivel de significancia.

	a	b	b1
Estimate	4,31017	-0,54970	0,023167
Std.Err.	5,89734	0,72501	0,020547
t(9)	0,73087	-0,75820	1,127470
-95%CL	-9,03054	-2,18978	-0,023315
+95%CL	17,65087	1,09038	0,069648
p-value	0,48345	0,46772	0,288704

El trabajo de Ávila et al. (2011) describe el crecimiento a partir de esporas. En él se comparó el crecimiento en cultivos experimentales en sus fases gametofítica y tetraspórica. Se logró determinar que existe una variación en el crecimiento dependiendo de la fase del ciclo de vida bajo cultivo y de la procedencia del material biológico que sirvió de fuente para la producción de esporas. Además, determinó que la fase tetraspórica presentó un crecimiento más rápido que la fase gametofítica. Los talos producidos por material biológico proveniente de Coliumo presentó las más altas tasas de crecimiento. Un fotoperiodo de 16:08 cultivados a 13 °C resultó en el mayor crecimiento (Figura 25).

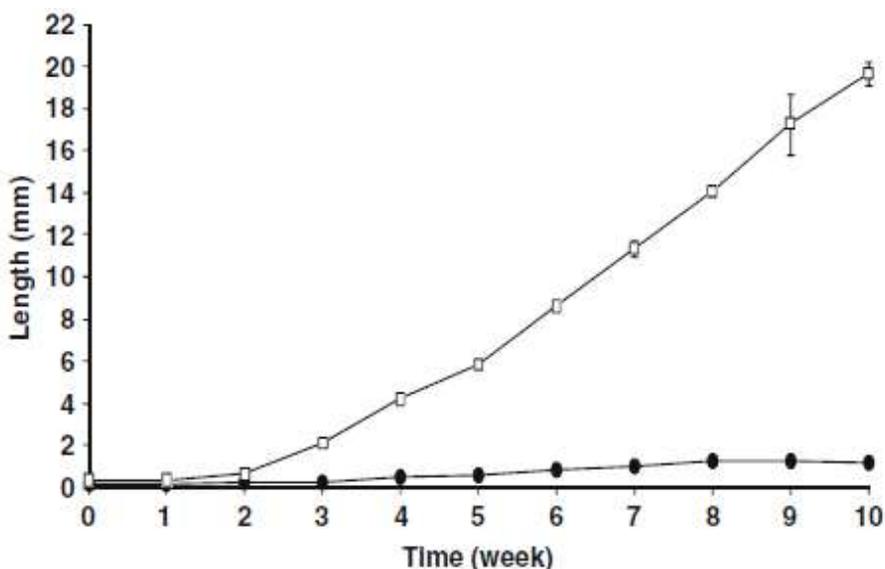


Figura 25. Resultados reportados por Ávila et al. (2011) para cultivo experimental tetrasporofitos de *C. chamissoi*. Temperatura de 13 °C (círculos blancos) y de 10 °C (círculos negros) para un fotoperiodo constante de 16:08 (tomado de Ávila et al., 2011).



Con los datos de crecimiento del material tetrasp3rico de Coliumo (Figura 25) cultivado a 13 °C fue posible ajustar una curva que describe el comportamiento de la tasa especfica de crecimiento observada (Figura 26).

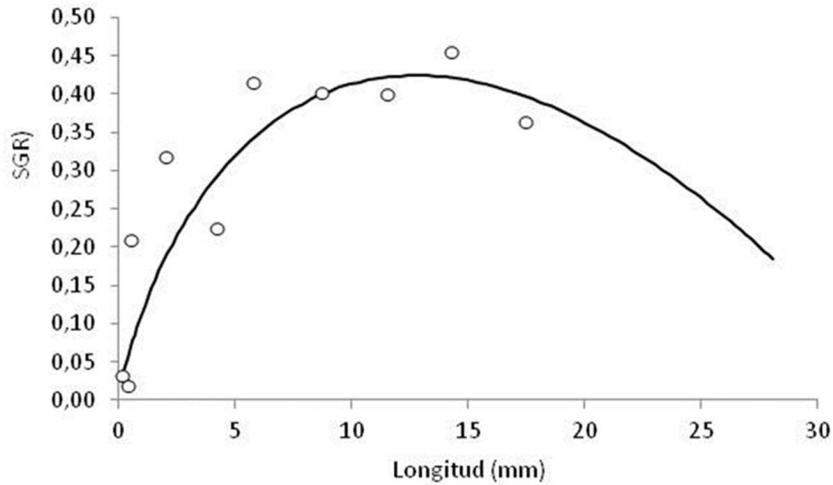


Figura 26. Tasas especficas de crecimiento observadas (c3rculos blancos) y estimadas (l3nea continua) a partir de los datos de 3vila et al. (2011) para *C. chamissoi*.

Con estos valores el crecimiento a trav3s del tiempo se ajusta bastante bien al patr3n observado (Figura 27).

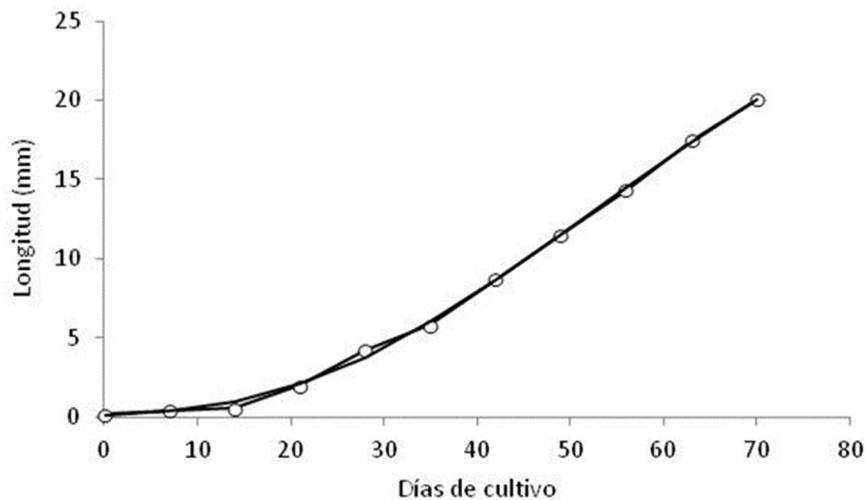


Figura 27. Patr3n de crecimiento observado (c3rculos blancos) en el experimento de 3vila et al. (2011) y esperado por el modelo de ajuste (l3nea continua).



5.2.2.2. *Macrocystis pyrifera*

Respecto a esta especie la revisi3n se centr3 en tres publicaciones (Tabla 6) que muestran resultados sobre la tasa de crecimiento de *M. pyrifera* en laboratorio. La primera de ellas involucra una comparaci3n de crecimiento entre cinco poblaciones de esporofitos mantenidas bajo id3nticas condiciones y corresponde al reporte de Guti3rrez et al. (2006), quienes desarrollan un cultivo suspendido a partir de cuerdas inoculadas en laboratorio, donde mantienen condiciones relativamente constantes, sin explicitar las razones para estos valores fijos. El cultivo de los esporofitos fue desarrollado con una PFD de 30 - 40 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, una temperatura de 9 a 10 $^{\circ}\text{C}$, una salinidad de 30 ppm y un pH de 7,8 - 7,9. La 3nica variable que fue modificada fue el fotoperiodo dependiendo de la semana de cultivo (Guti3rrez et al., 2006). El cultivo dur3 44 d3as momento al cual se realiz3 un an3lisis estad3stico comparativo. Los autores demostraron que, al cabo de 44 d3as de cultivo en laboratorio, las poblaciones de esporofitos mostraron distintos desempe1os en cuanto a crecimiento. Los esporofitos obtenidos a partir de material f3rtil provenientes de Bah3a Mansa mostraron los incrementos en longitud m3s altos que corresponde a un valor medio de 2,85 mm seguidos de Metri con 1,4 mm (Figura 28). Asumiendo un crecimiento lineal, esto equivale a un promedio de 0,065 y 0,032 mm d3a^{-1} , respectivamente.

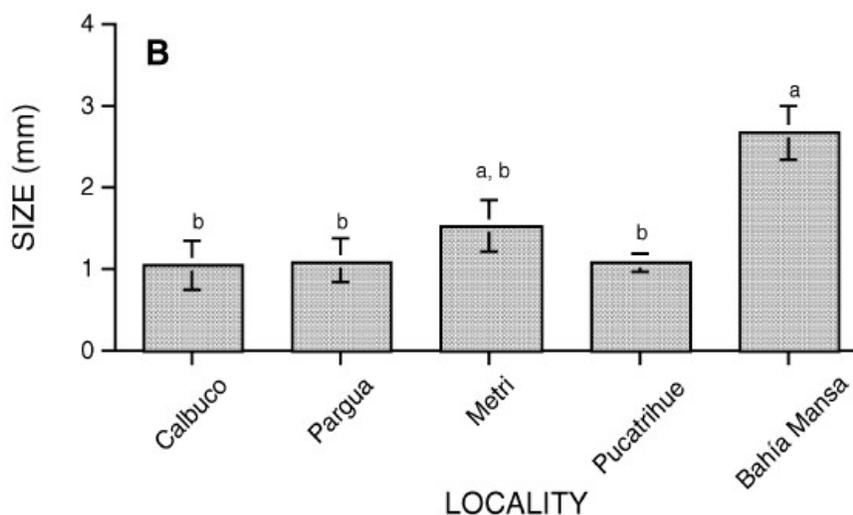


Figura 28. Crecimiento en laboratorio al cabo de 44 d3as de cultivo (tomado de Guti3rrez et al., 2006).

Las otras tres localidades mostraron crecimientos totales y tasas similares, 1 mm y 0,023 mm d3a^{-1} , respectivamente.

El segundo trabajo analizado corresponde al reporte de Westermeier et al. (2006), y es el 3nico que reporta el crecimiento de los esporofitos a lo largo del periodo de cultivo (Tabla 14).



Tabla 14.

Resultados de crecimiento en laboratorio de esporofitos de *M. pyrifera* al cabo de 16 semanas de cultivo (tomada de Westermeier et al., 2006).

Time scale: weeks	Culture units			Sporophyte	
	Number	Type	Volume (L)	Size mm	SD
1-3		PE bag	0.4	0.07	0.01
4	1	Bottle	1	0.11	0.04
5	1		1	0.29	0.13
6	1		2	0.48	0.13
7	1		2	0.94	0.42
8	2		5	1.53	0.41
9	2		5	4.29	1.48
10	2		10	6.24	1.48
11	2		10	8.02	2.15
12	2	Cylinder	20	10.08	2.17
13	4		20	22.88	3.87
14	4	Tank	800	32.33	5.64
15	4		800	64.12	11.82
16	4		800	78.42	16.35

El análisis de esta tabla indica que el modelo que explica la tasa de crecimiento diaria en función de la longitud:

$$\frac{dL}{dt} = \int \{L, dt\}$$

Dicho modelo es significativo (Tabla 15) y explica alrededor del 86% de la varianza observada (Figura 29).

Tabla 15.

Valor de los parámetros del modelo de ajuste y nivel de significancia.

	a	b	c
Estimate	5,332	47,265	16,729
Std.Err.	1,166	1,613	2,431
t(10)	4,617	26,763	6,294
-95%CL	2,786	39,573	9,883
+95%CL	7,984	46,761	20,716
p-value	0,000955	0,00000	0,00009

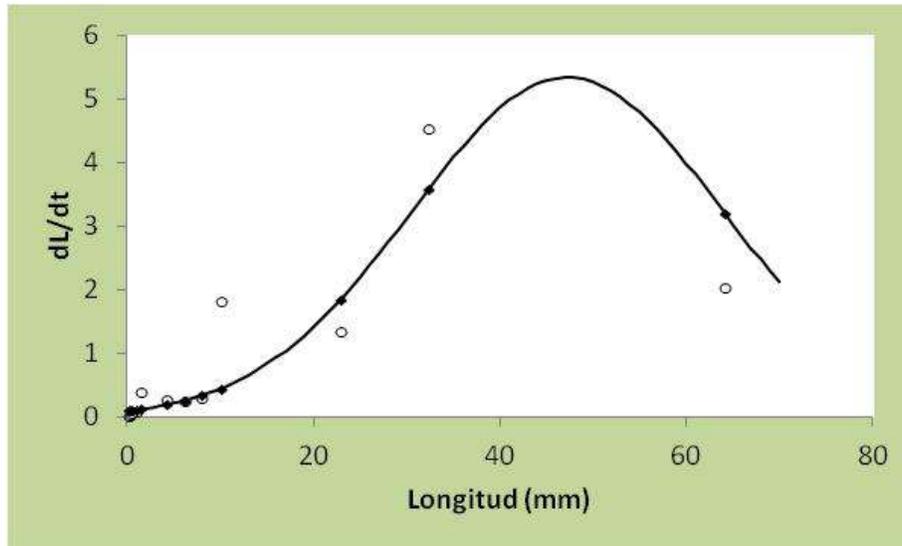


Figura 29. Tasa de crecimiento observada (círculos blancos) y curva de ajuste (línea continua) para esporofitos de *M. pyrifera* obtenida a partir de los datos de la Tabla 14.

Esto permite reproducir razonablemente bien los resultados obtenidos por Westermeier et al. (2006) para el crecimiento observado en *M. pyrifera* en las condiciones de laboratorio reportadas por estos autores (Figura 30).

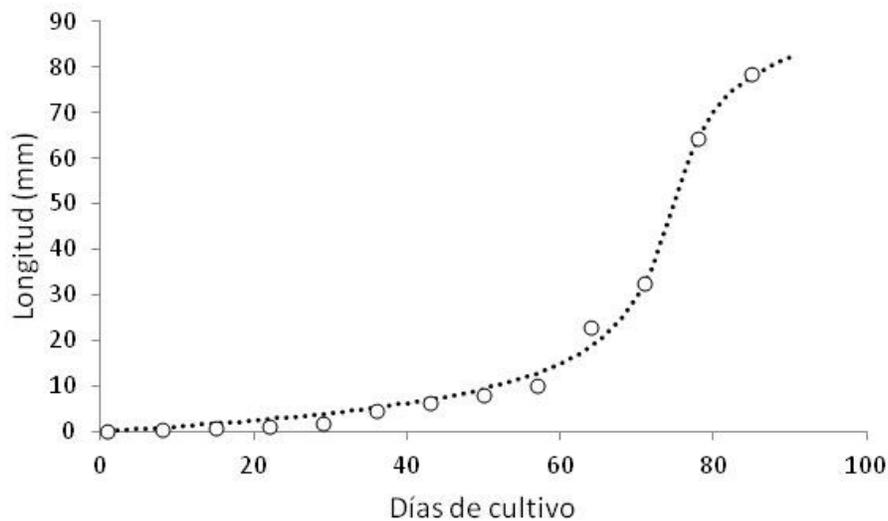


Figura 30. Crecimiento observado para esporofitos de *M. pyrifera* (círculos blancos) reportado por Westermeier et al. (2006) y esperado por el modelo de ajuste (línea punteada).



El tercer trabajo analizado fue el de Camus & Buschmann (2017). Es el único que planteó el problema de minimizar los costos de producción tanto en la etapa de cultivo en el mar como en hatchery, tratando de reducir el periodo de crecimiento como una forma de reducir costos. En él se muestra que es posible obtener cuerdas inoculadas con esporofitos de entre 2 y 4 mm de longitud en un periodo inferior a los 45 días (Figura 31). La combinación de variables que generan este resultado es con una temperatura de 12 °C, un flujo fotónico de 12 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; un fotoperiodo de 16:8; con concentraciones de nutrientes similares a la del medio de cultivo Provasoli y una aireación de 414 L h⁻¹.

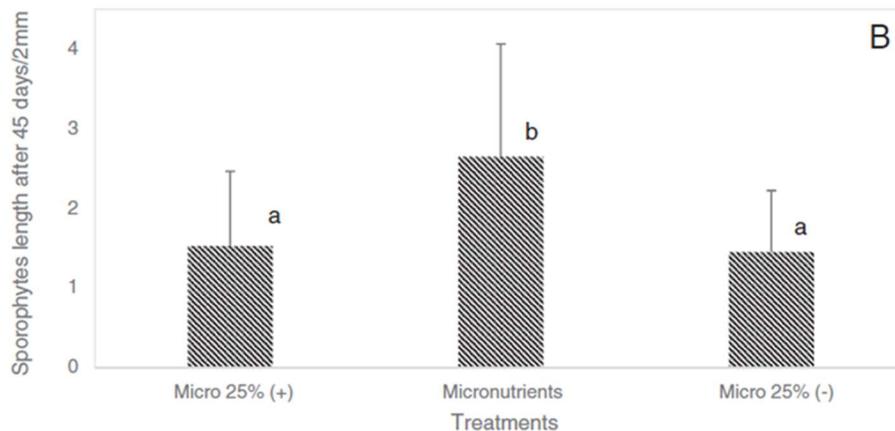


Figura 31. Crecimiento de esporofitos de *M. pyrifera* reportado por Camus y Buschmann (2017) mediante el sistema de cuerdas inoculadas bajo tres tratamientos de nutrientes.

5.2.2.3. *Agarophyton chilensis*

Agarophyton chilensis (ex *Gracilaria chilensis*) es quizás una de las algas rojas más estudiadas en Chile, pero hay pocos trabajos que relacionen el crecimiento en laboratorio con variables abióticas. El trabajo de Águila (2015) resultó interesante por la cantidad de variables de control involucradas y por seguir el procedimiento de cultivo desde la aclimatación de las plantas al hatchery, pasando a la esporulación y fijación de esporas en bastidores con cuerdas, siguiendo lo propuesto por Alveal et al. (1997), que constituye el procedimiento estándar observado en la visita a hatcheries productores a nivel comercial. El trabajo de Gallegos et al. (2018) resulta de interés, no obstante, la escala es a nivel experimental y da cuenta del crecimiento a partir de plantas con 2 grs de peso, lo cual se aparta del protocolo empleado en la producción a nivel masivo.

Para los fines de la modelación del crecimiento de *A. chilensis* en hatchery, se prefirió seguir lo utilizado en el cultivo comercial de pelillo que desarrolla la empresa Algas Marinas S.A. en la Región de Los Lagos. En este sentido, se privilegió la experiencia en producción a escala comercial, a pesar de no contar con los datos para llegar a parametrizar con detalle el crecimiento en la fase de hatchery. Así, de acuerdo a la entrevista, fue posible establecer que la fase de crecimiento en hatchery, desde la esporulación y fijación en bastidores con cuerdas, lleva aproximadamente tres meses, tiempo en el



cual las plantas llegan a una longitud media de 1 mm. De esta manera se determinó que el crecimiento diario sería:

$$\text{Tasa de crecimiento (mm/día)} = \frac{1}{90} = 0,011$$

5.2.2.4. *Sarcothalia crispata*

Se analizaron trabajos de crecimiento en laboratorio para *S. crispata* (Tabla 6), con resultados muy dispares. Por una parte, Werlinger et al. (2007) reportó el crecimiento en laboratorio a partir de material biológico obtenido en la Región de Magallanes. En los distintos tratamientos el crecimiento al cabo de 45 días de cultivo no superó los 40 μm de diámetro del talo (Figura 32). Estos resultados contrastan con los encontrados por Romo et al. (2001) que reportó un crecimiento mayor a 200 μm de diámetro en un período de 35 días después de la liberación de las esporas (Figura 33).

A pesar de que se ajustó un modelo de crecimiento a los datos de Werlinger et al. (2007) el que resultó significativo y de buen nivel de predicción del crecimiento, se prefirió usar el dato de Romo et al. (2001) para generar un escenario más optimista para el crecimiento en hatchery en la fase de modelamiento bio-económico. Así la tasa diaria de crecimiento usada en la modelación fue 0,0074 mm/día.

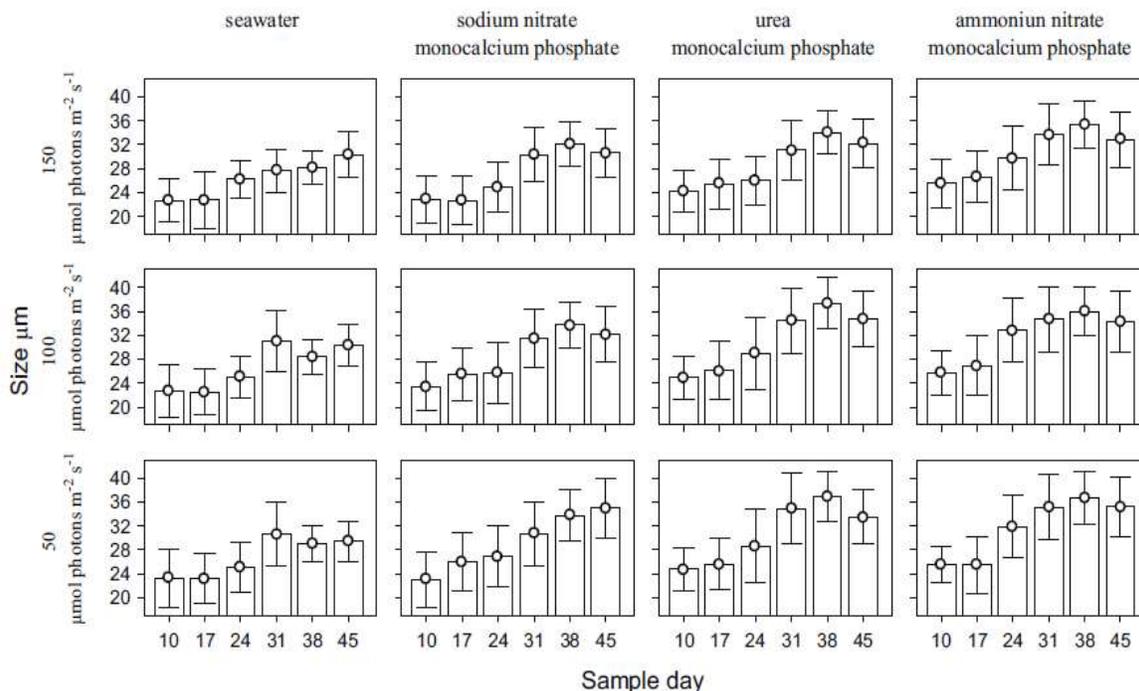


Figura 32. Resultados obtenidos por Werlinger et al. (2007) para *S. crispata* bajo diferentes condiciones de cultivo en laboratorio. Los datos ilustrados son los valores promedio \pm D. E. (Tomado de Werlinger et al., 2007).

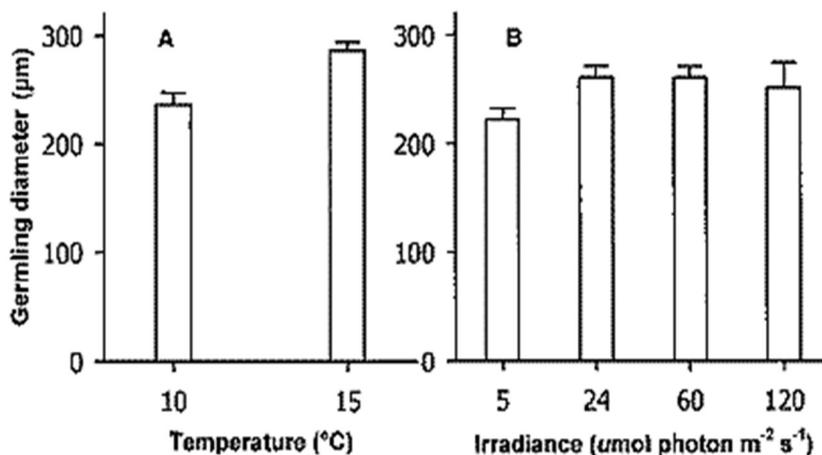


Figura 33. Crecimiento de *S. crispata* reportado por Romo et al. (2001). A. Efecto de la temperatura; B. efecto de la densidad del flujo fot3nico. (Tomado de Romo et al., 2001).

5.2.3. Modelamiento del cultivo en hatchery y costos de producci3n

5.2.3.1. Cultivo de *M. pyrifera* en hatchery

El hatchery tipo usado para modelar el cultivo de *M. pyrifera* es el que se indica en la secci3n 5.1.3 (Figuras 21 y 22). Para el cultivo de esporofitos juveniles de *M. pyrifera* se han descrito dos sistemas: uno consistente en cuerdas que son inoculadas con un caldo de esporas. Estas cuerdas est3n enrolladas en un tubo de PVC. La segunda forma de producir los esporofitos juveniles consiste en un sistema denominado “free floating”, en el cual las esporas crecen en suspensi3n en un medio de cultivo dentro de botellas de vidrio de 10 lt. Luego de un tiempo, tanto los tubos de PVC como los esporofitos juveniles producidos mediante *free floating* son llevados a patio en estanques de 800 lt, donde son mantenidos hasta su venta.

Por sus requerimientos particulares cada sistema de cultivo (cuerda inoculada y *free floating*) ser3n descritos en la siguiente secci3n.

Cultivo de esporofitos mediante cuerda inoculada

Este sistema de cultivo ha sido descrito en detalle por Guti3rrez et al. (2006), Correa et al. (2016), Camus et al. (2016) y Camus y Buschmann (2017). Los requerimientos para la implementaci3n del hatchery se muestran en la Tabla 16. Este equipamiento est3 pensando en suministrar semillas para un cultivo suspendido de 10 hect3reas. Esta superficie constituye la superficie m3xima a la cual podr3a optar una organizaci3n de pescadores para ser considerado un cultivo de peque1a escala.



Tabla 16.
Requerimientos de equipamiento para un hatchery productor de esporofitos juveniles de *M. pyrifera* en cuerdas inoculadas.

ITEM	Unidades	Costo (\$)	Costo total	Depreciación (mensual)	Vida útil (años)
Autoclave	1	1.500.000	1.500.000	41.667	3
Microscopio	1	4.000.001	4.000.001	55.556	6
Balanza de precisión	1	200.000	200.000	5.556	3
Estanques 2000 lt	2	600.000	1.200.000	6.667	15
Esterilizador UV	4	200.000	800.000	22.222	3
Elem vidrio			-	-	2
Tubos fluorescentes	36	446	16.056	2.676	0,5
Acuarios	24	25.000	600.000	16.667	3
Bomba hidráulica toma de agua	1	2.000.000	2.000.000	166.667	1
Filtro rotatorio		10.000.000	-	-	10
Estanque 20.000 lt	1	6.000.000	6.000.000	33.333	15
Bomba termo - plástica	1	800.000	800.000	33.333	2
Filtro anilla	3	1.053.745	3.161.235	26.344	10
Sistema UV	3	611.660	1.834.980	15.292	10
Blower	2	4.238.780	8.477.560	176.616	4
Total		31.229.632		602.594	
Total diario				20.086	

Para cubrir la necesidad de juveniles de *M. pyrifera* en una superficie 10 ha. Se requieren 15.600 m lineales de cuerda inoculada. Otros requerimientos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17.
Requerimientos para la producción de cuerda inoculada para un cultivo de *M. pyrifera* de 10 hectáreas.

Requerimiento de metros de cuerda	
Nr. Hectáreas	10
Req. cuerda inoculada (m)	15.600
Long lines x ha	13
m cuerda x tubo	120
Long tubo PVC (m)	0,2
Tubos PVC por acuario	6
Tubos PVC	143
Nr. Acuarios 20 lt	24

El cultivo en acuarios tiene una duración estimada de 40 días (González et al., 2006). Luego de ese periodo, los tubos de PVC con las cuerdas pasan a la fase de cultivo en patio por 30 días. En este periodo los requerimientos son los que muestra la Tabla 18. En esta misma fase los estanques



necesitan de aireación permanente por medio del blower, y el agua necesita enriquecerse con medio de cultivo.

Tabla 18.
Requerimientos para el cultivo de las cuerdas inoculadas en fase en patio.

Estanques de 2000 litros requeridos para	
Tubos PVC por estanque	100
Nr. Estanque 2000 lt requeridos	2
Vol agua x estanque Its	600
Vol requerido (Its)	1.200
Nr. recambio agua / dia	6
Vol total requerido (Its/dia)	7.200
Kw/hora	4,5
\$/Kw	100
Lts/min	300
Kw / min	0,1
\$/Kw/min	7,5

Para desarrollar el modelo bio-económico del hatchery se consideró un total de 11 costos principales (Tabla 19), que son los más representativos de esta fase de producción.

Tabla 19.
Principales costos considerados en la modelación bio-económica de la producción en hatchery.

Código	Item
1	Costo medio
2	Mano Obra (\$)
3	Depreciaciones
4	Energía Eléctrica Bombas
5	Energía Eléctrica blower
6	Energía Eléctrica Split
7	Energía Eléctrica Tubos Fluorescentes
8	Medio de Cultivo
9	Tubo PVC
10	Cuerdas
11	Otros

Dadas estas condiciones los costos acumulados incluyendo ambas fases, en acuarios en hatchery y en patio, son los que muestra la Figura 34. En términos generales, el costo total por ciclo producido es de alrededor de \$ 10 millones, abarcando un total de 70 días de cultivo.

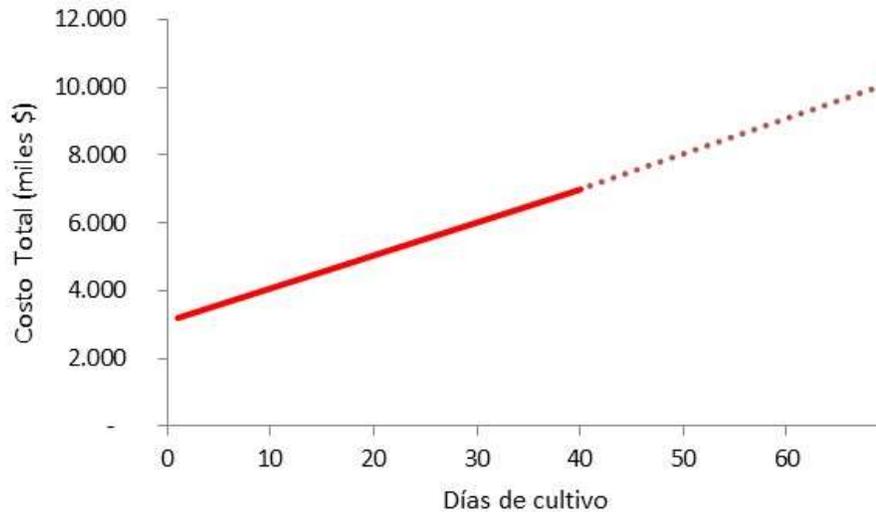


Figura 34. Costos de producci3n totales acumulados para el cultivo de *M. pyrifera* en cuerdas inoculadas, incluyendo la fase de cultivo en hatchery (lnea roja continua) y en patio (lnea roja punteada). Al dfa 70 el producto est3 en condiciones de ser vendido.

El costo medio de producci3n por metro lineal se muestra en la Figura 35. Al dfa 70 cada metro lineal tiene un costo de producci3n de \$ 634 m⁻¹. La lnea azul en la Figura 35 representa un precio de venta hipot3tico, asumiendo que el productor desea un margen de ganancia del 75% por metro lineal producido. Esta curva podrfa cambiar dependiendo precisamente de este margen deseado de ganancia.

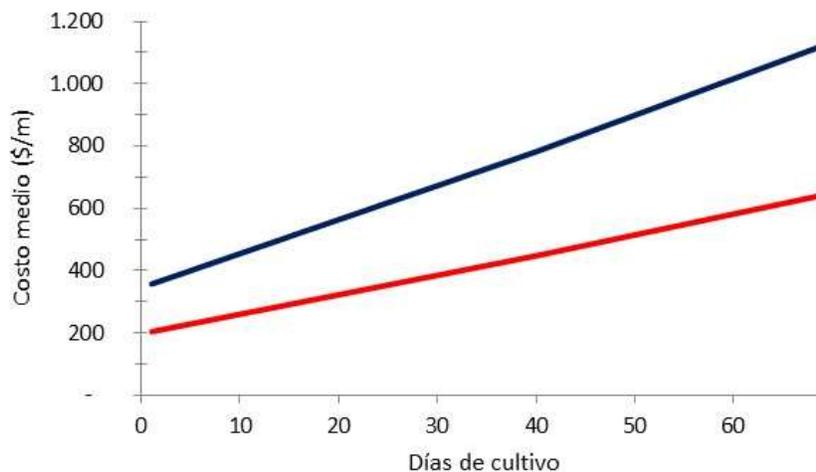


Figura 35. Costo medio de producci3n por metro lineal de cuerda inoculada (lnea roja). La lnea azul representa la curva de precio de venta, asumiendo un margen de utilidad de 75%.



En este último caso, el precio de venta por metro lineal sería de \$ 1.134 m⁻¹. En términos del análisis de costeo por metro lineal (Figura 36) se consideraron un total de 11 ítems, los que intervienen en la producción de esporofitos juveniles a partir de un caldo de esporas incorporadas en los acuarios que contienen los tubos de PVC. Se observa que el costo medio total es explicado principalmente por dos ítems: mano de obra y el valor de la cuerda. Efectivamente, el ítem mano de obra involucra un costo por metro lineal de cuerda inoculada de \$262 (41,3% del total) y el de la cuerda que sirve de sustrato tiene un costo de \$180 (28,4%). Frente a estos dos ítems los demás tienen un aporte marginal al costo medio total por metro lineal producido.

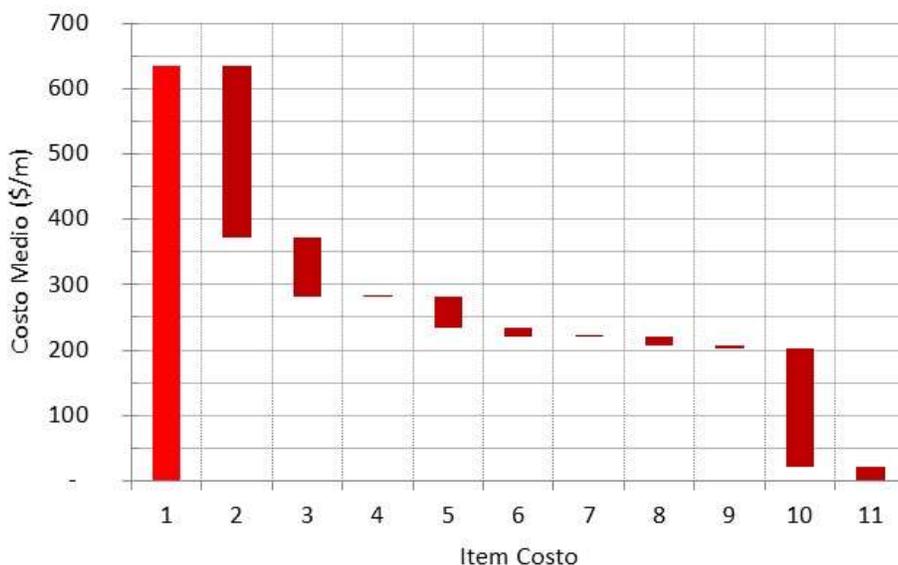


Figura 36. Análisis de costo por metro lineal. (1) Costo medio total; (2) mano de obra; (3) depreciaciones; (4) energías bombas; (5) energía blower; (6) energía Split; (7) energía tubos fluorescentes; (8) medio de cultivo; (9) tubos PVC; (10) cuerda; (11) otros.

Cultivo de esporofitos mediante sistema de free-floating.

Este sistema de cultivo ha sido descrito en detalle por Westermeier et al. (2006). El hatchery requerido para este sistema de cultivo es estructuralmente idéntico al descrito para el sistema de cuerda inoculada (Ver Sección 5.1.3; Figuras 21 y 22). Una de las principales diferencias ocurre al interior del hatchery, donde los acuarios son reemplazados por botellas; primero de 1 lt que contienen en caldo de esporas por alrededor de 21 días. Luego son transferidas a botellas de 10 lt de capacidad donde las esporas se desarrollan en esporofitos juveniles, que crecen libremente sin sustrato de fijación (de ahí *free floating*). En esta fase los esporofitos crecen hasta alcanzar aprox. 35 mm de longitud, lo que ocurre alrededor de 70 días. Posteriormente son trasladados a patio donde los juveniles prosiguen su crecimiento en estanques de 800 lts (Westermeier et al., 2006), lo que constituye la segunda gran diferencia respecto de lo que ocurre en el cultivo en cuerdas inoculadas donde los tubos de PVC son



mantenidos en estanques de 2.000 lts de capacidad. Aunque muy similares al sistema anterior, los principales costos asociados en equipamiento se detallan en la Tabla 20 y se detallan puesto que el costo por depreciación sufre algunas modificaciones. En efecto, en este caso el costo diario por depreciación es de \$17.846, que es \$ 5.035 mayor que el sistema de producción en cuerda inoculada.

Tabla 20.

Requerimientos de equipamiento para un hatchery productor de esporofitos juveniles de *M. pyrifera* a través del sistema de *free floating*.

ITEM	Unidades	Costo (\$)	Costo total	Depreciación (mensual)	Vida útil (años)
Autoclave	1	1.500.000	1.500.000	41.667	3
Microscopio	1	4.000.001	4.000.001	55.556	6
Balanza de precisión	1	200.000	200.000	5.556	3
Estanques 2000 lt	32	600.000	19.200.000	106.667	15
Esterilizador UV	4	200.000	800.000	22.222	3
Elem vidrio			-	-	2
Tubos fluorescentes	786	446	350.556	58.426	0,5
Acuarios	524	25.000	13.100.000	363.889	3
Bomba hidráulica toma de agua	1	2.000.000	2.000.000	166.667	1
Filtro rotatorio		10.000.000	-	-	10
Estanque 20.000 lt	1	6.000.000	6.000.000	33.333	15
Bomba termo - plástica	1	800.000	800.000	33.333	2
Filtro anilla	3	1.053.745	3.161.235	26.344	10
Sistema UV	3	611.660	1.834.980	15.292	10
Blower	2	4.238.780	8.477.560	176.616	4
Total		31.229.632		1.105.566	
Total diario				36.852	

En cuanto a los requerimientos de personal, se asumen los mismos que los descritos para el caso del sistema de cuerda inoculada: un profesional y dos técnicos (Tabla 21). Los costos diarios contemplados para el análisis bio-económico de este tipo de cultivo se detallan en la Tabla 22 ya que son ligeramente distintos a la estructura de costos descritos en la Tabla 19.

Tabla 21.

Costos de personal en hatchery.

Personal	Unidades	Costo Unitario (\$)	Total (\$)
Profesional	1	1.000.000	1.000.000
Técnico	2	750.000	750.000
Costo Mensual			1.750.000
Costo Diario			58.333



Tabla 22.

Costos considerados en la modelación de la producción en hatchery de juveniles de *M. pyrifera* con el sistema de *free floating*.

Código	Item
1	Costo medio plántula
2	Mano Obra (\$)
3	Depreciaciones
4	Energía Eléctrica Bombas
5	Energía Blower
6	Energía Eléctrica Split
7	Energía Eléctrica Tubos Fluorescentes
8	Medio de Cultivo
9	Otros

El submodelo biológico subyacente es diferente al de la cuerda inoculada. Aquí se contó con información más detallada acerca del crecimiento de los juveniles en el tiempo (Westermeier et al., 2006), lo que permitió modelar su crecimiento a través de las distintas fases del cultivo en hatchery (Tabla 14; Figuras 28 y 29) De acuerdo con Westermeier et al. (2006) la frecuencia de ocurrencia de individuos anormales, con deformaciones, falta de polaridad ocurrió en un 10 – 20% de los esporofitos cosechados.

Los resultados representan la producción de juveniles bajo la modalidad de *free floating* equivalente a los requerimientos de plantas de juveniles necesarias para una superficie de cultivo en mar de 10 ha, considerando que por metro lineal de cuerda de cultivo suspendido se requieren seis juveniles de *M. pyrifera* (Westermeier et al., 2006).

Los costos totales acumulados a través del tiempo para el cultivo en hatchery de esporofitos de *M. pyrifera* producidos a través del método de *free floating* se muestran en la Figura 37. En ella se puede identificar las tres fases en la producción. Una primera fase (línea roja gruesa continua) donde se realiza la gametogénesis y esporulación, la cual se lleva a cabo en bolsas y su posterior incubación en botellas de 2 y 5 lt, hasta el día 21 de cultivo. Posteriormente, se transfieren los juveniles a botellas de 10 lts (tiempo mostrado por la línea roja delgada) hasta el día 92 de cultivo. Finalmente, los juveniles son llevados a estanques de 800 lts que se mantienen en patio (línea roja punteada) hasta el día 112. El costo total de producción asciende a aprox. MM\$ 13.

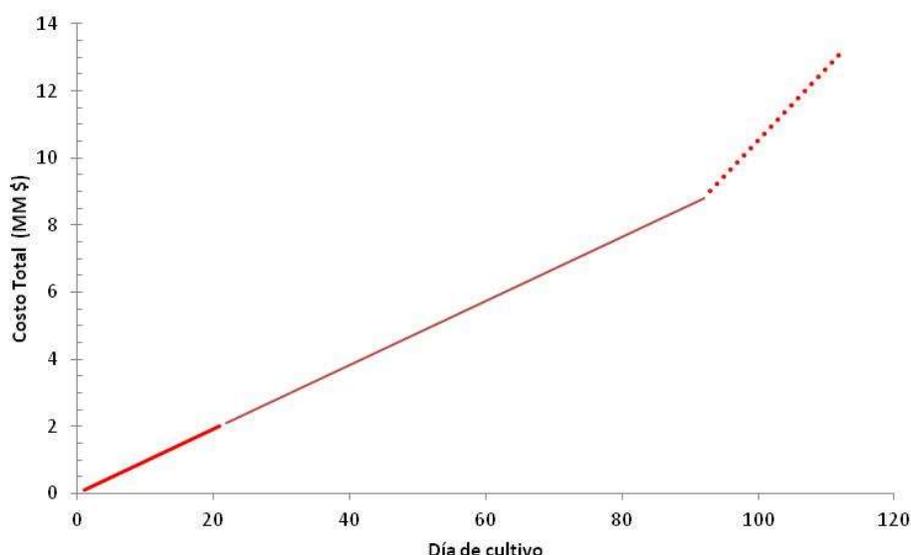


Figura 37. Costo acumulado para la producci3n de juveniles de *M. pyrifera* con el sistema de *free floating*, descrito por Westermeier et al. (2006). La lnea roja gruesa indica la primera fase de cultivo; la lnea roja delgada el cultivo en botellas de 10 lt; la lnea roja punteada representa la fase de cultivo en patio.

Los costos medios de producci3n pueden ser vistos de dos modalidades diferentes. Una como el costo medio por plántula (juvenil) por día de cultivo o bien como costo medio por plántula por tamaño (en mm). Así, al cabo de los 112 días de cultivo que dura un ciclo de producci3n el costo medio por plántula sería de aprox. \$ 46 (Figura 38). Así, asumiendo una ganancia de 75%, al igual que en el caso del metro lineal de cuerda inoculada, el precio de venta estimado por plántula sería de aprox. \$80. Otra alternativa es expresar el costo medio por plántula en funci3n de su tamaño medio en mm (Figura 39). Esta opci3n ofrece la ventaja de que es el comprador el que puede determinar de mejor manera el producto que más satisface sus requerimientos en términos de tamaño y “visibilidad”. Es usual encontrar cierta tendencia a querer comprar una plántula “que se vea” a una cuerda inoculada donde la presencia de plántulas no es del todo evidente. Visto como costo de producci3n por plántula es posible determinar cierto patr3n en el costo medio (Figura 39). En efecto, hay un periodo entre el día 30 y 70 de cultivo donde la pendiente de la curva de costo medio tiene una pendiente inferior a la observada en los extremos. Luego de 112 días de cultivo en promedio los esporofitos tendrían alrededor de 83 mm de longitud y los mismos costos medios de producci3n de \$46 plántula⁻¹. Su precio de venta (75% de ganancia) sería de casi \$80 plántula⁻¹.

La estructura de costos por plántula producida se muestra en la Figura 40. En ella se puede ver que del costo medio total (\$46 plántula⁻¹) por plántula producida, \$23 son generados por la mano de obra (50%), seguido por el ítem medio de cultivo (\$9, 19%); depreciaciones (\$7; 15%) y energía eléctrica invertida requerida por el blower (\$4, 9%) Entre estos cuatro ítems dan cuenta del 93% del costo medio por plántula.

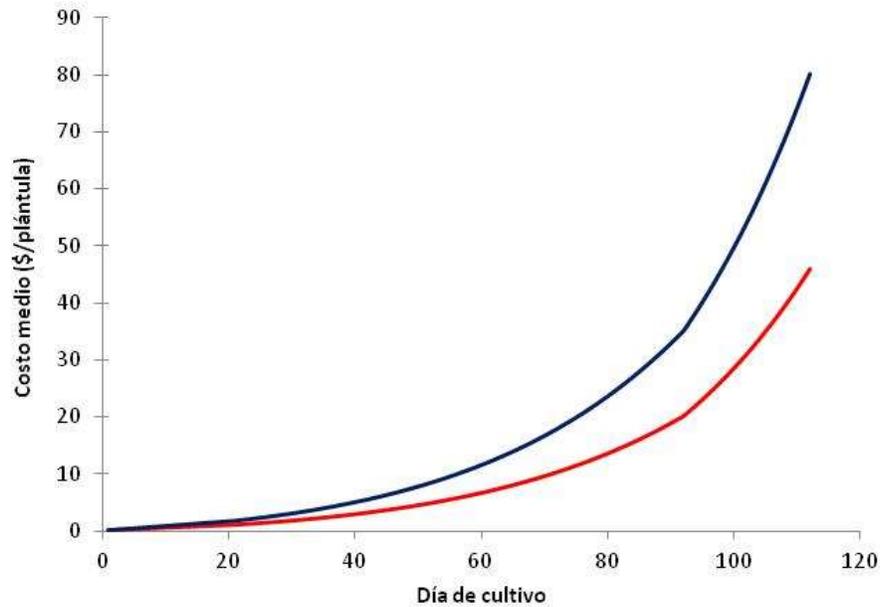


Figura 38. Costo medio por plántula producida mediante *free floating* en función de los días de cultivo (curva de color rojo). La curva de color azul representa el precio de venta asumiendo una ganancia de 75%.

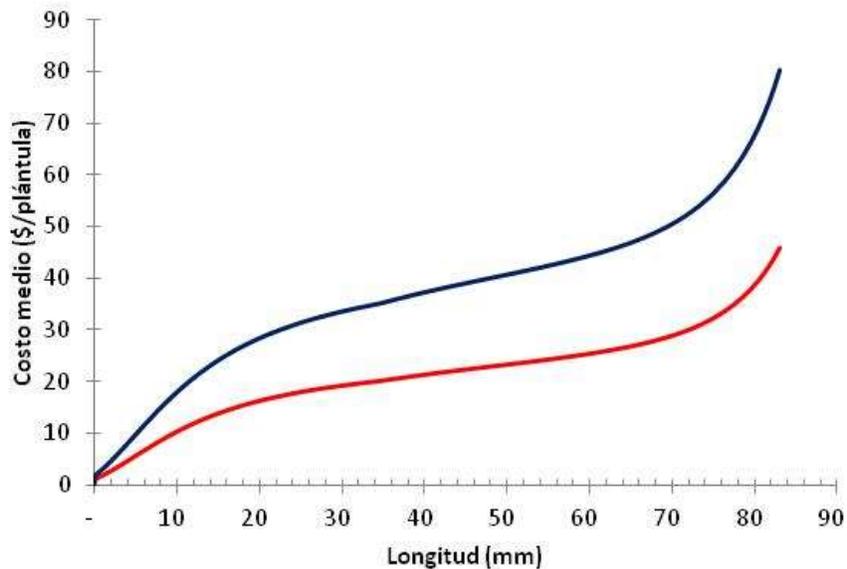


Figura 39. Costo medio por plántula producida mediante *free floating* en función de la longitud promedio de los esporofitos (curva de color rojo) en 112 días de cultivo. La curva de color azul representa el precio de venta asumiendo una ganancia de 75%.

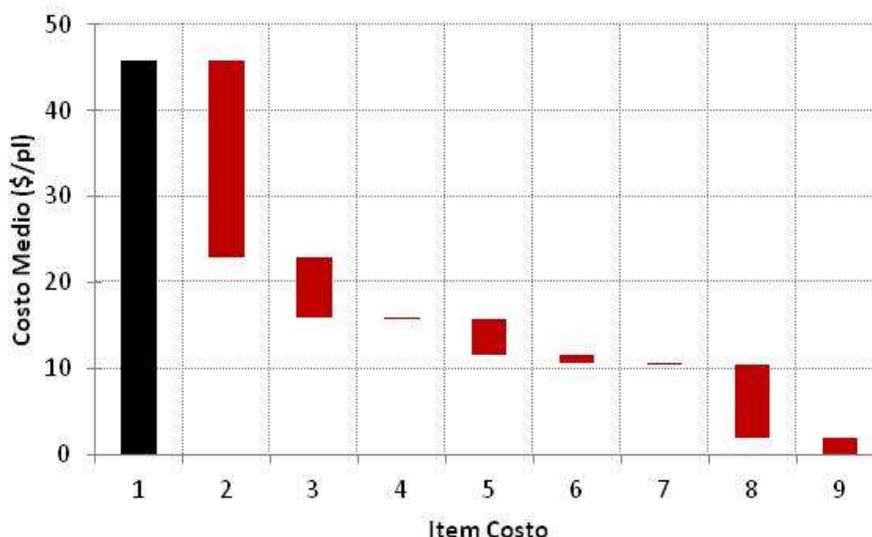


Figura 40. Estructura de los costos por plántula de *M. pyrifera* producida mediante el sistema de *free floating*. (1) costo medio; (2) mano de obra; (3) depreciaciones; (4) energías bombas; (5) energía blower; (6) energía Split; (7) energía tubos fluorescentes; (8) medio de cultivo; (9) otros costos.

Análisis comparativo cuerda inoculada vs. *free floating*.

Hasta ahora el análisis bio-económico de la producción de esporofitos de *M. pyrifera* se ha desarrollado sobre la base de generar la cantidad suficiente de material biológico para sostener un cultivo suspendido de 10 ha de superficie. Bajo esta condición, el costo medio de producir un metro lineal de cuerda inoculada es de \$ 601, mientras que la producción de 20 plántulas que se requieren para formar un metro lineal de cuerda de cultivo² es de \$ 910.

Visto desde el punto de vista de costos de producción, para el sistema de producción mediante cuerda inoculada el 73% del costo medio por metro lineal se explica sólo por dos ítems: mano de obra y valor de la cuerda. En tanto para el cultivo con el sistema de *free floating* el 74% del costo medio se explica por la mano de obra y las depreciaciones. Una manera evidente de disminuir los costos medios de producción en el caso del sistema de *free floating* es el de aumentar la producción de esporofitos de *M. pyrifera*, de este modo los altos costos asociados a mano de obra y depreciaciones se dividirían entre un mayor número producido. En el caso del sistema de producción por cuerda inoculada ocurre lo mismo para el costo mano de obra, mientras que para el costo por metro lineal de la cuerda que sirve de sustrato se requiere buscar un sustituto más barato³. De hecho, es posible aumentar la capacidad productiva del hatchery puesto que para las 10 ha se utiliza una fracción menor del hatchery tipo de 60 m² sobre el que se sustenta la modelación. En efecto, dependiendo de la disposición

² Se requieren 20 plántulas para un metro lineal de cuerda de cultivo.

³ De hecho, durante las visitas a distintos hatcheries en producción se encontró un caso donde la cuerda de sustrato para las esporas inoculadas era sustantivamente inferior. En este informe se ha mantenido el producto original recomendado por los productores, pero que tiene el costo más alto.



espacial en un hatchery de esa superficie podrían instalarse aprox. 528 acuarios (para cuerda inoculada) y 551 botellas de 20 lt (para *free floating*) con una capacidad de producir material biol3gico para 220 y 184 ha, respectivamente.

Utilizando el hatchery a m3xima capacidad, la estructura de costos medios cambia dram3ticamente (Figura 41). Al aumentar la producci3n, los costos de mano de obra y depreciaciones disminuyen para ambos sistemas de cultivo. En el caso de la producci3n v3a cuerdas inoculadas la mano de obra pasa de 44% a 6% (por metro lineal), mientras que en el sistema de *free floating* disminuye de 50% a 11% (por pl3ntula producida). Con el aumento de la producci3n ahora son otros ítems los m3s relevantes en el an3lisis. Para la cuerda inoculada se observa que el costo por metro lineal disminuy3 de \$ 601 m⁻¹ a \$ 217 m⁻¹. De éstos, \$ 180 son explicados únicamente por el valor del metro lineal de cabo de polipropileno, es decir, el 83% del costo medio de producci3n. En el caso de la producci3n de pl3ntulas por *free floating*, el costo medio disminuy3 de \$ 46 a \$ 12 pl3ntula⁻¹, mientras que el medio de cultivo explica el 73% del costo medio estimado (Figura 41).

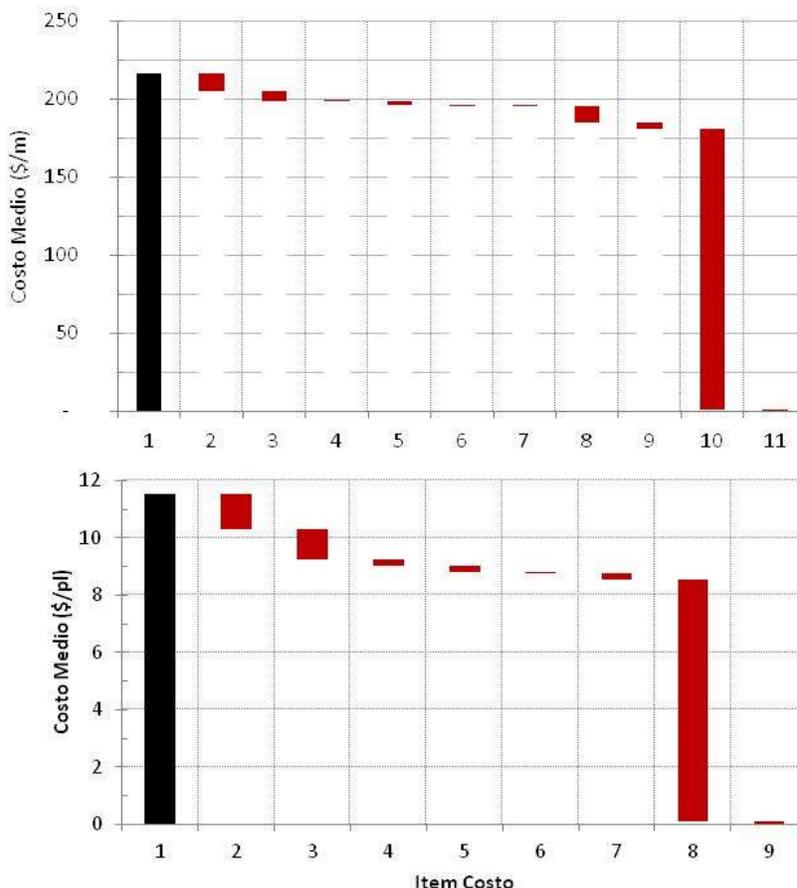


Figura 41. Costo medio de producci3n por metro lineal (cuerda inoculada, gr3fico superior) y por pl3ntula (*free floating*, gr3fico inferior). Los c3digos del ítem son como los definidos en la Figura 36 y Figura 40 para cuerda inoculada y *free floating*, respectivamente.



Análisis de Riesgo para la producción de esporofitos de *M. pyrifera* a través del sistema de cuerda inoculada.

Debido al hecho que no se contó con resultados finales de cultivo de múltiples ciclos de producción cerrados, no se pudo contar con la información requerida para conducir formalmente un análisis de riesgo para la producción de *M. pyrifera* mediante algún medio de producción, ya sea cuerda inoculada o free floating. Se conoce que ningún ciclo tiene exactamente el mismo comportamiento que los restantes. Aun estando bajo las mismas condiciones físico – químicas y en el mismo lugar geográfico el comportamiento de cada ciclo será propio del mismo. Lo que si ocurre es que si se analiza la serie histórica de ciclos cerrados es posible calcular una función de densidad de probabilística para el conjunto en su totalidad. Así, mediante técnicas de remuestreo aleatorio, es posible determinar la probabilidad de ocurrencia de cierto comportamiento de un ciclo de producción en particular. Esto es lo que no puede realizarse en este punto debido a la ausencia de datos históricos de ciclos cerrados de cultivo. En este estado no es posible conocer si los resultados reportados por distintos autores de la Tabla 6 representan el comportamiento medio o están en el límite inferior o superior de los intervalos de confianza. De esta manera, la variabilidad en el comportamiento biológico no es posible inferirlo a partir de estos datos.

Otro elemento que dificulta el análisis de riesgo es que no existen reglas de decisión claras y técnicamente sustentadas. Por ejemplo, veamos el caso del tiempo de permanencia del material biológico en cultivo en hatchery. Gutiérrez et al. (2006) reportan dos experiencias de cultivo en fase de mar, de lo cual se puede establecer a qué tamaño los esporofitos fueron trasladados desde el hatchery. En el primer experimento, el traslado se hace a los 60 días de cultivo, aunque no se menciona explícitamente el tamaño a ese tiempo. Haciendo una extrapolación a partir de los resultados de estos autores el tamaño medio debiera haber sido de aprox. 3,4 mm de longitud⁴. En el segundo experimento inician el cultivo en fase de mar cuando las plantas tenían 1 mm de longitud y una densidad media de 51 plantas por mm lineal. En el ciclo reportado por Camus y Buschmann (2017), se mantuvo el material biológico en el hatchery por 45 días, logrando un tamaño medio de alrededor de 2,5 mm (Figura 31). En Coquimbo, en cambio, las cuerdas inoculadas son mantenidas en hatchery por 60 días, cuando alcanzan una longitud media de aprox. 1 mm de longitud. Sin embargo, en este estado las cuerdas inoculadas siguen su cultivo en estanques en patio hasta alcanzar aprox. entre 1 y 2 cm de longitud. ¿cuál es el tamaño óptimo para finalizar el cultivo en hatchery (o patio) y trasladar las cuerdas a la fase de mar?, o más que un tamaño, ¿es un día (o una ventana de tiempo) en particular? La respuesta a estas preguntas es relevante por cuanto el tiempo de cultivo en fase de hatchery (por lo tanto, los costos asociados) pueden ser (de hecho, los resultados anteriores lo sugieren así) significativamente distintos si el estado biológico óptimo para el cambio de fase de cultivo es a 1 mm que, a 4 mm, o a 2 cm.

A pesar de estas dificultades se realizó un análisis de riesgo, incorporando como única fuente de variación un rango de variabilidad hipotético en la tasa de crecimiento diario de *M. pyrifera*. Primero, se definió sobre qué técnica de producción se haría este análisis de riesgo. Del análisis de la Figura

⁴ Es el resultado de crecimiento obtenido para el material proveniente de Bahía Mansa (Figura 28), aunque la densidad por mm lineal fue la más baja (ver Figura 4 del trabajo de Gutiérrez et al., 2006).



41 se desprende que el sistema de cuerda inoculada es m1s barato de producir que mediante el *free floating*. En efecto al costo de producci3n por este 1ltimo sistema, habr1a que sumar 20 pl1ntulas para conformar un metro lineal de cuerda de cultivo, m1s el costo por el encordado de las pl1ntulas y adem1s la cuerda misma. Esto eleva el costo de generar un metro lineal de cuerda con pl1ntulas a \$ 439, casi el doble del costo del metro lineal con cuerda inoculada en hatchery. Esto lo hace un sistema mucho m1s adecuado para la producci3n a nivel masivo, esto en t1rminos econ3micos. De esta manera, el an1lisis de riesgo se hizo tomando como base, esporofitos de *M. pyrifera* producidos mediante cuerda inoculada.

En segundo lugar, se decidi3 usar el crecimiento reportado por Camus y Buschmann (2017) debido a que estos autores determinaron experimentalmente las condiciones f1sico – qu1micas que maximizaron el crecimiento en hatchery. Como se dispuso de s3lo un ciclo de producci3n se asumi3 que lo reportado por estos autores corresponde al valor medio de respuesta en m1ltiples ciclos cerrados de producci3n en hatchery con un intervalo de confianza de distribuci3n normal del 25% en torno a este valor central. Esta variabilidad fue incorporada al modelo de simulaci3n para hacerlo estoc1stico. Se asumi3 adem1s que el hatchery, con una superficie 1til de 60m² en la sala de incubaci3n, produce a plena capacidad s3lo *M. pyrifera*. Finalmente, el an1lisis de riesgo se hizo usando la t1cnica de Monte Carlo, empleando para ello el software @RISK®, con un total de 10.000 iteraciones. La duraci3n del ciclo de cultivo se determin3 a partir de la cantidad de d1as necesarios para que el tama1o medio de las pl1ntulas fuera de 3 mm de longitud. Debido a que el crecimiento ahora es aleatorio (aunque definido por una tasa diaria de crecimiento con distribuci3n normal) los d1as requeridos ser1n variables, afectando con ello la estructura de costos en esta fase. La distribuci3n de la tasa de crecimiento diaria entre ciclos cerrados de producci3n para *M. pyrifera* se muestra en la Figura 42. El 95% de los valores est1 entre 0,06228 y 0,08544 mm d1a⁻¹, con una media 0,073865 mm d1a⁻¹.

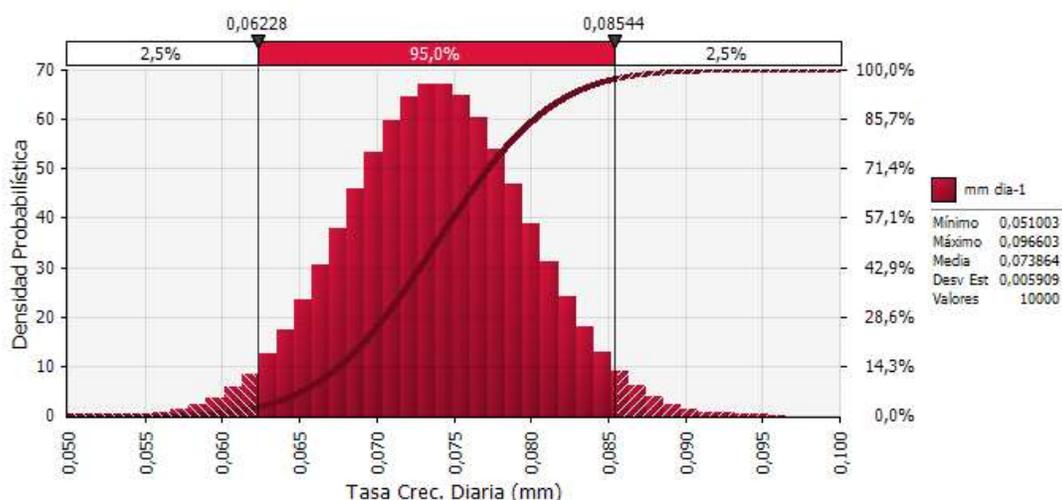


Figura 42. Variabilidad en la tasa de crecimiento diaria de *M. pyrifera* cultivadas en hatchery mediante la t1cnica de cuerda inoculada.



Con esta variabilidad en el crecimiento entre ciclos de producci3n, los d3as de cultivo requeridos para alcanzar los 3 mm de longitud se representan en la Figura 43. El 95 % de los casos est3 entre los 35 y 48 d3as. Dado esta cantidad de d3as, los costos totales podr3an variar seg3n lo muestra la Figura 44. As3 el 95% de los valores calculados est3 entre los MM \$ 73,14 y MM\$ 75,60. En tanto los ingresos totales por concepto de venta por metro lineal tiene una media de MM 129,4 ± MM \$ 18,4 (Figura 45).

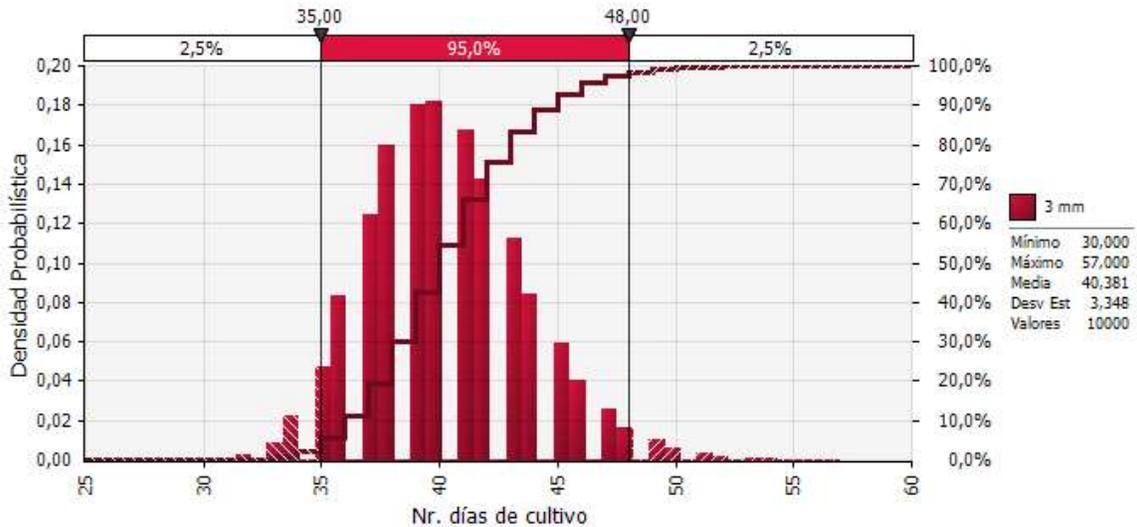


Figura 43. N3mero de d3as requeridos para alcanzar los 3 mm de longitud para pl3ntulas de *M. pyrifera* en las cuerdas inoculadas.

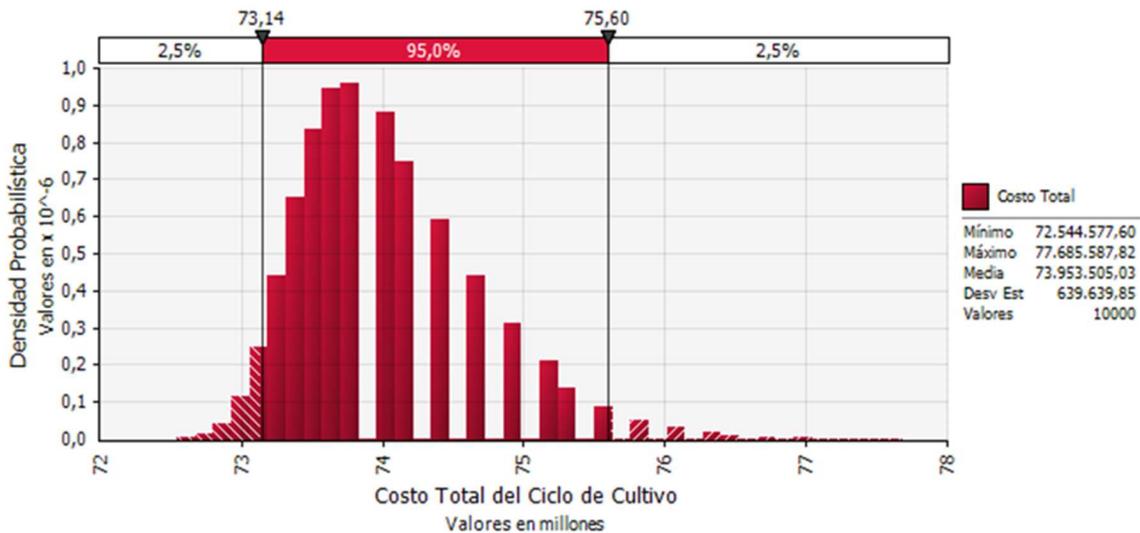


Figura 44. Distribuci3n de probabilidad para el costo total del ciclo de producci3n de *M. pyrifera* en cuerda inoculada.

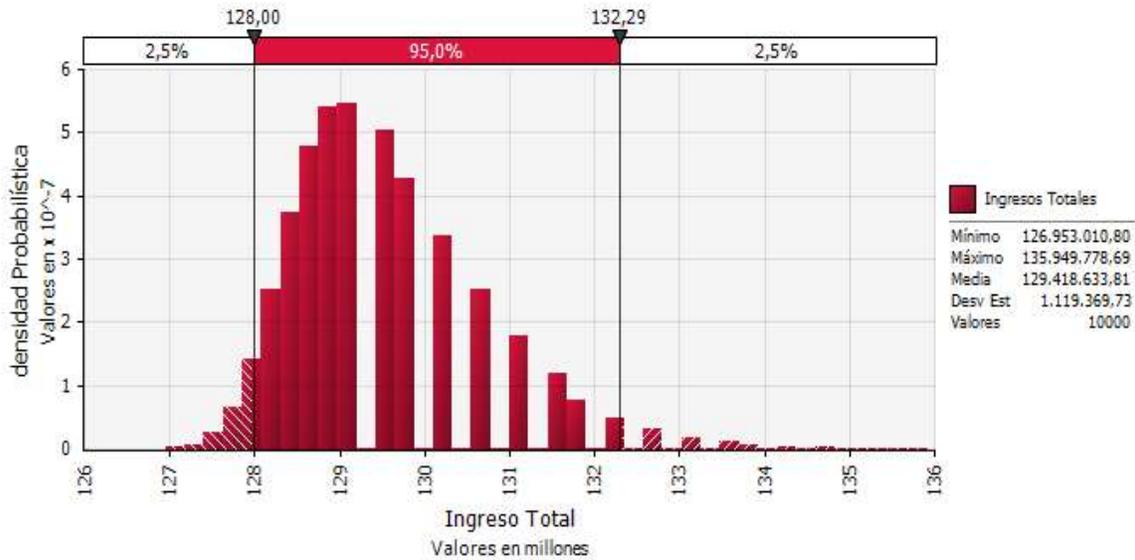


Figura 45. Ingreso total calculado para el cultivo de *M. pyrifera*.

De esta forma, el ingreso neto calculado por ciclo de producci3n estar3a en el orden de los MM \$ 55,46 (Figura 46) con un intervalo de confianza de entre MM\$ 55 y MM \$ 57. En t3rminos de la probabilidad de alcanzar ciertos puntos de referencia, el an3lisis ser3a como sigue: existe un 90% de probabilidades que el ingreso neto sea \geq a MM\$ 55, mientras que la probabilidad de que este valor exceda los MM\$ 57 es de 1% (Figura 47)

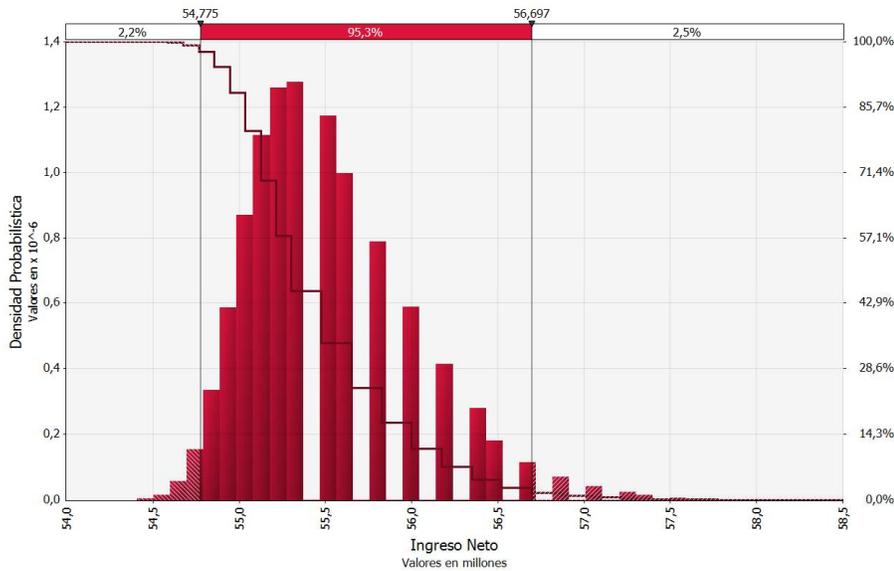


Figura 46. Ingreso neto calculado para el cultivo de *M. pyrifera*.



Obviamente, el an3lisis anterior es bastante simplista, ya que se incorpor3 una variabilidad hipot3tica s3lo en la tasa de crecimiento diaria, y con una variabilidad conservadora. Si la variabilidad en la tasa de crecimiento fuera mayor, otra configuraci3n en el beneficio neto ser3a posible (Figura 48).

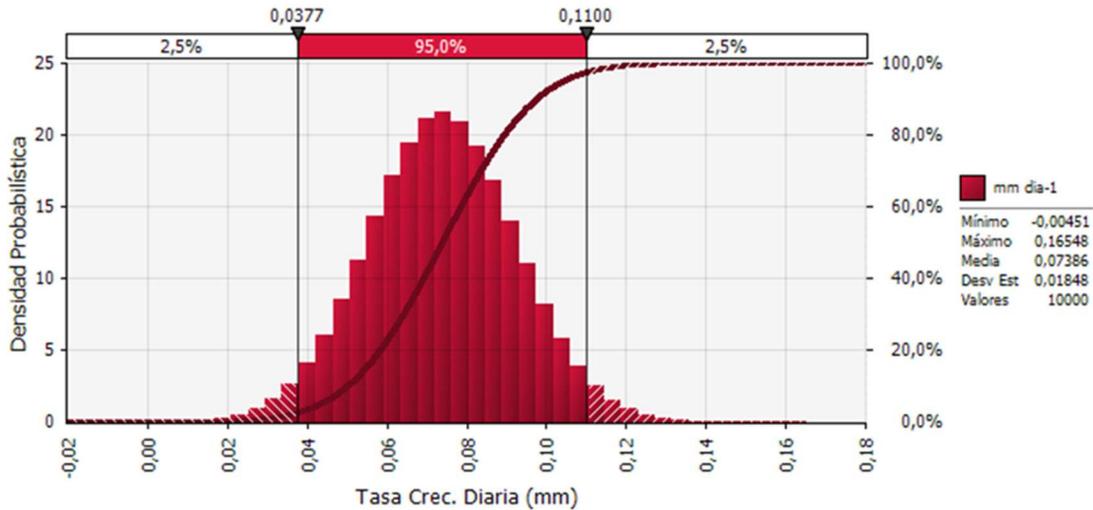


Figura 47. Resultado hipot3tico para la distribuci3n de probabilidad de ocurrencia de la tasa de crecimiento diaria si la incertidumbre en esta variable fuera mayor a la descrita en la Figura 42.

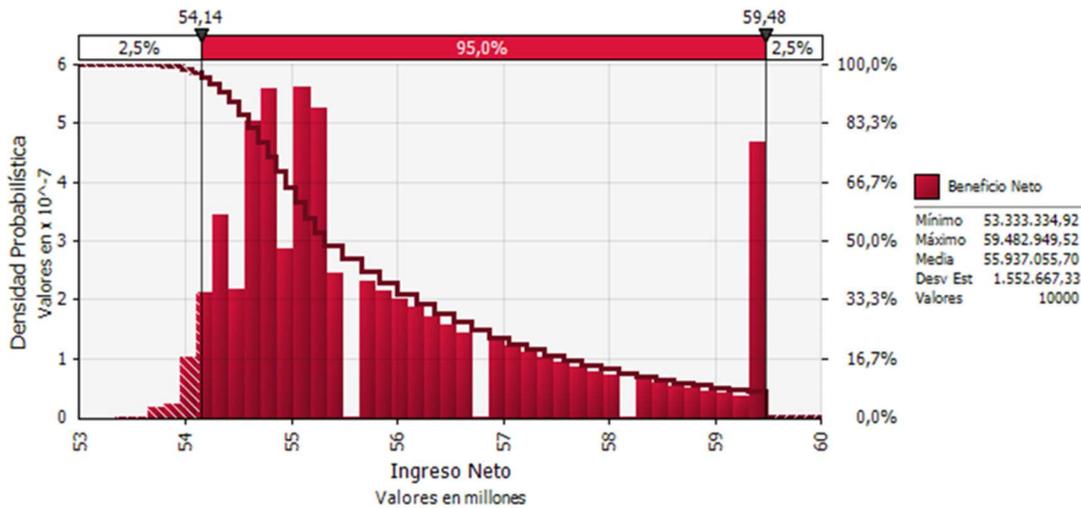


Figura 48. Variabilidad en la estimaci3n del beneficio neto con una mayor incertidumbre en los par3metros de promedio y desviaci3n est3ndar en la tasa de crecimiento diaria para 10,000 ciclos cerrados de producci3n.



Los resultados muestran que, para solo un ciclo de producción, con el hatchery produciendo a máxima capacidad se obtendría un interesante resultado con la operatividad en sólo 42 días aprox. Un nuevo ciclo podría ser comenzado posteriormente, aunque también cabe la posibilidad de distribuir la capacidad instalada del hatchery en la producción de cuerda inoculada de distintas especies. Este producto que a máxima capacidad el hatchery podría suministrar cuerda inoculada para un total de 220 hectáreas de cultivo en fase de mar.

El ejercicio, aunque hipotético, muestra la importancia de disponer de mayor cantidad de datos de ciclos cerrados y que si se dispusiera de una mayor base de datos sobre ciclos cerrados de producción en hatchery el análisis podría ser conducido sin dificultad.

5.2.3.2. Cultivo de *A. chilensis* en hatchery

Esta especie constituye la de más antigua data como objetivo de cultivo masivo en el país. Sin embargo, el cultivo se ha hecho casi exclusivamente a partir de material vegetativo (clones), distribuidos en gran parte de la costa donde se practica este cultivo, además, los cultivadores paulatinamente han ido seleccionando rasgos de interés lo que ha contribuido involuntariamente a generar una disminución de la diversidad genética (Guillemin et al. 2008). Esta situación ha sido percibida por algunos cultivadores como contraproducente, ya que, al efectuar podas sistemáticas en el tiempo en las praderas de cultivo, se observa que el desempeño del crecimiento en cultivo va disminuyendo.

Con base en lo anterior, se ha intentado reproducir el esquema empleado por Algas Marinas S.A. para la producción de *A. chilensis* (pelillo) en hatchery. Se reconoce que es un intento por reproducir el esquema productivo ya que no hay datos duros disponibles, sino sólo indicaciones de tiempos y producciones de biomasa aproximadas en dichos tiempos, pero se considera una oportunidad para explorar en este tipo de sistema productivo, que ha futuro puede ser optimizado con datos más concretos.

El esquema de producción de Algas Marinas S.A. implica una duración de alrededor de 9 meses de cultivo previo al cultivo masivo en fase de mar. Cada ciclo de producción se inicia con la recolección de material reproductivo de bancos naturales de baja o escasa explotación. Este material es llevado al hatchery⁵ donde es utilizado para la producción de esporas, de forma similar a lo propuesto por Alveal et al. (1997). Previamente, en el hatchery se han preparado 20 estanques⁶ de 2.000 lt de capacidad que contienen, cada uno, 30 bastidores rectangulares. Cada bastidor contiene 240 m de cuerda. Así el cultivo en hatchery implica la producción de 144 km de cuerda inoculada con esporas de pelillo. Para la inoculación, la parte superior del estanque es cubierta con el material reproductivo, las esporas son liberadas en el agua contenida en el estanque y las esporas se fijan a la cuerda (polipropileno de 4 mm de diámetro).

⁵ El hatchery consiste básicamente en un galpón cerrado de más o menos 15 x 15 metros.

⁶ Cada estanque es iluminado con un foco halógeno de 150 w de potencia las 24 horas del día.



En esas condiciones las cuerdas inoculadas permanecen tres meses, en este tiempo las plántulas pueden alcanzar una longitud de 1 mm. Posteriormente las cuerdas pasan a una segunda fase de cultivo que es llamada de “*nursery*”. En esta fase las cuerdas son llevadas al mar en un sistema de cultivo de fondo. El material vegetativo producido de esta manera es denominado F₁. Luego de seis meses en fase de “*nursery*”, cada cuerda de F₁ es sometida a una poda la cual produce alrededor de 8 kg de pelillo. Este material cosechado es llevado a planta donde es introducido entre tres nuevas cuerdas, las que son trenzadas mediante el uso de una máquina de encordado. Este material biológico de la F₁ es entonces transferido sin costo a pescadores artesanales orientados al cultivo, iniciando así el cultivo masivo en fase de mar. Se puede llegar a producir hasta 768.000 metros lineales de cuerda en condiciones de iniciar la fase de producción en el mar. En condiciones ideales, esta cantidad de cuerda con biomasa F₁ trenzada, podría generar una producción de aprox. 14.000 ton de pelillo al año, aunque en términos más realistas producen alrededor de 7.000 ton año⁻¹ (R. Rojas, com. pers). Anualmente se logran producir dos ciclos de F₁ en hatchery (en actividad entre febrero y septiembre).

Los costos generales para el equipamiento y funcionamiento del hatchery se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23.
Requerimientos de equipamiento para un hatchery productor de pelillo.

ITEM	Unidades	Costo (\$)	Costo Total	Depreciación (mensual)	Vida útil (años)
Autoclave	1	1.500.000	1.500.000	41.667	3
Microscopio	1	4.000.001	4.000.001	55.556	6
Balanza de precisión	1	200.000	200.000	5.556	3
Estanques 2000 lt cultivo	20	600.000	12.000.000	66.667	15
Tubos Halógenos 150 W	20	2.500	50.000	8.333	0,5
Bomba hidráulica toma de agua	1	2.000.000	2.000.000	166.667	1
Estanque 2000 lt acumulador agua	1	600.000	600.000	3.333	15
Filtro rotatorio	1	10000000	10.000.000	83.333	10
Estanque 20.000 lt	1	6.000.000	6.000.000	33.333	15
Bomba termo - plástica	1	800000	800.000	33.333	2
Filtro anilla	3	1053745	3.161.235	26.344	10
Sistema UV	4	611660	2.446.640	20.389	10
Blower	1	4238780	4.238.780	88.308	4
Bote	1	3.000.000	3.000.000	16.667	15
Motor	1	3500000	3.500.000	72.917	4
Total			46.996.656	722.401	
Total diario				24.080	



En términos de los requerimientos de sueldos en mano de obra, tanto para el hatchery propiamente tal y para la fase de “nursery”, se detallan en la Tabla 24.

Tabla 24.

Requerimientos en términos de sueldos en fase de hatchery y de nursery para el cultivo de pelillo.

HATCHERY			
Personal	Unidades	Costo Unitario	Total
Profesional	1	1.000.000	1.000.000
Técnico	1	750.000	750.000
Costo Mensual			1.750.000
Costo Diario			58.333

NURSERY			
Personal	Unidades	Costo Unitario	Total
Patrón	1	750.000	750.000
Buzos	3	600.000	1.800.000
Costo Mensual			2.550.000
Costo Diario			85.000

Para las estimaciones de costos se consideraron los ítems descritos en la Tabla 25 que incluyen los principales ítems involucrados para la fase de hatchery y de nursery.

Tabla 25.

Costos considerados en la modelación de la producción en hatchery y nursery de *A. chilensis*.

Código	Item
1	Costo Medio
2	Mano de obra Hatchery
3	Mano de obra Fase de Nursery
4	Depreciaciones
5	Consumo Electr. Lámparas
6	Consumo Electr. Bombas
7	Cuerda Hatchery
8	Cuerda Fase de mar



El costo total por ciclo producido se muestra en la Figura 49. Hasta el t3rmino de la fase de hatchery, el costo total asciende a aprox. MM\$ 14,7, mientras que hacia el final de la etapa de *nursery* el costo total asciende a aprox. MM\$ 45,6.

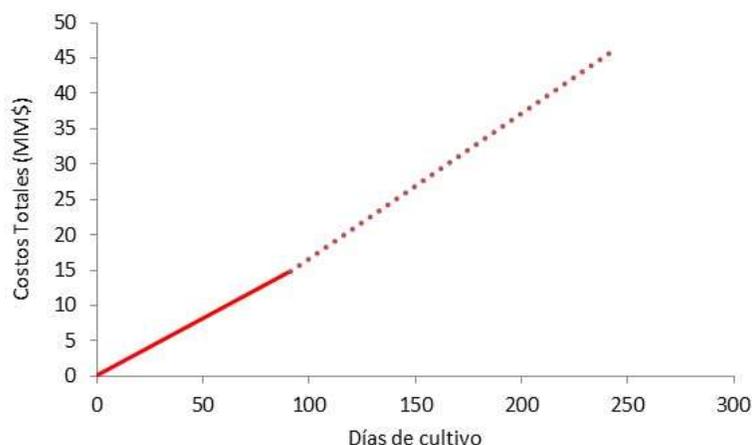


Figura 49. Costo acumulado para la producci3n de *A. chilensis* (pelillo). La l3nea roja gruesa indica la primera fase de cultivo en hatchery; la l3nea roja delgada representa al cultivo en fase *nursery*.

El costo medio de producci3n por metro lineal de cuerda inoculada puede ser observado en la Figura 50. Al momento del t3rmino de la primera fase de cultivo en hatchery, el costo medio por metro lineal asciende a \$104. En este mismo punto el precio de venta por metro lineal, considerando un margen de utilidad de 75%, debiera ser de \$181. En tanto al final de la etapa de *nursery* el costo medio y de venta por metro lineal ser3a de \$361 y \$632, respectivamente.

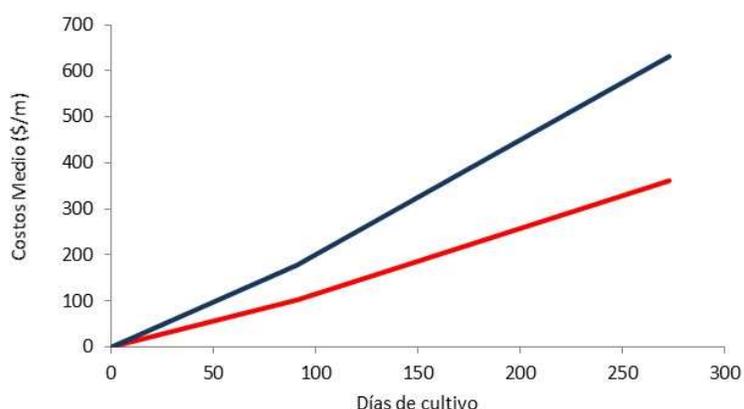


Figura 50. Costo medio de producci3n por metro lineal de cuerda inoculada (l3nea roja). La l3nea azul representa la curva de precio de venta, asumiendo un margen de utilidad de 75%. El punto de inflexi3n de las curvas representa el cambio de la etapa de hatchery a la de *nursery*.



En términos del costo medio por metro lineal de F₁, listo para la primera poda, los resultados (Figura 51) indican que éste asciende a aprox. \$ 361, de los cuales el 42% (\$152) se explica por el costo del metro de cuerda de polipropileno. El costo medio en mano de obra en fase de *nursery*, es el segundo costo más importante. Los costos asociados a la energía eléctrica implican un porcentaje bajo respecto del costo medio total por metro lineal de F₁ producida.

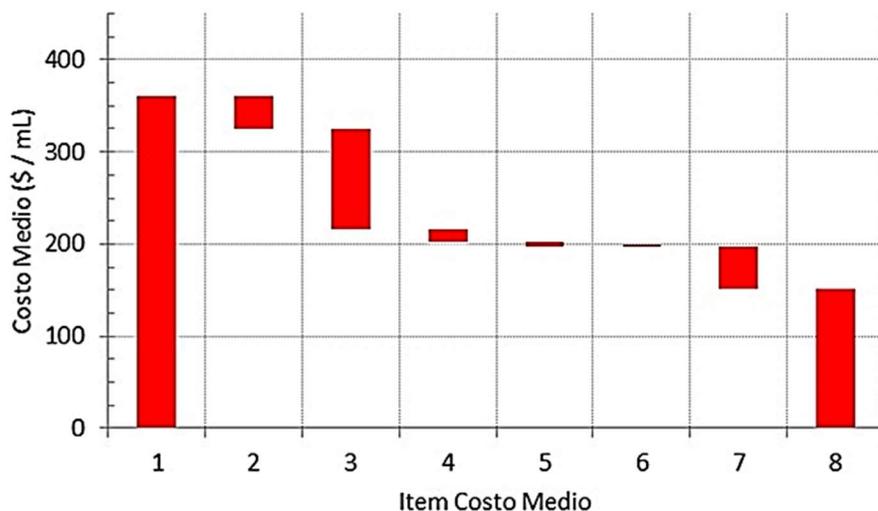


Figura 51. Costo medio de producción por metro lineal de F₁ de pelillo producida bajo el esquema de Algas Marinas S.A. (1) costo medio; (2) mano de obra en hatchery; (3) mano de obra en *nursery*; (4) depreciaciones; (5) consumo eléctrico lámparas; (6) consumo eléctrico bombas; (7) cuerda en hatchery; (8) cuerda en *nursery*.

5.2.3.3. Cultivo de *S. crispata* en hatchery

El hatchery tipo usado para modelar el cultivo de *S. crispata* es el que se indica en la sección 5.1.3 (Figuras 21 y 22). Para la producción se siguió un esquema similar al propuesto por Candía y Núñez (2013) para el cultivo de luga negra y luga roja. Dentro de la sala de incubación se pueden instalar hasta 14 estanques de fibra de vidrio con un volumen de 1.000 lts de capacidad (1 x 2 x 0,5 m). En cada uno de estos estanques se disponen horizontalmente 12 bastidores con 100 m de cuerda de polipropileno de 2 mm de diámetro. El material reproductivo (plantas cistocárpicas o tetraspóricas) se obtienen del medio natural y a partir de ellas se obtiene una suspensión de esporas. Estas esporas son “sembradas” directamente en los estanques con los bastidores y que contienen un volumen de agua de 0,3 m³ de agua de mar con una solución de nutrientes comercial. El cultivo debe permanecer dos semanas sin ningún recambio de agua. A partir de este punto, el agua enriquecida de los estanques se renueva cada 15 días, manteniendo a las plántulas por tres meses en el hatchery, luego de este periodo las cuerdas inoculadas pueden ser transferidas al cultivo en el mar (Candía y Núñez, 2013). Si las plántulas crecieran de acuerdo con lo esperado a partir de los resultados de Romo et al. (2011, Figura 33), las plántulas tendrían 38 µm de diámetro (Figura 52).

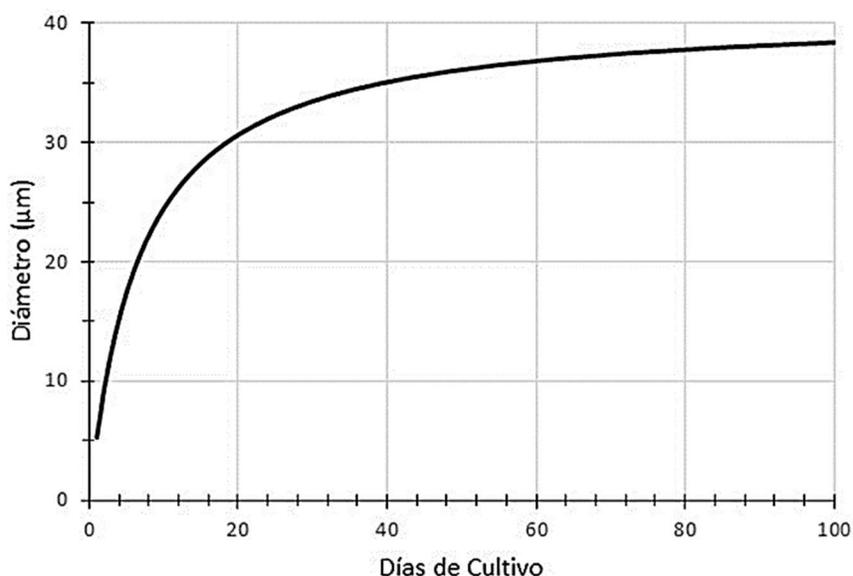


Figura 52. Crecimiento promedio esperado para plántulas de *S. crispata* en hatchery. La curva fue construida a partir de la ecuación ajustada a los datos experimentales de Romo et al. (2011).

Los requerimientos para la producción se detallan en la Tabla 26. Esta configuración está pensada en la producción de 16.800 metros lineales de cuerda por ciclo productivo (90 días). Esta producción por ciclo bastaría para cubrir una superficie de 13 hectáreas de cultivo.

Tabla 26.

Requerimientos de equipos para un hatchery productor de cuerda inoculada de *S. crispata*.

ITEM	Unidades	Costo (\$)	Costo total	Depreciación (mensual)	Vida útil (años)
Autoclave	1	1.500.000	1.500.000	41.667	3
Microscopio	1	4.000.001	4.000.001	55.556	6
Balanza de precisión	1	200.000	200.000	5.556	3
Estanques 1000 lt	14	499.800	6.997.200	38.873	15
Esterilizador UV	4	200.000	800.000	22.222	3
Tubos fluorescentes	300	40	12.000	2.000	0,5
Bomba hidráulica toma de agua	1	2.000.000	2.000.000	166.667	1
Filtro rotatorio		10.000.000	-	-	10
Estanque 20.000 lt	1	6.000.000	6.000.000	33.333	15
Bomba termo - plástica	1	800.000	800.000	33.333	2
Filtro anilla	3	1.053.745	3.161.235	26.344	10
Sistema UV	3	611.660	1.834.980	15.292	10
Blower	2	4.238.780	8.477.560	176.616	4
Total		31.104.026		617.458	
Total diario				20.582	



Eventualmente el blower podr3a ser omitido o reemplazado por uno de menor costo. Sin embargo, se ha preferido mantenerlo como equipamiento b3sico en la Tabla 26 pensando en que el hatchery eventualmente podr3a producir prop3gulos de otra especie que lo requiera.

Los costos asociados a nutrientes necesarios para enriquecer el agua de cultivo se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27.

Requerimientos en t3rminos de nutrientes necesarios por ciclo de producci3n de *S. crispata* en cuerdas inoculadas.

Requerimientos Medio de Cultivo	
Costo medio cultivo (\$/lt)	10000
Its medio / Its agua	0,0001
\$ medio / lt agua	1
Total lt agua ciclo	29.400
\$ Total requerido	29.400

Para desarrollar el modelo bio-econ3mico del hatchery se consider3 un total de 11 costos principales (Tabla 28), los que son los m3s representativos de esta fase de producci3n.

Tabla 28.

Principales costos considerados en la modelaci3n bio-econ3mica de la producci3n en hatchery de *S. crispata* en cuerdas inoculadas.

C3digo	Item
1	Costo medio
2	Mano Obra (\$)
3	Depreciaciones
4	Energ3a El3ctrica Bombas
5	Energ3a El3ctrica blower
6	Energ3a El3ctrica Split
7	Energ3a El3ctrica Tubos Fluorescentes
8	Medio de Cultivo
9	Tubo PVC
10	Cuerdas
11	Otros

El costo total por ciclo de producci3n asciende a aprox. MM\$ 9,6 (Figura 53).

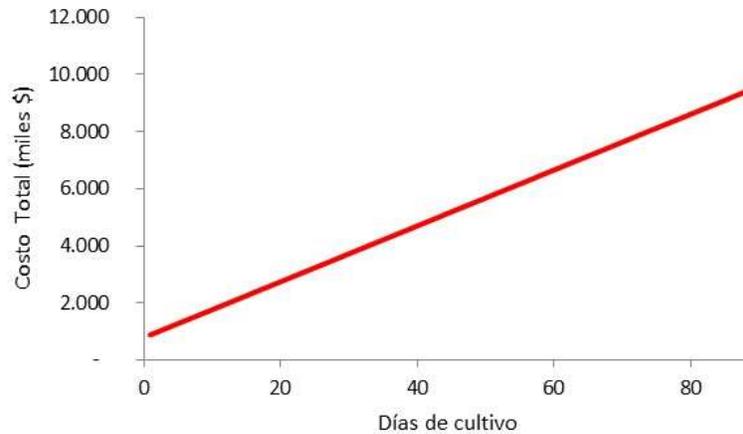


Figura 53. Costos totales de un ciclo de producci3n en hatchery de *S. crispata* en cuerdas inoculadas.

El costo medio de producci3n por metro lineal de cuerda inoculada se muestra en la Figura 54. Al d3a 90 de cultivo el metro lineal tendr3a un costo aproximado de \$ 567. Asumiendo un margen de utilidad de 75% ese metro lineal tendr3a un precio de venta de \$ 997. Este valor podr3a variar dependiendo del d3a en el cual se haga la transferencia a la fase de cultivo en el mar. Por ejemplo, los resultados representados en la Figura 52 indican que el diámetro promedio de las plántulas tiende a una asíntota a partir del d3a 50, lo que podr3a indicar que la superficie de sujeci3n a la cuerda no cambiará significativamente hasta el d3a 90. Esto implica un ahorro en términos de costo de producci3n y por consiguiente un menor valor de venta del metro lineal de cuerda inoculada. Adem3s, permitir3a incorporar un nuevo ciclo de producci3n en el hatchery, una vez que las instalaciones queden disponibles para una nueva siembra de cuerdas en los bastidores.

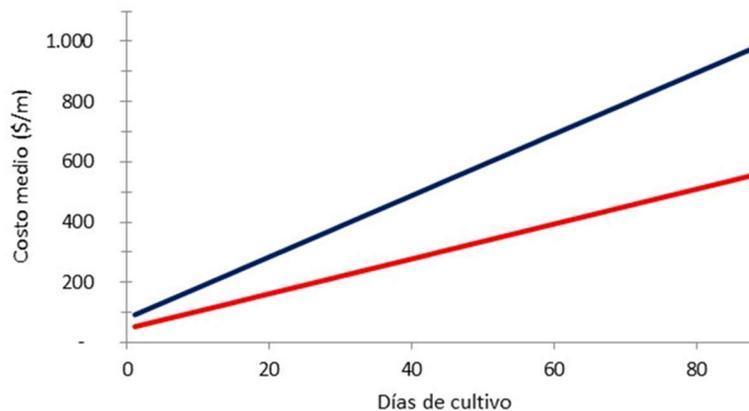


Figura 54. Costo medio de producci3n en hatchery de *S. crispata* por metro lineal de cuerda inoculada (línea roja). La línea azul representa la curva de precio de venta, asumiendo un margen de utilidad de 75%.



Al día 50, el costo total ascendería a MM\$ 5,6; el costo medio del metro lineal sería aprox. de \$ 337 y el precio de venta de \$ 590 (Figura 53 y 54). Lamentablemente, ni el trabajo de Werlinger et al. (2007), ni en el de Romo et al. (2001) sugieren algún diámetro medio óptimo para el traspaso a cultivo en fase de mar. Tampoco el documento de Candia y Núñez (2013) explican el porqué de mantener las cuerdas inoculadas hasta el día 90 en el hatchery.

En términos del análisis de costeo por metro lineal (Figura 55) se consideraron un total de 11 ítems, los que intervienen en la producción. Se observa que el costo medio total es explicado principalmente por cuatro ítems: mano de obra (\$ 311; 54,8%); depreciaciones (\$110; 19,3%); energía eléctrica para el blower (\$14,4; 10,1%) y el valor de la cuerda (\$ 45; 7.9%). Frente a estos ítems los demás tienen un aporte marginal al costo medio total por metro lineal producido.

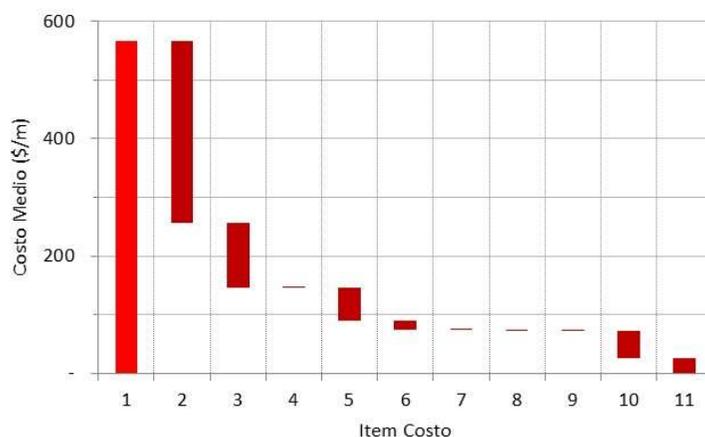


Figura 55. Análisis de costo por metro lineal de cuerda para el cultivo de *S. crispata*. (1) Costo medio total; (2) mano de obra; (3) depreciaciones; (4) energías bombas; (5) energía blower; (6) energía Split; (7) energía tubos fluorescentes; (8) medio de cultivo; (9) tubos PVC; (10) cuerda; (11) otros).

5.2.3.4. Cultivo de *C. chamissoi* en hatchery

Estructural y conceptualmente el cultivo en hatchery de *C. chamissoi* es idéntico al descrito previamente para *S. crispata*. La principal diferencia, de acuerdo con lo señalado por Candia y Núñez (2013) en su protocolo para el cultivo de estas especies, es que el periodo de permanencia de las cuerdas inoculadas en los estanques de cultivo es de cinco meses para el caso de *C. chamissoi*, en contraste con los tres meses sugeridos para *S. crispata*. La razón para este tiempo no se proporciona en su trabajo (Candia y Núñez, 2013) por lo que el uso de los modelos y parámetros de crecimiento descritos en la sección de ajuste de crecimiento no resulta de mucha utilidad. No existe un criterio definido que explique que alcanzado alguna característica en particular las plántulas pueden ser transferidas a la fase de cultivo en el mar. Los reportes acerca de cultivo en fase de mar para esta alga (Bulboa et al., 2005 y Macchiavello et al., 2017) indican que el cultivo en fase de mar fue iniciado utilizando talos vegetativos de 2 a 5 cm. No se encontraron reportes sobre esta fase de cultivo a partir de cuerdas inoculadas con esporas en laboratorio.



De acuerdo con los resultados reportados por vila et al. (2011) la longitud de las plántulas en las cuerdas inoculadas al día 150, sera de aprox. 33 mm de longitud (Figura 56). Sin embargo, 38 días antes las plántulas ya tienen 30 mm de longitud (Figura 56), o que en término de ahorro en esta fase de cultivo podría ser importante. Como se mencion3 anteriormente, se desconoce a qué tamaño sera adecuado trasladar las plántulas a la fase de cultivo en mar. En esta situaci3n, y para fines del modelamiento, se sigui3 la recomendaci3n de Candia y Nnez (2013) en el sentido de mantener el cultivo de las cuerdas inoculadas en el hatchery hasta el día 150.

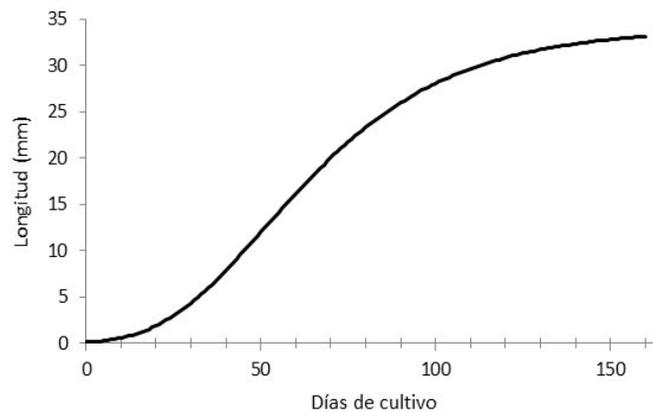


Figura 56. Crecimiento promedio estimado de plántulas de *C. chamosoi* cultivadas en laboratorio. La curva fue ajustada usando los resultados reportados por vila et al. (2011).

El costo total por ciclo de producci3n es de aproximadamente MM\$ 15 (Figura 57), mientras que el costo por metro lineal de cuerda inoculada sera de \$910. De esta manera, asumiendo una margen de utilidad de 75% por metro lineal el precio de venta alcanzara los \$ 1602 (Figura 58).

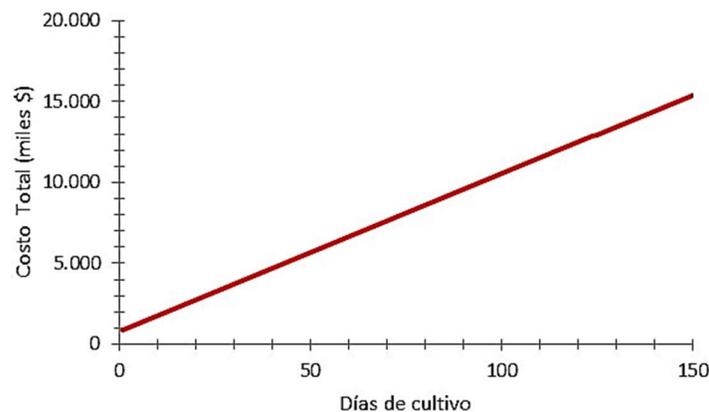


Figura 57. Costo total por ciclo de producci3n estimado para *C. chamosoi* con el sistema de cuerda inoculada, siguiendo las recomendaciones de Candia y Nnez (2013).

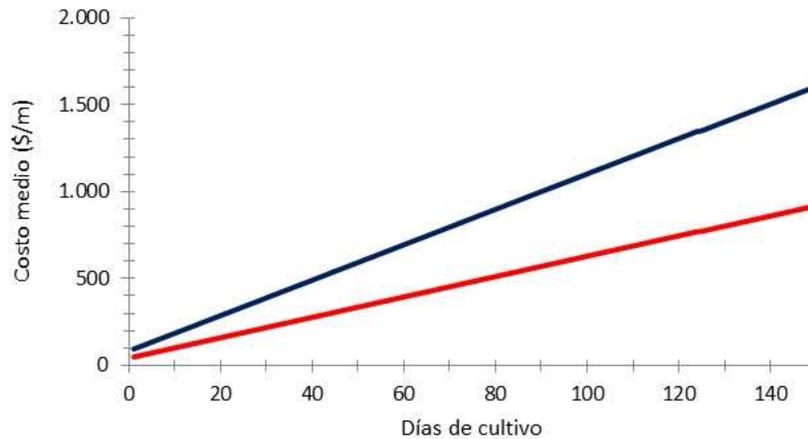


Figura 58. Costo medio de producci3n por metro lineal de cuerda inoculada de *C. chamissoi* generado en hatchery (lnea roja). La lnea azul representa el precio de venta por metro lineal, suponiendo un margen de utilidad de 75%.

En cuanto a la estructura de costos del costo medio por metro lineal de cuerda inoculada, al dfa 150 (Figura 59) se puede observar que el principal costo lo constituye la mano de obra (\$ 514, 56,5%), seguido de las depreciaciones (\$ 183; 20,1%) y el costo energtico producto del blower (\$ 95,3; 10,5%).

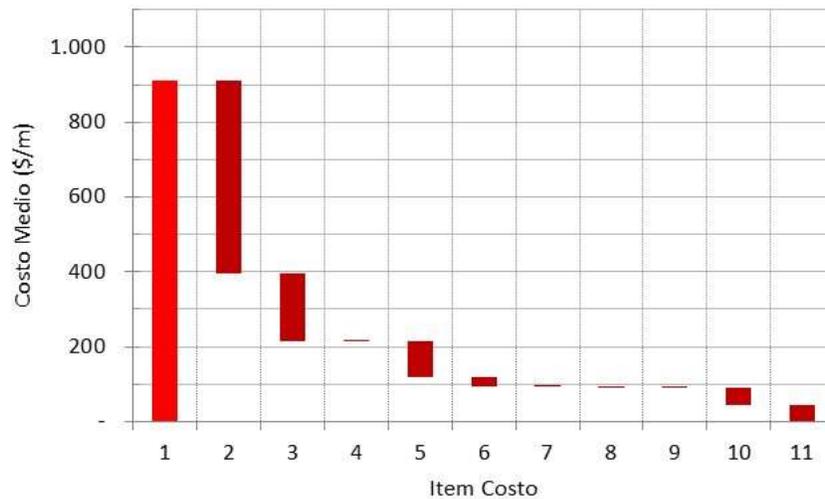


Figura 59. Anlisis de costo por metro lineal de cuerda para el cultivo de *Ch. chamissoi*. (1) Costo medio total; (2) mano de obra; (3) depreciaciones; (4) energas bombas; (5) energa blower; (6) energa Split; (7) energa tubos fluorescentes; (8) medio de cultivo; (9) tubos PVC; (10) cuerda; (11) otros).



5.3. Evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de OPA titulares de AMERB en la región de Los Lagos

5.3.1. Número de organizaciones encuestadas

La encuesta fue aplicada a 28 OPA, las que administran en forma individual 50 AMERB y 3 CCAA ubicadas en diferentes territorios de la región de Los Lagos (Costa Expuesta al Océano Pacífico, Mar Interior de Chiloé y Costa Este de la región de Los Lagos). Las AMERB administradas por las organizaciones entrevistadas representan un 32% de las AMERB en la Región de Los Lagos que tienen al menos un Estudio de Seguimiento ejecutado, por lo tanto, estarían en condiciones de desarrollar actividades de acuicultura al interior de ellas.

5.3.2. Ponderación de factores y sub-factores mediante panel de expertos

En la Tabla 29 se muestran los factores y sub-factores que se cuantificaron en el análisis y las ponderaciones de cada uno de ellos según el panel de expertos.

Tabla 29.
Factores, sub-factores y ponderaciones según panel de expertos.

Factores	Ponderación	Sub-factores	Ponderación
Potencialidades Organizacionales	50%	Acción Colectiva	48% (0,48)
		Relaciones Verticales	21% (0,21)
		Relaciones Horizontal	31% (0,31)
Total			100%
Potencialidades biofísicas	50%	Físico	50% (0,50)
		Natural	50% (0,50)
Total			100%

Esta tabla de ponderación de sub-factores permitió ajustar los porcentajes de desarrollo observados en cada organización entrevistada. De esta forma, cuando una organización alcanzó un “x” % de desarrollo en un sub-factor determinado, ese porcentaje fue ajustado con su correspondiente factor de ponderación, para luego comparar entre organizaciones el grado de desarrollo dentro del sub-factor evaluado.

5.3.3. Evaluación de Factor Potencialidades Organizacionales

5.3.3.1. Sub-Factor Capital Social – Acción Colectiva

Este sub-factor mide la capacidad de una organización en concretar objetivos comunes para el logro de metas colectivas. Se compone por capacidades y habilidades (capital humano), establecimiento de arreglos internos (e.g., “comisiones”) las que delegan responsabilidades para conseguir objetivos, el respeto por acuerdos y reglas, así como la propia evaluación de las relaciones internas (capital social).



El análisis del panel de expertos determinó que este sub-factor pondera un 48% del total Potencial Organizacional. Un 57% de las organizaciones entrevistadas (16/28 organizaciones) alcanzan desarrollo igual o superior al umbral (24%) para este sub-factor. Esto es un indicador de que ellas cuentan con las condiciones organizacionales internas necesarias para enfrentar un desarrollo tecnológico asociado al cultivo de algas. Las organizaciones bajo el umbral de 24% requerirían realizar un trabajo interno o asistido de fortalecimiento organizacional. La Tabla 30 presenta el ranking de este sub-factor para las organizaciones entrevistadas.

Tabla 30.

Porcentaje de desarrollo de sub-factor Capital Social – Acción Colectiva según organización

Nombre Organización entrevistada	% Desarrollo
S.T.I. ESTAQUILLA "EL FUTURO"	48
S.T.I. CALETA ROLLIZO ESTRELLA DEL SUR	42
S.T.I. SOTOMO	35
S.T.I. PUNTILLA QUILLON	35
S.T.I. BAHIA SAN PEDRO	34
S.T.I. "SAN ANTONIO" CHOLGO	34
S.T.I. DALCAHUE	33
S.T.I. MAR ADENTRO DEL RIO CHEPU	33
S.T.I. CALETA CHAUMAN	33
S.T.I. PICHICOLO	33
S.T.I. BUZOS, P. ARTESANALES Y RECOLECTORES DE ORILLA DE BAHIA MANSA	32
S.T.I. CALETA EL MANZANO	32
ASOCIACION INDIGENA HUILLICHE BUTA HUAPICHILHUE	31
S.T.I. LA PAMPINA	26
S.T.I. ESTERO DE COMPU	24
A.G. CALETA LA PASADA	24
S.T.I. ISLA TENGLO	23
A.G. "LOS PIQUES"	23
S.T.I. P. ARTESANALES, BUZOS Y RAMAS SIMILARES BAHIA MANSA	19
S.T.I. AUCHAC	19
S.T.I. PUNTILLA DE PICHICOLO	19
ASOCIACION INDIGENA CALETA CONDOR	16
ASOCIACION INDIGENA ANCALAO	16
ASOCIACION INDIGENA HUILLIN - CALETA MILAGRO	15
A.G. QUENUIR	15
S.T.I. COSTA AZUL	14
A.G. CALETA RIO HUEIHUE	14
S.T.I. ESTERO YALDAD	14

5.3.3.2. Sub-Factor Relaciones Horizontales

Este sub-factor mide relaciones que se establecen con otras organizaciones y/o instituciones dentro de su propia localidad, comunidades o caletas (otras organizaciones de pescadores, alcaldía de mar, etc.), son desarrolladas para lograr objetivos de la organización y funcionan como interrelaciones de colaboración y cooperación a nivel comunitario. Sin embargo, estas relaciones son establecidas por



los dirigentes con otras organizaciones y/o instituciones, es decir, son dinámicas ya que con los cambios de directivas varían las relaciones preexistentes. El análisis del panel de expertos determinó que este sub-factor pondera un 31% del total Potencial Organizacional. Para efectos de análisis, las organizaciones que presentaron un porcentaje mayor o igual al umbral 16%, logran el desarrollo de este sub-factor. El 68% de las organizaciones entrevistadas (19/28 organizaciones) alcanzan desarrollo igual o superior al 16% (definido como umbral) para este sub-factor, por otro lado, un 32% de las organizaciones (9/28) logran bajos niveles de relaciones horizontales (Tabla 31). En ambos casos se recomienda un fortalecimiento de lazos y relaciones internas dentro de las comunidades.

Tabla 31.

Porcentaje de desarrollo de sub-factor Relaciones Horizontales según organización.

Nombre Organización entrevistada	% Desarrollo
S.T.I. ESTAQUILLA "EL FUTURO"	31
S.T.I. CALETA ROLLIZO ESTRELLA DEL SUR	26
S.T.I. PUNTILLA QUILLON"	26
S.T.I. BUZOS, P. ARTESANALES Y RECOLECTORES DE ORILLA DE BAHIA MANSA	24
S.T.I. LA PAMPINA	22
S.T.I. COSTA AZUL	22
S.T.I. DALCAHUE	22
S.T.I. SOTOMO	21
S.T.I. PUNTILLA DE PICHICOLO	20
ASOCIACION INDIGENA HUILLIN - CALETA MILAGRO	20
S.T.I. "SAN ANTONIO" CHOLGO	20
S.T.I. AUCHAC	19
S.T.I. BAHIA SAN PEDRO	19
S.T.I. ISLA TENGLO	17
ASOCIACION INDIGENA ANCALAO	17
A.G. QUENUIR	17
S.T.I. ESTERO YALDAD	17
ASOCIACION INDIGENA HUILLICHE BUTA HUAPICILHUE	17
S.T.I. MAR ADENTRO DEL RIO CHEPU	16
S.T.I. CALETA EL MANZANO	15
S.T.I. PICHICOLO	15
A.G. CALETA LA PASADA	14
A.G. CALETA RIO HUEIHUE	12
S.T.I. P. ARTESANALES, BUZOS Y RAMAS SIMILARES BAHIA MANSA	12
S.T.I. ESTERO DE COMPU	12
S.T.I. CALETA CHAUMAN	10
A.G. "LOS PIQUES"	10
ASOCIACION INDIGENA CALETA CONDOR	7

5.3.3.3. Sub-Factor Relaciones Verticales

Este sub-factor mide el grado de desarrollo en relaciones que establecen las OPA con otras organizaciones y/o instituciones que están en un nivel gubernamental y/o FFAA, así como centros tecnológicos, empresas, consultoras, universidades u organizaciones no gubernamentales que se



encuentran fuera de sus localidades. Ellas permiten concretar objetivos de la organización (mayores probabilidades de éxito en gestiones, financiamiento público/privado). Sin embargo, estas relaciones al igual que las de tipo horizontal se logran debido a determinados tipos de dirigentes, es decir, también son dinámicas, ya que con los cambios de dirigencias se transforman las relaciones precedentes. El análisis del panel de expertos determinó que este sub-factor pondera un 21% del total Potencial Organizacional. Se definió como umbral de desarrollo de este sub-factor un valor mayor o igual a 11%. El 96% de las organizaciones entrevistadas (27/28 organizaciones) alcanzan desarrollo igual o superior al umbral para este sub-factor (Tabla 32).

Tabla 32.

Porcentaje de desarrollo de sub-factor Relaciones Verticales según organización

Nombre Organización entrevistada	% Desarrollo
S.T.I. ESTAQUILLA "EL FUTURO"	21
S.T.I. "SAN ANTONIO" CHOLGO	19
S.T.I. MAR ADENTRO DEL RIO CHEPU	19
S.T.I. CALETA ROLLIZO ESTRELLA DEL SUR	19
S.T.I. BUZOS, P. ARTESANALES Y RECOLECTORES DE ORILLA DE BAHIA MANSA	18
S.T.I. DALCAHUE	18
S.T.I. ISLA TENGLO	18
S.T.I. LA PAMPINA	18
A.G. CALETA LA PASADA	18
S.T.I. PUNTILLA QUILLON"	16
S.T.I. SOTOMO	16
S.T.I. PICHICOLO	15
S.T.I. PUNTILLA DE PICHICOLO	15
A.G. "LOS PIQUES"	15
S.T.I. ESTERO DE COMPU	15
A.G. QUENUIR	15
S.T.I. PESCADORES ARTESANALES, BUZOS Y RAMAS SIMILARES BAHIA MANSA	15
ASOCIACION INDIGENA HUILLICHE BUTA HUAPICHILHUE	14
S.T.I. AUCHAC	14
ASOCIACION INDIGENA ANCALAO	14
S.T.I. ESTERO YALDAD	14
S.T.I. BAHIA SAN PEDRO	13
S.T.I. COSTA AZUL	13
S.T.I. CALETA EL MANZANO	13
ASOCIACION INDIGENA HUILLIN - CALETA MILAGRO	12
S.T.I. CALETA CHAUMAN	12
A.G. CALETA RIO HUEIHUE	12
ASOCIACION INDIGENA CALETA CONDOR	10

5.3.3.4. Factor Potencialidades Organizacionales

El porcentaje de desarrollo de este factor dentro de cada organización corresponde a la suma del porcentaje de desarrollo de los sub-factores Capital Social/Acción Colectiva, Relaciones Horizontales y Relaciones Verticales. En términos generales, las organizaciones caracterizadas presentan altos



niveles de desarrollo del Factor Potencialidades Organizacionales, donde un 71% (20/28) de las organizaciones caracterizadas presentan niveles de desarrollo mayores o igual al valor definido como umbral, es decir 50% (Tabla 33).

Tabla 33.
Porcentaje de desarrollo de factor potencialidades organizacionales segun organizaci3n.

Nombre Organizaci3n entrevistada	% Desarrollo
S.T.I. ESTAQUILLA "EL FUTURO"	100%
S.T.I. CALETA ROLLIZO ESTRELLA DEL SUR	86%
S.T.I. PUNTILLA QUILLON"	77%
S.T.I. BUZOS, P. ARTESANALES Y RECOLECTORES DE ORILLA DE BAHIA MANSA	74%
S.T.I. "SAN ANTONIO" CHOLGO	73%
S.T.I. DALCAHUE	73%
S.T.I. SOTOMO	72%
S.T.I. MAR ADENTRO DEL RIO CHEPU	68%
S.T.I. BAHIA SAN PEDRO	66%
S.T.I. LA PAMPINA	66%
S.T.I. PICHICOLO	63%
ASOCIACION INDIGENA HUILLICHE BUTA HUAPICHILHUE	62%
S.T.I. CALETA EL MANZANO	60%
S.T.I. ISLA TENGLO	58%
A.G. CALETA LA PASADA	55%
S.T.I. PUNTILLA DE PICHICOLO	54%
S.T.I. CALETA CHAUMAN	54%
S.T.I. AUCHAC	52%
S.T.I. ESTERO DE COMPU	51%
S.T.I. COSTA AZUL	50%
A.G. "LOS PIQUES"	48%
A.G. QUENUIR	47%
ASOCIACION INDIGENA ANCALAO	47%
ASOCIACION INDIGENA HUILLIN - CALETA MILAGRO	47%
S.T.I. P. ARTESANALES, BUZOS Y RAMAS SIMILARES BAHIA MANSA	46%
S.T.I. ESTERO YALDAD	45%
A.G. CALETA RIO HUEIHUE	38%
ASOCIACION INDIGENA CALETA CONDOR	33%

Si bien se pueden distinguir varias organizaciones con un alto desarrollo del factor evaluado, se debe realizar un trabajo colaborativo que busque alternativas tecnol3gicas que posibiliten aprovechar sus potencialidades organizacionales para desarrollar iniciativas productivas que permitan contar con alternativas complementarias de ingreso. En este sentido, se sugiere vincular a las organizaciones con agentes de desarrollo tecnol3gico, para que las iniciativas generadas por las propias organizaciones puedan contar con factibilidad t3cnica. Por ejemplo, unas de las alternativas para territorios en contextos rurales es desarrollar sistemas de cultivo en tierra. En el caso de las zonas aisladas y con escaso suministro de energa el3ctrica, se puede considerar el uso de energas no convencionales, sin embargo, esto comporta una complejidad tecnol3gica que demandar3 mayores coordinaciones y sostenido acompa1amiento t3cnico. Por otro lado, se observan organizaciones con



un desarrollo del factor evaluado bajo el umbral (50%), las que en su mayoría se desenvuelven en contextos territoriales rurales con baja conectividad. Los bajos niveles de desarrollo en los sub-factores relaciones horizontales y verticales dentro de esas organizaciones podrían estar dados por la baja interrelación entre las entidades de apoyo a las organizaciones y sus dirigentes, explicando de alguna forma el bajo desarrollo alcanzado para este factor. Sin embargo, que estas organizaciones presenten menores niveles de desarrollo del Potencial Organizacional no significa que eventualmente tiendan al fracaso o estén imposibilitadas de realizar actividades de acuicultura, sino que en relación a otras sólo presentan los menores niveles. Lo que puede significar la acuicultura de pequeña escala en estos territorios con menores oportunidades de desarrollo productivo, es que se puede presentar como una atractiva oportunidad de complementar el ingreso a las actividades tradicionales preexistentes.

5.3.4. Evaluación de Factor Potencialidades Bio-físicas

5.3.4.1. Sub-Factor Condiciones Naturales

El sub-factor Condiciones Naturales ponderó el grado de exposición a viento del norte y/o sur oeste, el grado de heterogeneidad de la costa, la naturaleza del fondo y profundidad (por rango) de los sitios indicados como aptos dentro de una AMERB o CCAA administrada por alguna de las OPA entrevistadas. En dos entrevistas, la OPA entrevistada indicó que la AMERB o CCAA bajo su administración no contaba con condiciones naturales mínimas o no había interés para desarrollar APE. Se consideró como umbral de cumplimiento de este sub-factor un porcentaje igual o superior al 50%. En la Figura 60 se muestra la distribución de las AMERB y CCAA en donde las OPA entrevistadas indicaron la existencia de sitios aptos para actividades APE. En esa figura se distribuyen las AMERB y CCAA en función del desarrollo que cada una logra para el sub-factor Condiciones Naturales. La distribución de los sitios aptos dentro de las AMERB y CCAA indicados por las organizaciones entrevistadas muestra un claro patrón, en donde los porcentajes más altos coinciden con zonas relativamente protegidas (e.g., Estuario Reloncaví, Hornopirén, bahías interiores del mar interior de Chiloé, Seno de Reloncaví), mientras que los porcentajes más bajos corresponden a sitios ubicados en zonas expuestas de la costa del Océano Pacífico.

5.3.4.2. Sub-Factor Condiciones Físicas

El sub-factor Condiciones Físicas ponderó el nivel de equipamiento propio de la organización o de sus socios necesario para realizar tareas relacionadas a APE, la infraestructura habilitante en las caletas o lugares de operación habituales y las condiciones de entorno (camino, conectividad) con la que cuentan las organizaciones entrevistadas.

En análisis indica que todos los sitios indicados cuentan con condiciones habilitantes mínimas para realizar actividades de APE, logrando todas las organizaciones entrevistadas al menos un 50% de desarrollo para este sub-factor (Figura 61).

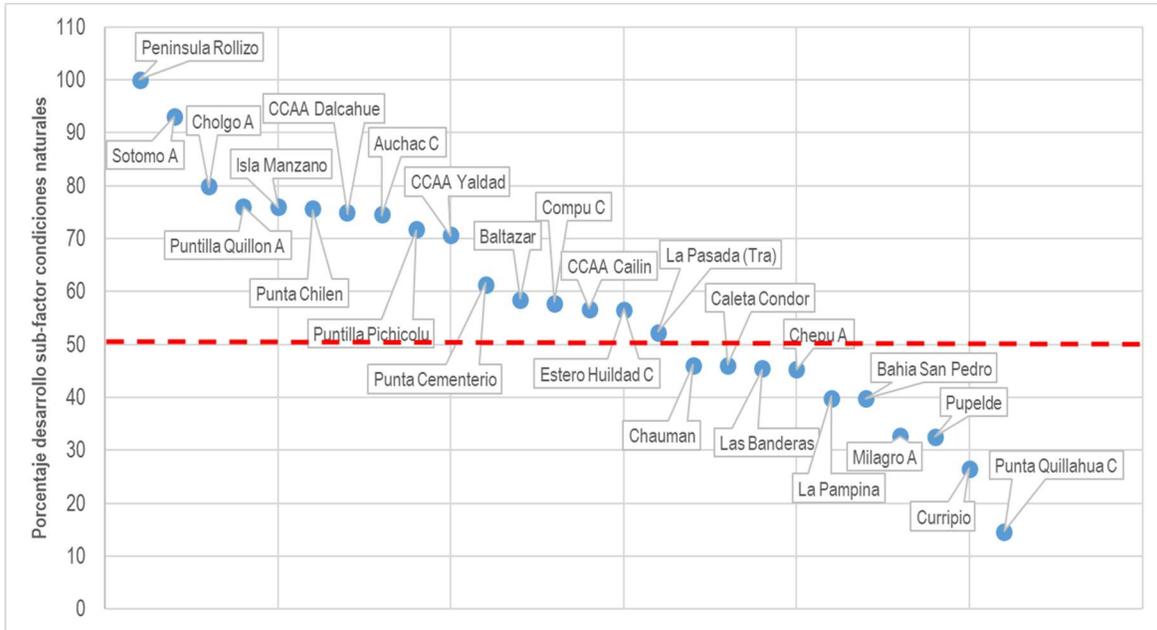


Figura 60. Distribuci3n de AMERB y CCAA en funci3n del desarrollo del sub-factor Condiciones Naturales. La lnea roja representa el umbral de desarrollo m3nimo para este sub-factor (50%).

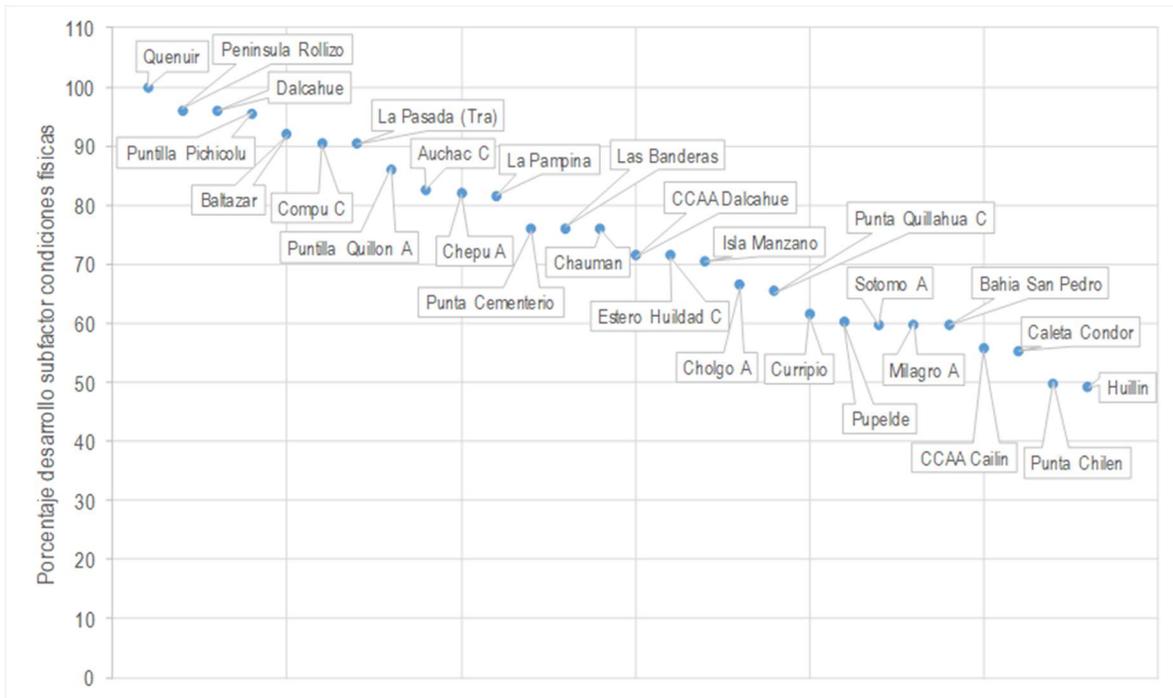


Figura 61. Distribuci3n de AMERB y CCAA en funci3n del desarrollo del sub-factor Condiciones F3sicas.



5.3.4.3. Factor Potencialidades Biofísicas

El porcentaje de desarrollo de este factor dentro de cada organización corresponde a la suma del porcentaje de desarrollo de los sub-factores Capital Natural y Capital Biofísico. Los resultados del desarrollo logrado por cada organización para este factor se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34.
Porcentaje de desarrollo de factor potencialidades biofísicas según organización.

Nombre Organización entrevistada	% Desarrollo
S.T.I. CALETA ROLLIZO ESTRELLA DEL SUR	100
S.T.I. SOTOMO	93
S.T.I. "SAN ANTONIO" CHOLGO	80
S.T.I. PUNTILLA QUILLON"	76
S.T.I. CALETA EL MANZANO	76
A.G. CALETA RIO HUEIHUE	76
S.T.I. DALCAHUE	76
S.T.I. AUCHAC	75
S.T.I. PUNTILLA DE PICHICOLO	72
ASOCIACION INDIGENA HUILLICHE BUTA HUAPICHILHUE	71
S.T.I. ISLA TENGLO	61
S.T.I. PICHICOLO	58
S.T.I. ESTERO DE COMPU	58
S.T.I. ESTERO YALDAD	57
S.T.I. COSTA AZUL	57
S.T.I. ESTAQUILLA "EL FUTURO"	52
S.T.I. CALETA CHAUMAN	46
ASOCIACION INDIGENA CALETA CONDOR	46
S.T.I. PESCADORES ARTESANALES, BUZOS Y RAMAS SIMILARES BAHIA MANSA	45
S.T.I. MAR ADENTRO DEL RIO CHEPU	45
S.T.I. LA PAMPINA	40
S.T.I. BAHIA SAN PEDRO	40
ASOCIACION INDIGENA ANCALAO	33
A.G. CALETA LA PASADA	32
S.T.I. BUZOS, PESCADORES ARTESANALES Y RECOLECTORES DE ORILLA DE BAHIA MANSA	26
A.G. "LOS PIQUES"	15

5.3.5. Análisis combinado de Potencialidades Organizacionales y Potencialidades Biofísicas

Con el fin de integrar los factores que determinan los elementos más básicos para el comienzo de la acuicultura en AMERB o CCAA, se realizó un análisis con los resultados de la cuantificación para las potencialidades organizacionales y biofísicas (Ver Tabla 33 y 34). Con ello, se realizó un ordenamiento en 4 cuadrantes (C1-C2-C3-C4) que se caracterizan por presentar condiciones diferentes:

- **C1:** OPA con potencialidades biofísicas y organizacionales aptas para comenzar un programa de transferencia tecnológica de desarrollo de APE en AMERB.



- **C2:** OPA que, si bien tienen potencialidades biofísicas, se necesita un apoyo en aspectos organizacionales para que adopten con mayor certeza las tecnologías de cultivos a pequeña escala.
- **C3:** OPA que poseen ambas potencialidades bajo el 50%, donde por un lado se deben buscar adecuaciones tecnológicas para sus zonas de emplazamiento y contribuir en el mejoramiento del capital físico mediante el acceso a infraestructura, equipamiento y mejores condiciones del entorno para facilitar los procesos productivos, y por otro lado se debe desarrollar fortalecimiento organizacional que permita contar con condiciones sociales adecuadas para una intervención socio-productiva de mediano y largo plazo.
- **C4:** OPA que, si bien cuentan con capacidades organizacionales que puedan asumir unidades de negocio diferentes a la extracción / recolección, como los cultivos a pequeña escala, sus condiciones biofísicas hacen que las entidades de transferencia desarrollen tecnologías adaptadas a zonas con mayores requerimientos físicos o se mejoren condiciones estructurales que faciliten la operación de cultivos como infraestructura vial, portuaria, entre otros.

En consecuencia, según el cuadrante donde cada OPA se disponga en el gráfico será la estrategia de desarrollo a seguir. En la Figura 62 se muestran los cuadrantes donde se posicionó cada una de las OPA analizadas según sus propias potencialidades Organizacionales y Biofísicas. En la Tabla 35 se entrega el listado de organizaciones por cuadrante.

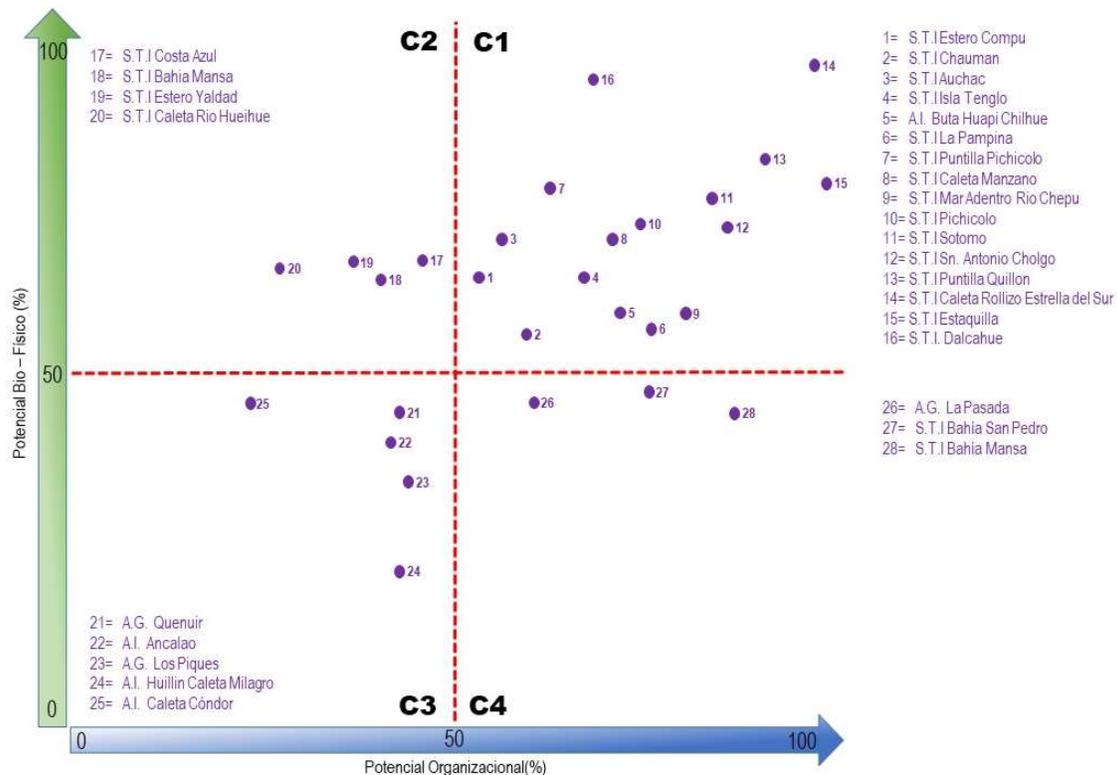


Figura 62. Interacción entre potenciales biofísicos y organizacionales, determinantes para el desarrollo de acuicultura a pequeña escala en AMERB o CCAA en la región de Los Lagos.



Tabla 35.
Listado de organizaciones por cuadrante.

Grupo	Nombre Organización entrevistada	Sector
C1 (56%)	S.T.I. CALETA ROLLIZO ESTRELLA DEL SUR	Península Rollizo
	S.T.I. PUNTILLA DE PICHICOLO	Puntilla Pichicolu
	S.T.I. PICHICOLO	Baltazar
	S.T.I. PUNTILLA QUILLON"	Puntilla Quillon A
	S.T.I. "SAN ANTONIO" CHOLGO	Cholgo A
	S.T.I. SOTOMO	Sotomo A
	S.T.I. DALCAHUE	CCAA Dalcahue
	S.T.I. CALETA EL MANZANO	Isla Manzano
	S.T.I. ISLA TENGLLO	Punta Cementerio
	S.T.I. ESTERO DE COMPU	Compu C
	ASOCIACION INDIGENA HUILLICHE BUTA HUAPICHILHUE	CCAA
	S.T.I. AUCHAC	Auchac C
	S.T.I. ESTAQUILLA "EL FUTURO"	Llico Bajo
	S.T.I. MAR ADENTRO DEL RIO CHEPU	Chepu A
	S.T.I. LA PAMPINA	La Pampina
S.T.I. CALETA CHAUMAN	Chauman	
C2 (21%)	S.T.I. P. ARTESANALES, BUZOS Y RAMAS SIMILARES BAHIA MANSA	Las Banderas
	A.G. CALETA RIO HUEIHUE	Punta Chilén
	ASOCIACION INDIGENA CALETA CONDOR	Caleta Condor
	S.T.I. COSTA AZUL	Estero Huidad C
	S.T.I. ESTERO YALDAD	CCAA
C3 (11%)	A.G. QUENUIR	Sin interés en APE
	ASOCIACION INDIGENA HUILLIN - CALETA MILAGRO	Huillin
	A.G. "LOS PIQUES"	Punta Quillahua C
C4 (11%)	ASOCIACION INDIGENA ANCALAO	Milagro A
	S.T.I. BAHIA SAN PEDRO	Bahia San Pedro
	S.T.I. BUZOS, P. ARTESANALES Y RECOLECTORES DE ORILLA BAHIA MANSA	Curripio
	A.G. CALETA LA PASADA	Pupelde

Del total de casos analizados, un 57% posee ambas condiciones habilitantes mayor a un 50% del máximo observado en la muestra. Por otro lado, un número importante (21%) de organizaciones/zonas está en la condición que a pesar de tener posibilidades naturales mínimas (50-65%), no poseen el sustrato organizacional para enfrentar estos desafíos. Un 11% está en el grupo que será dificultoso comenzar con ellos porque además de las condiciones biofísicas, presentan desafíos organizacionales. Finalmente, un 11% está en una condición de tener potencial organizacional suficiente para emprender estas actividades, sin embargo, sus zonas necesitan de tecnología para áreas de alta energía.



5.3.6. Análisis de condiciones de género en relación a la potencialidad en la implementación de APE por parte de OPA

Si bien la encuesta no se diseñó para evaluar *a priori* la condición de género como una variable de las OPA, ni en consecuencia, que pudiera ser un factor habilitante o facilitador en el contexto de la medición de potencialidades organizacionales y biofísicas con que cuentan las OPA para abordar actividades de APE, se realizó *a posteriori*, un análisis con información obtenida desde una fuente secundaria (Registro de Organizaciones Artesanales, Sernapesca) respecto del número de socios y socias de las OPA entrevistadas y si una mujer u hombre ejercía el cargo de presidente(a) de la OPA. En términos generales, se observa que la presencia de socias dentro de la OPA no se correlaciona con la magnitud de desarrollo del factor socio-organizacional (Figura 63). Sólo el 7,3% del desarrollo organizacional alcanzado por las OPA podría ser explicado por la proporción de mujeres dentro de cada OPA. Por lo tanto, la correlación entre el índice de desarrollo organizacional y el número de mujeres dentro de las OPA no es significativa ($p=0,18$), mostrando una baja correlación (Pearson=0,29). Se podría deducir de los datos de la muestra analizada que un mayor porcentaje de mujeres dentro de una organización no favorece de manera alguna la ubicación de una OPA en el Cuadrante C1 (Figura 62), que es donde se posicionaron las OPA que están por sobre un umbral de desarrollo de factores organizacionales y bio-físicos. Dicho de otra forma, se constató la presencia de socias en el 92% de las OPA entrevistadas que manifestaron interés en desarrollar actividades APE, sin embargo, un 35% del total de OPA entrevistadas (9 de 26) se posicionaron en los cuadrantes C2, C3 y C4, donde no se cumplen umbrales mínimos de desarrollo organizacional, bio-físico, o ambos.

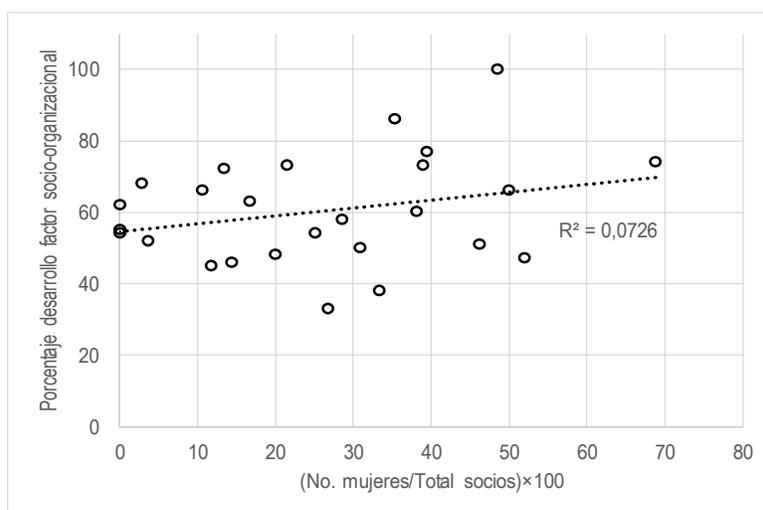


Figura 63. Relación entre composición porcentual de mujeres en las OPA entrevistadas versus grado de desarrollo de factor socio-organizacional.

Por otro lado, si centramos el análisis solo en las OPA que logran el desarrollo de factores organizacionales y bio-físicos por sobre un umbral mínimo (Figura 62; C1), y se cruza el grado de desarrollo del factor socio-organizacional con el porcentaje de socias en la OPA (Tabla 36), se



observan resultados discordantes. Por ejemplo, las OPA 13, 14 y 15 logran un alto nivel de desarrollo socio-organizacional y están constituidas entre un 35 y 48% por mujeres, sin embargo, las organizaciones 1, 7, 4, 8 y 6 logran niveles medios-bajos de desarrollo socio-organizacional a pesar de que la presencia de mujeres dentro de la OPA varía entre un 25 y 50%. En contraposición a lo descrito para esas OPA, se podría atribuir el bajo grado de desarrollo socio-organizacional de las OPA 2, 3, 5 a la baja presencia de mujeres dentro de la organización (menos del 5% del total de socios registrados para la OPA). Sin embargo, llama la atención que de las 5 OPA que lograron los más altos niveles de desarrollo del factor socio-organizacional, 3 sean conducidas por mujeres.

Tabla 36.

Lista de OPA entrevistadas ubicadas por cuadrante. Se indican número de socios, socias, total de integrantes OPA y el porcentaje de mujeres que constituyen la OPA en relación al porcentaje de desarrollo del factor socio-organizacional. Se indica además si el cargo de presidencia es ejercido por una mujer (1) u hombre (2).

Cuadrante	ID OPA	Nº Socios	Nº Socias	Total	%Mujeres/Total	% Desarrollo Organizacional	Presidente
1	15	35	33	68	48,53	100,00	1
1	14	11	6	17	35,29	86,00	1
1	13	23	15	38	39,47	77,00	2
1	12	11	7	18	38,89	73,00	1
1	16	33	9	42	21,43	73,00	2
1	11	26	4	30	13,33	72,00	2
1	9	34	1	35	2,86	68,00	2
1	6	6	6	12	50,00	66,00	1
1	10	25	5	30	16,67	63,00	1
1	5	33	0	33	0,00	62,00	2
1	8	26	16	42	38,10	60,00	2
1	4	20	8	28	28,57	58,00	2
1	7	18	6	24	25,00	54,00	2
1	2	14	0	14	0,00	54,00	2
1	3	26	1	27	3,70	52,00	2
1	1	14	12	26	46,15	51,00	1
2	17	18	8	26	30,77	50,00	2
2	18	18	3	21	14,29	46,00	2
2	19	15	2	17	11,76	45,00	2
2	20	16	8	24	33,33	38,00	2
3	23	32	8	40	20,00	48,00	2
3	22	13	14	27	51,85	47,00	2
3	25	22	8	30	26,67	33,00	2
4	28	5	11	16	68,75	74,00	2
4	27	17	2	19	10,53	66,00	2
4	26	75	0	75	0,00	55,00	2



5.3.7. Análisis integrado de resultados en función de una propuesta de modelo de gestión y producción asociados al desarrollo de la acuicultura de algas en AMERB y CCAA.

Los hatcheries a los cuales fue posible acceder para dimensionar sus capacidades productivas y costos de operación concentran su producción en 7 especies: 3 de algas pardas (*L. trabeculata*, *L. berteriana* y *M. pyrifera*) y 4 algas rojas (*C. chamosoi*, *A. chilensis*, *S. crispata* y *C. variegata*, ésta última en menor magnitud).

Con la excepción de *A. chilensis* (hatchery Algas Marinas S.A. de Ancud) y las especies del género *Lessonia* (hatchery Cultivos Marinos San Cristóbal), las actuales capacidades instaladas de los hatcheries estudiados no permitirían cubrir una demanda medianamente exigente (e.g., > 100 hectáreas) por parte de OPA que en diferentes territorios muestren interés en desarrollar acuicultura de algas. Esta capacidad de producción más bien limitada podría ser un obstáculo para promover la producción masiva de algas bajo un esquema APE en AMERB y CCAA administradas por OPA. Si bien la simulación bio-económica de la fase de hatchery se realizó bajo un supuesto de producción optimizado para varios recursos (ya sea cuerda inoculada con esporas o producción de plántulas vía free-floating), esta situación debe ponerse a prueba empíricamente, ya que los ciclos de producción son diferentes entre sí. Además, esta información en algunos casos aún no se genera si siquiera a escala experimental (varios ciclos de producción reportados en cuando a su variabilidad) o no es de acceso para fines de análisis (forma parte del *know-how* de la empresa privada). Se sugiere que esta brecha de información sea abordada al menos a una escala experimental, ya que la variabilidad entre ciclos de producción suele ser alta y resulta clave a la hora de recomendar o no el desarrollo del cultivo de cualquier recurso en particular.

El estudio respecto del costo de implementación de un hatchery básico para la producción de “plántulas o semillas” de algas constituye una inversión importante, ~3.400 UF (~MM\$95) en este estudio y 8.000-11.000 UF en Guisado et al. (2017). Lo que podría ser una barrera en la oferta de plántulas en zonas del país donde exista interés en desarrollar cultivos de algas, pero exista un déficit de infraestructura y/o proveedores de plántulas. Aún se deben realizar precisiones respecto del equipamiento mínimo que posibilite ofertar plántulas aplicando economía de escala para maximizar la producción.

Otro cuello de botella para el modelo de gestión y producción de algas en AMERB y CCAA aparece a raíz de los precios de venta proyectados para plántulas de algas. Al realizar simulaciones bajo algunos supuestos (e.g., superficie cultivada 10 ha, que es la máxima bajo un enfoque APE; 10 a 13 long-lines de 100 m por hectárea), solo los costos de inversión asociados a la compra de plántulas son elevados, fluctuando entre MM\$23 y MM\$62 en el caso de *M. pyrifera*. Los altos costos de inversión asociados a la compra de plántulas se explican porque en varias de las especies analizadas aún se desconoce la combinación de variables físico-químicas y configuración productiva que permita maximizar la producción en un hatchery “estándar” con el menor tiempo de duración de esta etapa, es decir, aplicar un enfoque de economía de escala que permita optimizar algunos costos fijos importantes (i.e., sueldos, energía, depreciación, sustrato para la fijación de espora o encordado de plántulas) a fin de maximizar la producción y bajar los costos. Además, aún existen vacíos de información o falta de



consenso respecto de lo que significa una plántula competente, es decir, un producto (e.g., metro lineal de cuerda inoculada con esporas o plántulas) que cumpla condiciones mínimas pero suficientes para pasar a una fase de engorda en el mar, reduciendo de esta forma los tiempos de producción en hatchery que por naturaleza implican costos más elevados. El origen geográfico del material reproductivo utilizado como fuente para la obtención de plántulas también es un factor de variabilidad. Estas brechas de información son necesarias de abordar en el corto plazo, para poder contar con estimaciones más reales de los costos de inversión en plántulas.

En cuanto a la fase de mar, existen elementos de la configuración productiva (e.g., reducción del costo de un long-line, disminución del costo de plántulas) que harían rentable algunos cultivos, como por ejemplo *M. pyrifera*. Para ello, es necesario abordar en profundidad aspectos de ingeniería (e.g., materiales, costos, resistencia en ambientes de alta energía) de sistemas de cultivo tipo long-line para poder asegurar estructuras de cultivo de calidad a bajo costo. En el caso de *C. chamissoi*, este recurso fue el que presentó los peores escenarios de desempeño económico en fase de agua de mar. Al esfuerzo de reducir los costos de infraestructura de cultivo (long-lines) y costo de las plántulas (este es el costo donde hay que dedicar los mayores esfuerzos), se suman las bajas productividades observadas (<800 g·m⁻¹). Una situación semejante se observa para *S. crispata*.

Estos resultados muestran que para configurar un modelo de gestión y producción eficiente y rentable asociado al desarrollo de acuicultura en AMERB y CCAA falta aún abordar brechas tales como:

- Reducción de costos en sistemas de cultivo, integrando investigación de tipo ingenieril que permita configurar long-lines u otro sistema de cultivo confiable y que pueda adaptarse a ambientes de diferente energía (e.g., norte de Chile o zonas más expuestas)
- Reducción de costos en producción o en el valor de compra de plántulas.
- Realizar investigación que permita mejorar la productividad de las especies a cultivar.

Finalmente, un componente esencial para asegurar el éxito en la implementación de políticas de promoción de APE, con énfasis en algas o en una combinación de algas y otros recursos hidrobiológicos de interés comercial, son las OPA, en cuanto al llamado a adoptar estas tecnologías. Los resultados obtenidos del análisis de una muestra de OPA de la región de Los Lagos indicaron que más de un 50% alcanza umbrales por sobre el mínimo en el desarrollo de los factores organizacional y biofísico. Se hace necesario para una adecuada propuesta de modelo de gestión y producción asociado al desarrollo de acuicultura en AMERB y CCAA generar procesos de levantamiento de información permanentes, con cobertura territorial adecuada, que diagnostiquen un número importante de OPA a través de herramientas metodológicamente aptas para evaluar aspectos como componente de género, temporalidad en faenas de pesca u otras labores, limitantes territoriales o económicas de las OPA, posibilidad de valor agregado, etc. Además, es necesario contemplar procesos de acompañamiento y transferencia tecnológica continuos y ajustados a las características de las OPA con las cuales se desea intervenir.



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

5.4. Obtención de semillas/plántulas de algas para cultivos

Semillas o plántulas de algas para la implementación de los cultivos pilotos (en el primer ciclo de cultivos) fueron obtenidas mediante compra de las algas huiro (*M. pyrifera*) y chicorea de mar (*C. chamissoi*) a un hatchery externo de la ciudad de Puerto Montt, región de Los Lagos. Para el caso de luga negra (*S. crispata*), la producción se realizó en el hatchery del Centro Experimental Hueihue del IFOP. Para el segundo ciclo de cultivos, se procedió de manera similar. A continuación, se detallan las etapas principales asociadas a la producción de cada alga en estudio.

5.4.1. Producción de huiro (*M. pyrifera*)

En el caso de huiro la técnica de obtención de plántulas correspondió a esporocultivo tipo free-floating. A continuación, se presenta el protocolo de producción de huiro utilizado por el proveedor externo (Algas Chile Spa, Figura 64).

5.4.1.1. Colecta de material reproductivo

Para inducir a la esporulación se requiere disponer de material biológico reproductivo maduro. El material reproductivo se recolecta mediante buceo e inmediatamente se debe almacenar bajo condiciones de humedad, oscuridad y de baja temperatura ($< 10^{\circ}\text{C}$). El contenedor puede ser una caja de poliestireno provisto de bolsas de congelamiento (gelpack) o bien un contenedor térmico tipo cooler. El transporte al laboratorio debe ser lo más rápido posible evitando la exposición del alga al aire y al sol. Las frondas reproductivas son fácilmente distinguibles, ya que, sobre la superficie de la hoja aparecen sectores de mayor pigmentación las cuales representan las zonas de concentración de esporas. Estos sectores de concentración de esporas se denominan "soros". Una vez que arriban las algas a laboratorio se debe proceder a la selección cualitativa de las frondas con mejor aspecto reproductivo. Se separan aquellos trozos adecuados y se lavan copiosamente con chorros de agua dulce para eliminar los epifitos adheridos sobre su superficie. Los epifitos son normalmente diatomeas bentónicas, protozoos, copépodos. Posteriormente los trozos de frondas lavados se enjuagan dos o tres veces con agua de mar estéril filtrada a $0,45\ \mu\text{m}$. Finalmente se secan y se dejan sobre un trozo de papel absorbente por un tiempo de 12 horas en oscuridad. Transcurrido este periodo los trozos de frondas se cortan con un bisturí o tijera en pequeños fragmentos y se depositan en un recipiente (placa petri, bolsa estéril) que contiene agua de mar estéril y enriquecida con medio nutritivo Provasoli.

5.4.1.2. Liberación de esporas

La liberación de esporas ocurrirá después de la rehidratación de las frondas y se evidencia por la aparición de coloración en el agua, de color amarillo-verdoso, alrededor de los fragmentos de frondas. La liberación de esporas se puede comprobar mediante la observación de muestras del agua en el



microscopio. Las esporas (zoosporas) poseen flagelos los cuales le otorgan a la célula una capacidad de movimiento que se extiende por 24 a 48 horas. Una vez que ha ocurrido una suficiente liberación de zoosporas se procede a retirar los fragmentos de frondas desde el recipiente conservando solamente las zoosporas. La suspensión de zoosporas colectadas se vierte en volúmenes conocidos en bolsas plásticas estériles.

5.4.1.3. Producción de esporofitos

Las zoosporas colectadas se mantienen en las bolsas plásticas quedando inmóviles por un periodo de 5 a 7 días a la espera que germinen y los gametofitos se fijen a las paredes de la bolsa plástica. Durante esta fase las condiciones ambientales que deben brindarse son: fotoperiodo: 16 horas luz y 8 horas oscuridad; Temperatura: 15°- 17°C; Iluminación: 2000 lux \approx 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$. Transcurridos los primeros 5-7 días, se vacía el agua de cada bolsa y luego se desprenden los gametofitos recién germinados, que se han fijado a la pared de la bolsa, realizando movimientos suaves, que permitan su desprendimiento, pero, al mismo tiempo que no los dañe. Los gametofitos durante esta fase inicial deberían haberse desarrollado y diferenciado en gametofitos masculinos y femeninos. Los gametofitos recolectados se transfieren mediante pipeteo a otra bolsa nueva conteniendo agua de mar fresca, estéril y enriquecida con medio nutritivo. El sistema se mantiene realizando renovación de agua y nutrientes cada 7 días hasta que se compruebe la presencia de esporofitos tempranos de aproximadamente 300 μm de longitud. Una vez asegurada la presencia de esporofitos por observación microscópica, el cultivo se transfiere a matraces o botellas de 2 litros dotadas de agitación constante mediante inyección de aire. El cultivo de esporofitos en suspensión se maneja realizando renovación de agua y nutrientes cada 7 días y manteniendo las condiciones ambientales (Fotoperiodo: 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad; Temperatura: 15-17 °C; Iluminación: 1800 – 2000 lux \approx 37 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$).

De acuerdo al crecimiento que experimenten los esporofitos y del incremento en densidad que es directamente dependiente del tamaño de la planta es que el cultivo debe escalarse a volúmenes mayores de 5 a 20 litros. En esta etapa de escalamiento se deben mantener condiciones constantes de agitación, temperatura, iluminación y nutrientes a fin de favorecer el crecimiento de los esporofitos. El proceso de producción de esporofitos se puede escalar a volúmenes mayores en estanques de fibra de vidrio. Durante esta fase de crecimiento los esporofitos son sensibles a las condiciones de cultivo impuestas y pueden registrarse procesos necróticos en los bordes de las frondas por efecto de intensidades no adecuadas de luz y agitación. Asimismo, la densidad debe vigilarse constantemente dado que la absorción de nutrientes ocurre a una tasa bastante rápida por lo cual el agotamiento de nutrientes puede afectar el crecimiento. En esta fase, o antes, el medio nutritivo Provasoli puede ser reemplazado por abono foliar.

5.4.1.4. Siembra de plántulas

Después que las plántulas alcancen un tamaño de 2 mm promedio salen a un sistema de flujo abierto y se mantienen en estanques de 5000 L, con un recambio cada 2 días de agua de mar. Después de un mes en estas condiciones de cultivo, el tamaño de las plántulas alcanza los 2-3 cm, facilitando su

manejo. A continuación, están en condiciones de ser encordadas y trasladadas a la fase de cultivo en el mar para su desarrollo y crecimiento.

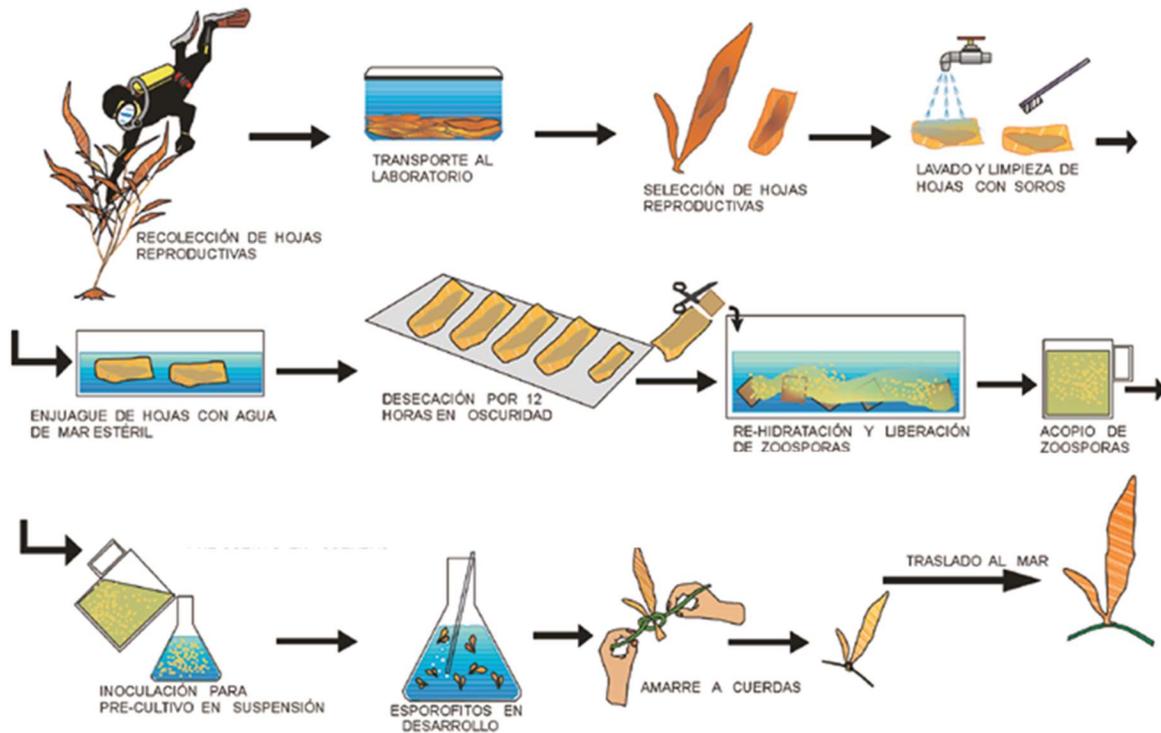


Figura 64. Esquema representando el protocolo de cultivo para producción de huiro utilizado por la empresa Algas Chile Spa.

5.4.2. Producción de chicorea de mar (*C. chamissoi*)

En el caso de chicorea, la técnica de obtención de plántulas correspondió a cultivo del tipo vegetativo. A continuación, se presenta el protocolo de producción de chicorea utilizado por el proveedor externo, Algas Chile Spa.

5.4.2.1. Colecta de material biológico

Material biológico es recolectado desde una pradera natural. Se estiman cantidades necesarias de unos 10 kilos para sostener un desarrollo de cultivo. Las algas son separadas de otras especies y epifitas, además, se eliminan plantas decoloradas (blancas) o en mal estado (verdes). Las algas pueden ser mantenidas en estanques con aireación constante, sombreados y con recambio de agua y limpieza cada 3 días.



5.4.2.2. Inoculación es sustratos

Talos de algas seleccionadas son fragmentadas por desgarre manual. Luego, las algas son introducidas en cabos, cubriendo en lo posible la totalidad de la superficie, con el objeto que las algas generen estolones y se fije completamente a la cuerda (Figura 65). Se proyecta que al ser cosechadas mantengan un remanente que les permita recuperar la biomasa para un nuevo ciclo productivo. Cabos inoculados se disponen en bastidores y en estanques de cultivo hasta su retiro.

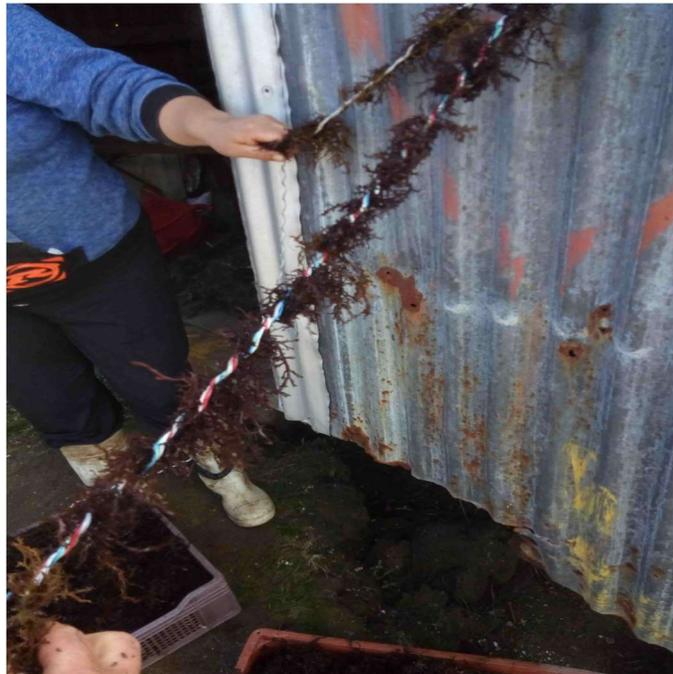


Figura 65. Siembra de chicorea de mar (Foto: Algas Chile Spa).

5.4.3. Producción de luga negra (*S. crispata*)

En el caso de luga negra, la técnica de cultivo en hatchery correspondió a esporocultivo. A continuación, se describe el proceso de producción basado en los protocolos desarrollados por IFOP (Candia et al. 2013; Candia & Núñez 2017).

5.4.3.1. Preparación de infraestructura de cultivo

Durante el mes de junio del 2017, se comenzó la producción de luga negra en el hatchery del Centro Experimental Hueihue del IFOP. Se habilitó un invernadero con tres estanques de fibra de vidrio y se prepararon los sustratos (bastidores) para la fijación de las esporas. Los bastidores se dispusieron de manera horizontal en el fondo de los estanques, los cuales contenían agua de mar filtrada a 1 μm (Figura 66).



Durante mayo de 2018, se inici3 un nuevo ciclo de producci3n de luga negra en el Centro Experimental Hueihue del IFOP, sin embargo, por motivos operacionales se opt3 por disminuir el n3mero de estanques de fibra de vidrio y aumentar el n3mero de bastidores por estanque, aumentando tambi3n la cantidad de cuerda (sustrato) por bastidor para la fijaci3n de esporas. La disposici3n de los bastidores se mantuvo como lo indicado en la temporada 2017.



Figura 66. Habilitaci3n de hatchery y preparaci3n de bastidores para cultivo v3a esporas de luga negra.

5.4.3.2. *Colecta de material biol3gico*

Para ambos per3odos de producci3n de cuerdas inoculadas con esporas de luga negra (2017-2018), se recolect3 mediante buceo material reproductivo desde praderas en un sector cercano a Ancud, Chilo3. El alga se traslad3 hasta el hatchery donde se separ3 la fase a cultivar (se separaron frondas con cistocarpos maduros, las cuales al liberar sus esporas (carposporas) originar3n peque1as plantas tetraesporicas, que constituyen la fase de inter3s para el cultivo). Las algas se limpiaron de ep3fitos e impurezas lavando con agua de mar filtrada (1 μm) en repetidas ocasiones.

5.4.3.3. *Liberaci3n y siembra de esporas*

Para ambos per3odos de producci3n de cuerdas inoculadas con esporas de luga negra (2017-2018), frondas seleccionadas (frondas con cistocarpos maduros) y limpias se deshidrataron; coloc3ndolas entre papel absorbente hasta observar manchas de color marr3n (esporas) sobre el papel. Una vez que esto ocurri3 las frondas se rehidrataron. La rehidrataci3n se realiz3 en baldes con agua de mar filtrada (1 μm) 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 μm 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 67). Dichos bastidores se mantuvieron por aproximadamente 7 d1as, luego de lo cual, se repiti3 el proceso de liberaci3n de esporas para su fijaci3n en el lado contrario del bastidor.



Figura 67. Deshidrataci3n de frondas de luga negra *S. crispata*, filtraci3n de la suspensi3n de esporas y siembra sobre bastidores.

5.4.3.4. Control de adhesi3n de esporas sobre cuerdas y crecimiento en invernadero

Para los per1odos de producci3n 2017 y 2018, los cultivos inicialmente permanecieron 15 d1as sin cambio de agua de mar, para favorecer la adhesi3n de las esporas a la cuerda. Pasado este per1odo, se comprob3 el estado de fijaci3n de las esporas en las cuerdas (Figura 68A). Para el per1odo 2017 la densidad promedio de esporas fijadas en las cuerdas de los bastidores fue de 7 ± 5 (promedio \pm DS) por cent1metro lineal, mientras que para el per1odo 2018 la densidad de fijaci3n de las esporas fue de 16 ± 9 (promedio \pm DS) esporas cm^{-1} lineal. Luego de verificada la adhesi3n de esporas sobre las



cuerdas, se renov3 el agua de los estanques cada 15 d3as, enriqueci3ndola en cada ocasi3n con nutrientes comerciales. Tanto para la temporada de producci3n 2017 como 2018, los bastidores con cuerdas inoculadas fueron mantenidos horizontalmente por aproximadamente 3 meses en invernadero. Para el per3odo de producci3n 2018, y con el fin de acelerar el crecimiento de las esporas en invernadero, se trasladaron los bastidores a un estanque para ser mantenidos en forma vertical, con suministro de aire, temperatura de 13 ± 1 °C, mejoramiento de las condiciones de irradiancia y recambio cada 15 d3as de agua de mar (Figura 68B). En esta condici3n los bastidores fueron mantenidos por un per3odo de 60 d3as.

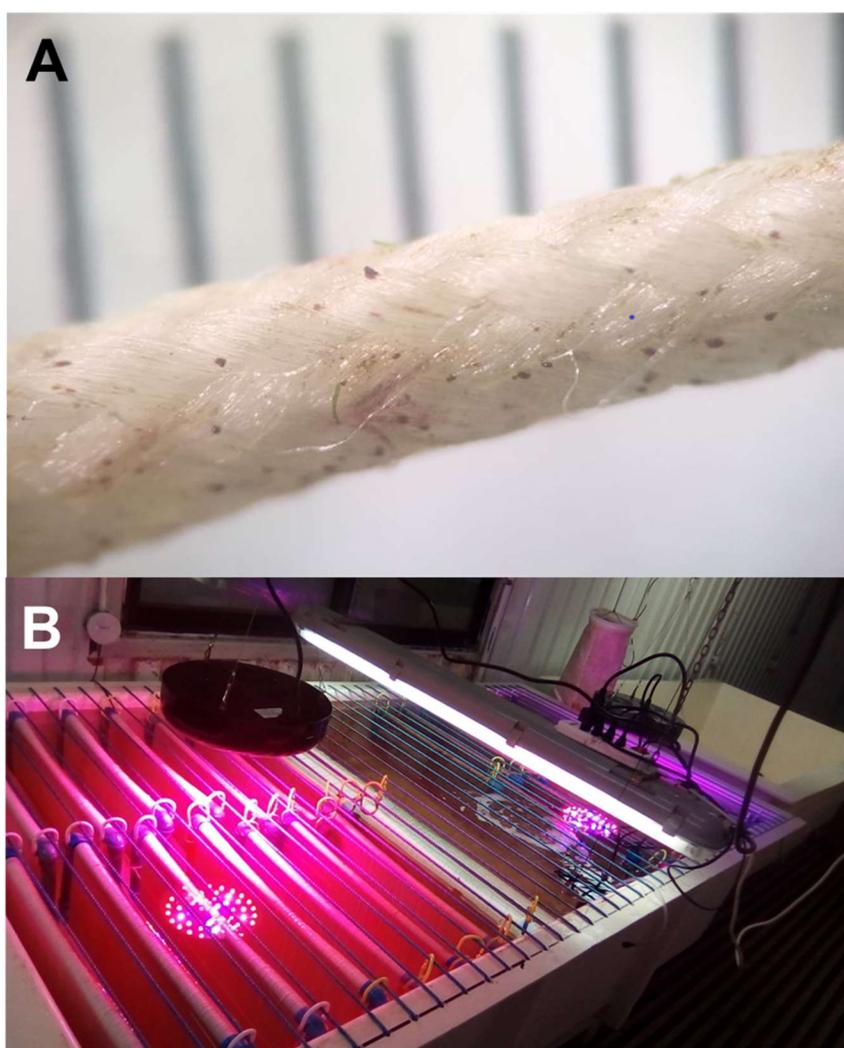


Figura 68. A) Fijaci3n de esporas de luga negra *S. crispata* en l3nea. B) Sistema de mantenci3n vertical para bastidores con esporas de luga negra usado en per3odo 2018.



5.4.3.5. Traslado de cuerdas inoculadas desde invernadero a sistema de long-lines

Una vez que las esporas inoculadas sobre la cuerda completaron su fase de desarrollo en invernadero, la cuerda fue desenrollada de los bastidores y cortada en trozos de 1,4 m de longitud. Para las temporadas 2017 y 2018 se prepararon 250 trozos de 1,4 m de longitud por long-line. Se dispusieron de 2 long-line por sitio de cultivo (Dalcahue y Auchac). Cada uno de los trozos de 1,4 m de largo son dispuestos en forma vertical en la línea de cultivo, separados entre sí por 40 cm. Uno de los extremos de la cuerda inoculada con esporas es amarrada a la línea madre del long-line, mientras el otro extremo es mantenido en forma vertical en la columna de agua por medio de una pequeña piedra contenida dentro de una bolsa, la cual es amarrada en el otro extremo de la cuerda.

5.4.4. Producción de huiro palo (*L. trabeculata*)

Para la actividad de cultivo y repoblación de *L. trabeculata* en AMERB Chungungo B, se realizó la compra de cabos inoculados con plántulas al Laboratorio de Botánica Marina de la Universidad Católica del Norte, quienes bajo la plataforma comercial de AquaPacífico proveen de este material biológico. Esta plataforma que surge de la alianza de dos instituciones que llevan más de 30 años desarrollando este ámbito científico-productivo: la Universidad Católica del Norte (UCN) y Fundación Chile (FCh). Con el apoyo de CORFO, se concretó esta unión de capacidades, para funcionar como una nueva plataforma que impulse la acuicultura tanto regional como nacional. AquaPacífico contempla en forma especial el fomento de la acuicultura de pequeña escala, actividad que involucra la participación de asociaciones de pescadores artesanales, y pequeños y medianos emprendedores. Se llevaron a cabo dos reuniones para dar a conocer detalles de la actividad de cultivo y repoblación en el sitio de estudio y señalar los puntos relevantes, como la procedencia de los reproductores, coordinación en la obtención documentos de transporte del material y alcances en materia de permisos a la institucionalidad involucrada. Luego AquaPacífico generó una propuesta de trabajo con la cual finalmente se trabajó (Anexo 3).

5.4.4.1. Obtención de material reproductivo

El material reproductivo fue obtenido el día 2 de junio desde el AMERB Chungungo D (factura y visación en Anexo 3) ubicada cerca del AMERB Chungungo B en donde se llevará a cabo la actividad (Figura 69). En el área de manejo Chungungo D, existe una pradera de *L. trabeculata*. En el año 2015, el seguimiento N° 10 del AMERB indica una abundancia de 67.209 ind con una biomasa de 385.248 kg. La obtención de este material se realizó por buceo semiautónomo.

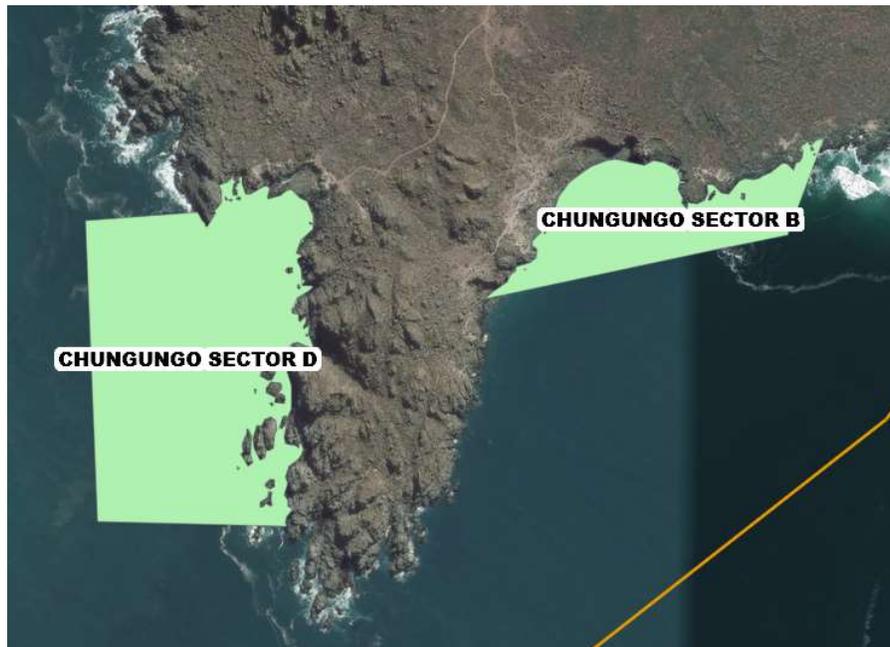


Figura 69. Ubicaci3n de AMERB Chungungo D, donde se obtuvo el material reproductivo.

5.4.4.2. Producci3n de cuerdas inoculadas con pl3ntulas

Luego de la recolecci3n, el material reproductivo fue transportado en una caja t3rmica con agua de mar y gel packs para la mantenci3n de la temperatura al laboratorio de los proveedores de pl3ntulas donde fueron esporuladas para la inoculaci3n de cabos. La t3cnica empleada para la producci3n de las micropl3ntulas de *L. trabeculata* se bas3 en el esporocultivo en sustrato artificial. El material reproductivo fue tratado en laboratorio para garantizar la calidad de los cabos inoculados en t3rminos de no tener presencia de epifitas u otros organismos que interfieran en el crecimiento del alga. El producto final consisti3 en segmentos de 10 m de cabo de polipropileno de 6 mm. Este tipo de t3cnica de utilizaci3n del cabo inoculado ha sido registrado por Macchiavello *et al.* (2010). El cultivo de la etapa sexual microsc3pica del ciclo de vida de esta especie se realiz3 en condiciones controladas empleando una c3mara de ambiente controlado. A una temperatura de 13 °C se mantiene por 60 d3as los sustratos inoculados en agua de mar microfiltrada. Lo anterior permite tener las condiciones adecuadas para la formaci3n de la etapa asexual o esporofito. Durante la 3ltima etapa del cultivo que dur3 30 d3as, se llev3 a cabo en estanques al aire libre. Se mantienen las micropl3ntulas con flujo de agua de mar constante y se controla la calidad del agua mediante la utilizaci3n de una bater3a de filtros.

Luego de 60 d3as en laboratorio, los cabos inoculados con micropl3ntulas de 0,5 mm de longitud con una densidad esperada de 100 pl3ntulas por cm de cabo, fueron llevados a estanques de engorda por aproximadamente 30 d3as m3s. Se adquirieron 200 metros de cuerda inoculada con tetraesporofitos de *L. trabeculata*.



5.5. Seguimiento de cultivos pilotos de algas en la región de Los Lagos

5.5.1. Gestión de permisos

La Solicitud de acuicultura experimental de algas en la CCAA del sitio Dalcahue fue aprobada mediante R. Ex. N°2626, 2018 (Anexo 4).

Para el AMERB de Auchac, sector C (administrada por el Sindicato de Trabajadores Independientes, Pescadores Artesanales, Algueros, Buzos mariscadores y ramos afines) que ya poseía un permiso de acuicultura en AMERB para el cultivo de huiro (*M. pyrifera*) (R. Ex. N°1747, 2017; Anexo 4), se obtuvo una modificación de proyecto técnico que autorizó actividades de acuicultura para las especies luga negra (*S. crispata*) y chicorea de mar (*C. chamissoi*) (R. Ex. N°4222, 2018; Anexo 4). Esta tramitación fue apoyada por Ko Austral Ltda, consultora del AMERB.

En el Anexo 4 se presentan diagramas de flujo de pasos y documentos requeridos para la tramitación de permisos de acuicultura en AMERB (i.e., AEAMERB y AAMERB) y CCAA, además de una estimación de tiempos y costos asociados a su obtención.

5.5.2. Instalación de sistemas de cultivo

La implementación de los sistemas de cultivo se comenzó durante el mes de septiembre en la localidad de Dalcahue y en diciembre del 2017 en la localidad de Auchac. Para el caso de Dalcahue, la instalación del sistema de cultivo (i.e., 10 líneas de cultivo) comenzó con 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 mitílidos 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 presentasen problemas por la amplitud de mareas que se registra en el canal Dalcahue, lo que podría generar problemas con la siembra de las plántulas (Figura 70). En Auchac, se instalaron 10 líneas de cultivo. En este caso, la instalación de fondeos fue liderada por los propios socios de la OPA y de manera similar a lo explicado anteriormente.

5.5.3. Traslado y siembra de plántulas. Primer ciclo de cultivo

Una vez implementadas los sistemas de cultivo, se procedió a la instalación o siembra de las plántulas. Líneas inoculadas con plántulas fueron transportadas vía terrestre, en cajas de poliestireno y en condiciones de temperatura controlada, para disminuir el riesgo de pérdida o deterioro de las plántulas (Figura 71), desde la ciudad de Puerto Montt y Hueihue, dependiendo la especie. La instalación en ambos sitios se realizó con la participación de miembros de las OPA.



Figura 70. Proceso de instalaci3n del sistema de cultivo de algas en canal Dalcahue, Isla de Chilo3.



Figura 71. Traslado de pl3ntulas de algas al sitio de cultivo en canal Dalcahue, Isla de Chilo3.



En el sitio Dalcahue, y para el caso de luga negra, a mediados de octubre del 2017, se trasladaron cabos de polipropileno (2 mm diámetro x 1 m longitud) inoculados con esporas (7 ± 5 esporas cm^{-1}), las que fueron instaladas desde un extremo del cabo a la línea madre, quedando de forma vertical a la columna (i.e., cultivo con cuelgas verticales). Se dispusieron 10 cabos por metro de línea madre, totalizando 1500 cabos distribuidos en 3 líneas madre (Figura 72 A-B). Para chicorea (*C. chamissoi*), a mediados de octubre del 2017, se trasladaron cabos de polipropileno (4 mm diámetro x 5 m longitud) con material vegetativo entrelazado (i.e., inóculos) (10 plántulas m^{-1} , $39,4 \pm 11,6$ g m^{-1}), las que fueron instaladas de manera horizontal a la línea madre mediante el uso de amarracables (i.e., cultivo horizontal). Se dispusieron un total de 60 cabos distribuidos en 3 líneas madre (Figura 72 C-D). Para el caso de huiro (*M. pyrifera*), a fines de septiembre, se trasladaron cabos de polipropileno (4 mm diámetro x 10 m longitud) inoculados con plántulas entrelazadas (10 plántulas m^{-1} , $0,08 \pm 0,06$ g m^{-1}), las que fueron instaladas de manera horizontal a la línea madre mediante el uso de amarracables (i.e., cultivo horizontal). Se dispusieron un total de 40 cabos distribuidos en 4 líneas madre (Figura 72 E-F).

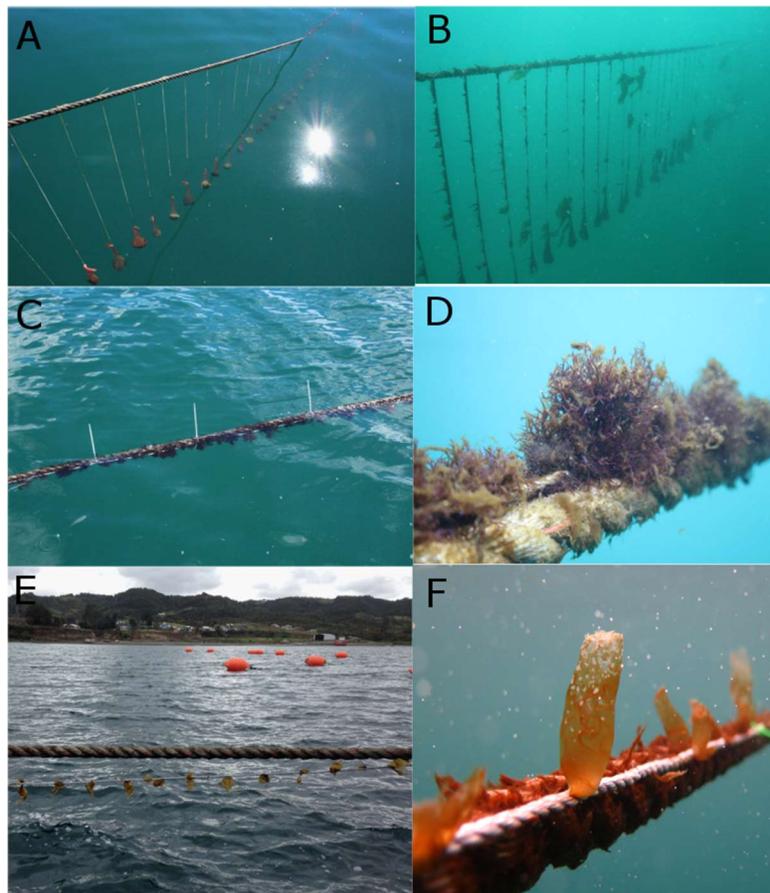


Figura 72. Siembra de plántulas en las líneas de cultivo, sitio Dalcahue, primer ciclo de cultivo. Se observan cada una de las especies durante la siembra (izquierda) y el primer monitoreo (derecha). A-B) luga negra, C-D) chicorea de mar, E-F) huiro.



En el sitio Auchac, a mediados de diciembre del 2017, se trasladaron cabos de polipropileno (4 mm diámetro x 5 m de longitud) con material vegetativo entrelazado (i.e., inóculos) (10 plántulas m^{-1} , $33,8 \pm 7,5 g m^{-1}$), las que fueron instaladas de manera horizontal a la línea madre mediante el uso de amarracables (i.e., cultivo horizontal). Se dispusieron un total de 60 cabos distribuidos en 3 líneas madre (Figura 73). Para el caso de luga negra, también a mediados de diciembre del 2017, se trasladaron cabos de polipropileno (2 mm diámetro x 1 m de longitud) inoculados con esporas (7 ± 5 esporas cm^{-1}), las que fueron instaladas desde un extremo del cabo a la línea madre, quedando de forma vertical a la columna (i.e, cultivo con cuelgas verticales). Se dispusieron 10 cabos por metro de línea madre, totalizando 1500 cabos distribuidos en 3 líneas madre. Por problemas de disponibilidad de plántulas de huiro no se pudo realizar el cultivo de esta especie en Auchac.



Figura 73. Siembra de plántulas de chicorea de mar en las líneas de cultivo, sitio Auchac, primer ciclo de cultivo. A) instalación de chicorea, y B) líneas instaladas bajo el agua.

5.5.4. Traslado y siembra de plántulas. Segundo ciclo de cultivo

El traslado se realizó de la misma manera que en el ciclo de cultivo anterior. La disposición de los recursos en las líneas de cultivo fue distinta a la anterior y se detalla a continuación.

En el sitio Dalcahue, y para el caso de luga negra, durante la última semana del mes de octubre del 2018, se trasladaron cabos de polipropileno (2 mm diámetro x 1 m longitud) inoculados con esporas (7 ± 5 esporas cm^{-1}), las que fueron instaladas desde un extremo del cabo a la línea madre, quedando de forma vertical a la columna (i.e., cultivo con cuelgas verticales). Se dispusieron 125 cabos por línea madre, totalizando 250 cabos distribuidos en 2 líneas madre (Figura 74 B).

Para chicorea (*C. chamissoi*), durante el mes de agosto del 2018, se trasladaron cabos de polipropileno (4 mm diámetro x 5 m longitud) con material vegetativo entrelazado (i.e., inóculos) (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 horizontal). Se dispusieron un total de 80 cabos distribuidos en 4 lneas madre (Figura 74 A).

Para el caso de huiro (*M. pyrifera*), durante el mes de agosto del 2018, se trasladaron cabos de polipropileno (4 mm di3metro x 10 m 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 horizontal). Se dispusieron un total de 40 cabos distribuidos en 4 lneas madre (Figura 74 C).

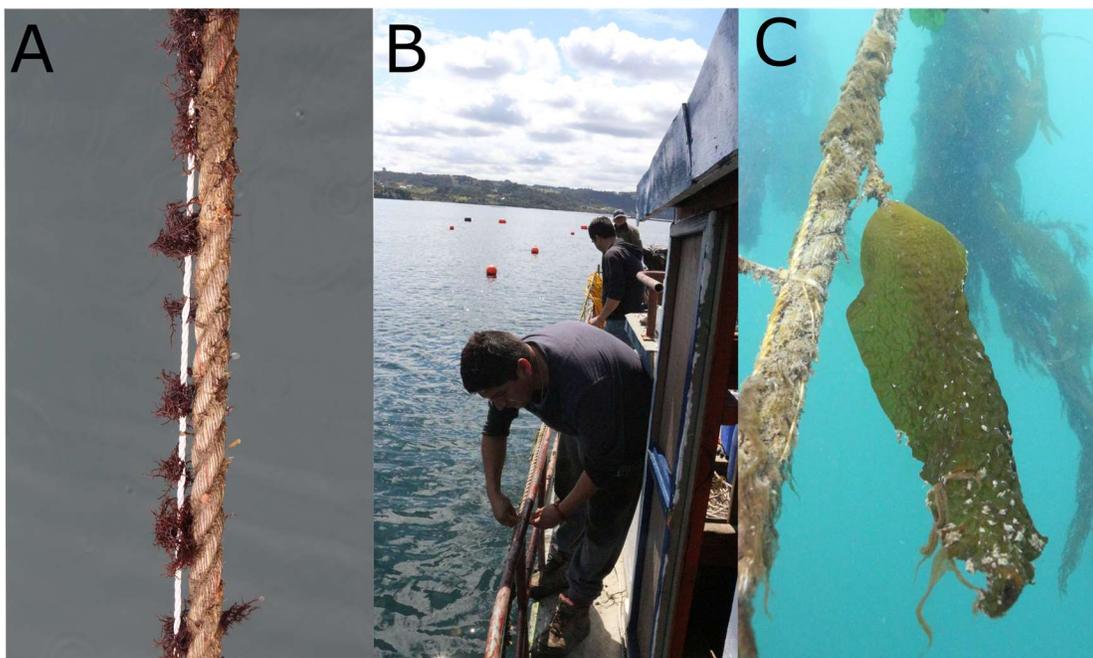


Figura 74. Siembra de pl3ntulas en las lneas de cultivo, sitio Dalcahue, segundo ciclo de cultivo. A) chicorea de mar, B) instalaci3n de lneas inoculadas de luga negra, C) huiro.

En el sitio Auchac, y para el caso de luga negra, durante el mes de noviembre del 2018, se trasladaron cabos de polipropileno (2 mm di3metro x 1 m 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 con cuelgas verticales). Se dispusieron 250 cabos distribuidos en 1 lnea madre (Figura 75 B).

Para chicorea (*C. chamissoi*), durante el mes de agosto del 2018, se trasladaron cabos de polipropileno (4 mm di3metro x 5 m de longitud) con material vegetativo entrelazado (i.e., in3culos) (10 pl3ntulas m^{-1} , $33,8 \pm 7,5 g m^{-1}$), los que fueron instalados de manera horizontal a la lnea madre mediante el uso de amarracables (i.e., cultivo horizontal). Se dispusieron un total de 60 cabos distribuidos en 3 lneas madre (Figura 75 A-C).

Para el caso de huiro (*M. pyrifera*), durante el mes de agosto del 2018, se trasladaron cabos de polipropileno (4 mm di3metro x 10 m longitud) inoculados con pl3ntulas entrelazadas (10 pl3ntulas m^{-1}



$1, 0,08 \pm 0,06 \text{ g m}^{-1}$), las que fueron instaladas de manera horizontal a la lnea madre mediante el uso de amarracables (i.e., cultivo horizontal). Se dispusieron un total de 30 cabos distribuidos en 3 lneas madre.

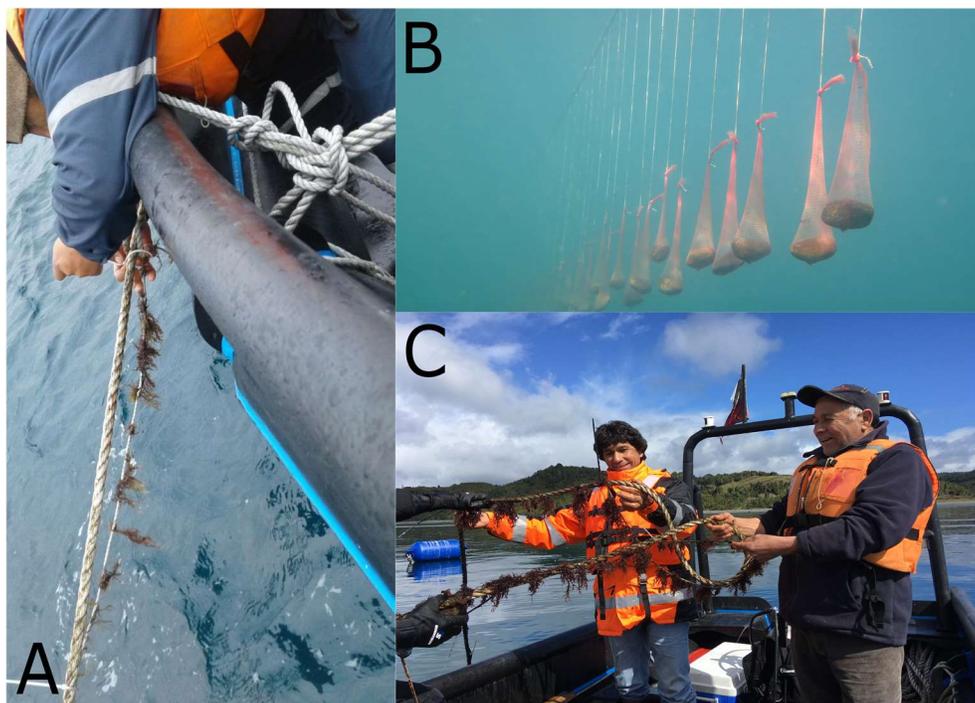


Figura 75. Siembra de plántulas en lneas de cultivo, sitio Auchac, segundo ciclo de cultivo. A) instalaci3n de chicorea, B) lneas con luga negra, y C) pescadores revisando lneas inoculadas de chicorea.

5.5.5. Monitoreo de parámetros productivos. Primer ciclo del cultivo

5.5.5.1. Cultivo *Dalcahue*

A continuaci3n, se presentan los resultados productivos del primer ciclo de cultivo realizado en el sitio Dalcahue.

Luga negra (*S. crispata*)

El cultivo de luga negra en el mar fue mantenido por 106 días. Durante los primeros controles se observaron las esporas asentadas en hatchery, pero no se registr3 formación de talos que posteriormente dieran origen a frondas. El crecimiento de *S. crispata* no se produjo segun lo previsto. Sobre posibles causas en la falla del crecimiento se puede indicar 1) una baja fijaci3n de esporas viables durante etapa de hatchery 2) la alta cantidad de biomasa a la deriva (principalmente *Ulva* spp.) que se fij3 a las lneas verticales y 3) el subsecuente incremento de algas epifitas (Figura 76), podrian



haber perjudicado el desarrollo de las esporas. Debido a esto, no se registraron datos de crecimiento para *S. crispata* en ambos sitios de cultivo.



Figura 76. Presencia de algas a la deriva (*Ulva* spp.) y epifitos (*Polysiphonia* spp.) sobre l3neas de cultivo vertical de *S. crispata* en Dalcahue.

Chicorea (*C. chamissoi*)

El cultivo de chicorea en mar fue mantenido por 105 d3as. Se cuantific3 el peso h3medo del alga y el peso de los epibiontes presentes al momento de la extracci3n de las muestras (i.e., segmentos de alrededor de un metro). En las Tablas 37 y 38, se presentan resultados de biomasa h3meda por metro lineal y peso h3medo de los epibiontes, respectivamente.

Tabla 37.

Peso h3medo promedio del alga *C. chamissoi* por metro lineal, durante el primer ciclo de cultivo en el sitio Dalcahue. DE = Desviaci3n est3ndar, EE = Error est3ndar, SGR = Tasa relativa de crecimiento est3ndar del periodo.

	Fecha	Peso h3medo (g m ⁻¹)	SD	EE	SGR periodo
siembra	12-10-2017	39.4	0.6	0.3	-
1° monitoreo	03-11-2017	72.2	30.4	10.1	2.7
2° monitoreo	16-11-2017	2.0	46.4	15.5	3.2
3° monitoreo	30-11-2017	112.3	56.0	18.7	0.9
4° monitoreo	14-12-2017	236.6	144.4	48.1	4.4
5° monitoreo	09-01-2018	408.9	167.3	55.8	2.1
6° monitoreo	25-01-2018	435.0	174.7	58.2	0.4

**Tabla 38.**

Peso húmedo promedio de los epibiontes en *C. chamissoi* por metro lineal, durante el primer ciclo de cultivo en el sitio Dalcahue. DE = Desviaci3n estandar, EE = Error estandar.

	Fecha	Peso húmedo (g m ⁻¹)	SD	SE
siembra	12-10-2017	0.0	0.0	0.0
1° monitoreo	03-11-2017	0.8	0.9	0.3
2° monitoreo	16-11-2017	2.0	2.9	1.0
3° monitoreo	30-11-2017	24.6	34.6	11.5
4° monitoreo	14-12-2017	80.6	66.8	22.3
5° monitoreo	09-01-2018	102.7	75.0	25.0
6° monitoreo	25-01-2018	219.4	134.4	44.8

El SGR mostr3 un crecimiento en biomasa de aproximadamente 2.7 % d¹ durante los primeros 22 d¹ de cultivo. La acumulaci3n m¹s significativa de biomasa se registr3 a mediados de diciembre con un SGR de 4.4 % d¹, luego de 65 d¹ de cultivo. Durante los dos monitoreos siguientes, el crecimiento disminuy3 a 2.1 y 0.4 % d¹ respectivamente (Tabla 37). Esta tendencia de crecimiento disminuye paralelamente con el aumento en la cantidad de ep¹fitos y epibiontes como *Polysiphonia* spp., adem¹s de anf¹podos pastoreadores, piures, etc. (Figura 77), los que alcanzaron m¹xima biomasa en el mismo periodo con un promedio de 80 g m⁻¹ (Figura 77). La abundancia de epibiontes increment3 sustancialmente a partir de mediados de diciembre representando alrededor del 50% de la biomasa del cultivo (Figuras 77 y 78). La biomasa acumulada m¹xima promedio de *C. chamissoi* se registr3 durante enero con 435 g m⁻¹ ± DE 174.7. El valor extrapolado para una l¹nea de cultivo de 100 metros en este periodo fue de 43.5 Kg ± DE 17.5.

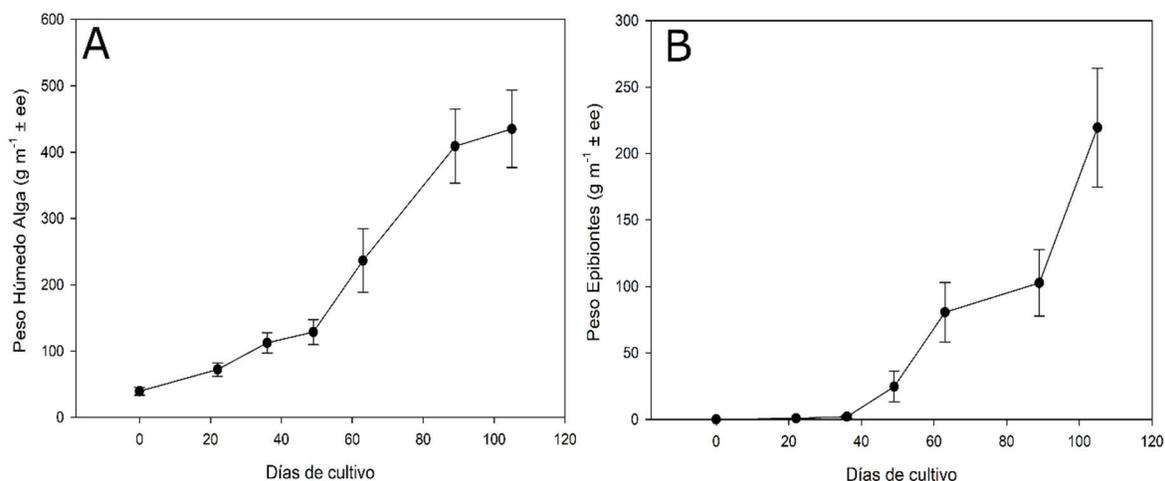


Figura 77. Crecimiento promedio por metro lineal para chicorea (*C. chamissoi*), sitio Dalcahue, primer ciclo de cultivo. A) Peso húmedo del alga (g m⁻¹ ± error estandar) y B) Peso húmedo de epibiontes (g m⁻¹ ± error estandar).



Figura 78. *Polysiphonia* spp., alga epífita conspicua durante el cultivo de *C. chamissoi* en sitio Dalcahue.

Huiro (*M. pyrifera*)

El cultivo de huiro en mar fue mantenido por 118 días. Se cuantificó la longitud y peso húmedo del alga. En las Tablas 39 y 40, se presentan resultados de crecimiento en longitud y biomasa húmeda, respectivamente.

La densidad inicial de siembra fue de 10 esporofitos m^{-1} lineal. En el proceso de instalación realizado en conjunto con la OPA de Dalcahue, se generó desprendimiento de esporofitos, lo que disminuyó la densidad inicial y consecuentemente los resultados al final del monitoreo. En los primeros controles se observó un rápido incremento en longitud y biomasa húmeda (Tablas 39 y 40, Figura 79). El SGR mostró que los esporofitos crecieron en longitud alrededor de un 13 % $día^{-1}$ durante los primeros 37 días. Durante el mismo período la biomasa incrementó alrededor de un 5.7%.

Los mayores crecimientos se registraron durante los primeros 80 días de cultivo, entre septiembre y diciembre. La mayor tasa de crecimiento estándar en longitud luego del crecimiento inicial, ocurrió a fines de noviembre (SGR = 8.5 % $cm\ día^{-1}$), mientras que, durante este mismo período, la mayor tasa de crecimiento de la biomasa alcanzó su máximo valor (SGR = 16 % $cm\ día^{-1}$, Tabla 40). Luego de esto, los valores promedio de crecimiento en ambos parámetros comenzaron a disminuir. En este período se registraron aumentos significativos en la intensidad lumínica y temperatura (Ver Sección 5.5.7, Figura 93). Posteriormente, aunque la biomasa acumulada alcanza valores máximos, los esporofitos se caracterizaron por bajas tasas de crecimiento y pérdida de biomasa (e.g., SGR - 0.7% $g\ día^{-1}$), probablemente debido a la alta incidencia de organismos epibiontes como *Ulva* spp., el briozoo *Membraniphora membranacea* y el anfípodo *Peramphithoe femorata* los cuáles promueven la pérdida de biomasa (Figuras 79 y 80). La biomasa acumulada máxima promedio se registró durante enero con 416.4 $g\ m^{-1} \pm DE\ 262.37$. El valor extrapolado para una línea de cultivo de 100 metros, con 10 individuos por metro lineal, en este periodo fue de 416.4 $kg \pm DE\ 262.3$.



Tabla 39.

Longitud promedio del alga *M. pyrifera* durante el primer ciclo de cultivo en el sitio Dalcahue. DE = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa relativa de crecimiento estándar.

	Fecha	Longitud (cm)	DS	EE	SGR periodo
siembra	29-09-2017	1.9	0.6	0.10	0
1° monitoreo	03-11-2017	12.4	9.9	2.5	13.6
2° monitoreo	16-11-2017	15	14.5	3.3	1.4
3° monitoreo	30-11-2017	54.2	28.2	6.6	8.5
4° monitoreo	14-12-2017	88.0	49.4	12.4	1.9
5° monitoreo	09-01-2018	79.6	56.6	17	-0.4
6° monitoreo	25-01-2018	83.2	26.3	6.59	0.3

Tabla 40.

Peso húmedo promedio del alga *M. pyrifera*, durante el primer ciclo de cultivo en el sitio Dalcahue. DE = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa relativa de crecimiento estándar.

	Fecha	Peso húmedo (g)	DS	EE	SGR periodo
siembra	29-09-2017	0.08	0.07	0.01	0
1° monitoreo	03-11-2017	2.6	4.2	1.1	5.7
2° monitoreo	16-11-2017	6.9	15.2	1.6	6.9
3° monitoreo	30-11-2017	81.5	87.7	20.7	16.4
4° monitoreo	14-12-2017	262.5	233	65.6	8.4
5° monitoreo	09-01-2018	216.6	156.8	49.5	-0.7
6° monitoreo	25-01-2018	416.4	262.4	65.6	4.1

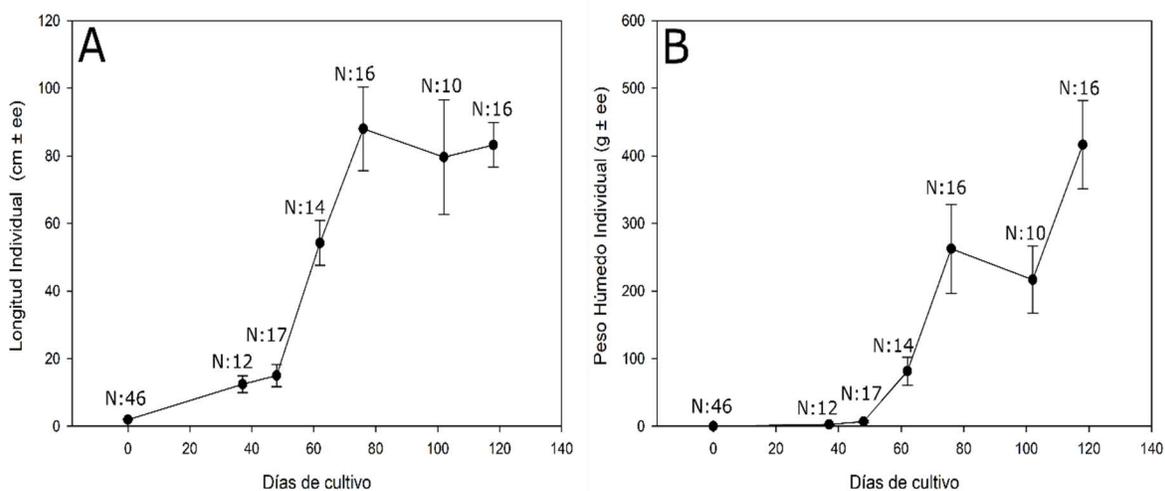


Figura 79. Crecimiento individual promedio para huiri (*M. pyrifera*), sitio Dalcahue, primer ciclo de cultivo. A) Longitud (cm ± error estándar) y B) Peso húmedo (g ± error estándar).

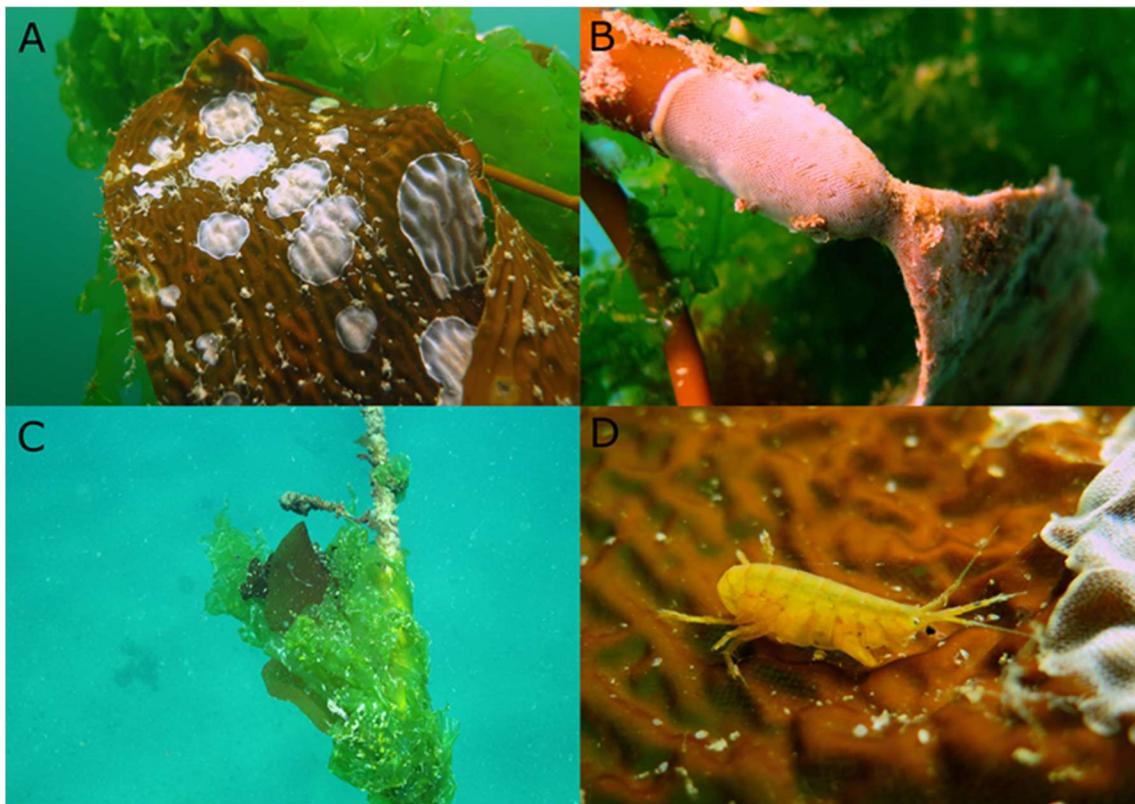


Figura 80. Epibiontes en cultivo de *M. pyrifera*. A) fronda con colonias de *M. membranacea*, B) aerocistos con *M. membranacea*, C) línea de cultivo epifitada con el alga verde *Ulva spp.*, D) anfípodo *P. femorata*.

5.5.5.2. Cultivo Auchac

A continuación, se presentan los resultados productivos del primer ciclo de cultivo realizado en el sitio Auchac.

Luga negra (*S. crispata*)

El cultivo de luga negra en mar fue mantenido por 90 días. Se observó un patrón similar a los resultados de Dalcahue, es decir, no se registró formación de talos a partir de las esporas fijadas en las cuerdas, y luego, el rápido crecimiento y fijación de algas epifitas, aparentemente, impidió el desarrollo de las esporas, por lo que no se registraron datos de crecimiento para esta especie en el mar.



Chicorea (*C. chamissoi*)

El cultivo de chicorea en mar fue mantenido por 90 d1as. Se cuantific3 el peso h1medo del alga y el peso de los epibiontes presentes al momento de la extracci3n de los segmentos de un metro. En las Tablas 41 y 42, se presentan resultados de biomasa h1meda por metro lineal y peso h1medo de los epibiontes, respectivamente.

El crecimiento de *C. chamissoi* fue afectado negativamente en los primeros dos meses de cultivo (Tabla 41, Figura 81A) por problemas con el posicionamiento de los fondeos del sistema de cultivo y la consecuente diferencia de tensi3n en las l1neas que provocaron corte de algunos tensores, p3rdida mec3nica de biomasa y cambios en las profundidades de cultivo. A partir del tercer monitoreo el SGR evidenci3 la mayor cantidad de acumulaci3n de biomasa luego de 69 d1as de cultivo, alcanzando un SGR de 5.2 % g d1a⁻¹. En el 1ltimo monitoreo, y luego de 90 d1as de cultivo el SGR disminuy3 a 2.7 % g d1a⁻¹. Tambi3n se observ3 un gran incremento en la cantidad de epibiontes los cuales representaron casi el 80% de la biomasa m⁻¹ durante el per1odo de verano (Figura 81B). La biomasa acumulada m3xima promedio se registr3 durante marzo con 103.5 g m⁻¹ ± DE 56.1. El valor extrapolado para una l1nea de cultivo de 100 metros, en este periodo fue de 10.35 kg ± DE 5.61.

Tabla 41.

Peso h1medo promedio del alga *C. chamissoi* por metro lineal, durante el primer ciclo de cultivo en el sitio Auchac. DE = Desviaci3n est3ndar, EE = Error est3ndar, SGR = Tasa relativa de crecimiento est3ndar del periodo.

	Fecha	Peso h1medo (g m ⁻¹)	DE	EE	SGR periodo
siembra	13-12-2017	33.8	7.5	2.5	0.0
1° monitoreo	18-01-2018	28.9	22.5	7.5	-0.7
2° monitoreo	06-02-2018	30.0	22.9	7.6	0.2
3° monitoreo	19-02-2018	59.2	56.3	18.8	5.2
4° monitoreo	12-03-2018	103.5	56.1	18.7	2.7

Tabla 42.

Peso h1medo promedio de los epibiontes en *C. chamissoi* por metro lineal, durante el primer ciclo de cultivo en el sitio Auchac. DE = Desviaci3n est3ndar, EE = Error est3ndar.

	Fecha	Peso h1medo (g m ⁻¹)	DE	EE
siembra	13-12-2017	0.0	0.0	0.0
1° monitoreo	18-01-2018	0.8	0.9	0.3
2° monitoreo	06-02-2018	2.0	2.9	1.0
3° monitoreo	19-02-2018	24.6	34.6	11.5
4° monitoreo	12-03-2018	80.6	66.8	22.3

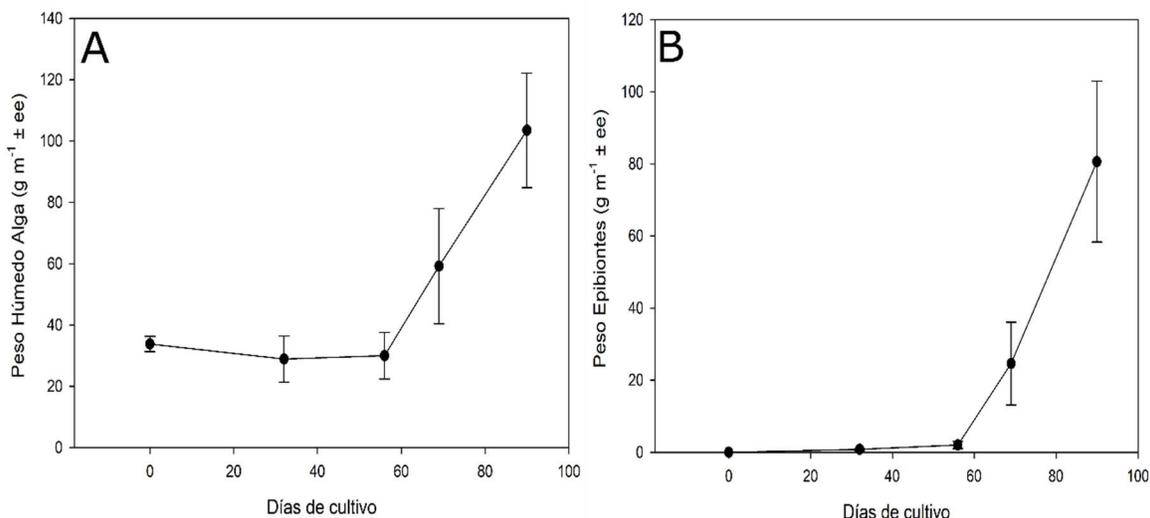


Figura 81. Crecimiento promedio por metro lineal para chicorea (*C. chamosoi*), sitio Auchac, primer ciclo de cultivo. A) Peso húmedo del alga (g m⁻¹ ± error estándar) y B) Peso húmedo de epibiontes (g m⁻¹ ± error estándar).

5.5.6. Monitoreo de parámetros productivos. Segundo ciclo del cultivo

5.5.6.1. Cultivo Dalcahue

A continuación, se presentan los resultados productivos del segundo ciclo de cultivo realizado en el sitio Dalcahue.

Luga negra (*S. crispata*)

El cultivo de luga negra en el mar fue mantenido por 56 días. Durante los primeros controles se observaron las esporas asentadas en hatchery, pero no se registró formación de talos que posteriormente den origen a frondas.

El asentamiento de otras especies y la aparición de algas epifitas atrapadas en las líneas de cultivo, las que flotan a la deriva y son atrapadas no permiten el desarrollo normal de las plántulas de algas, por lo que no se registraron datos de crecimiento para esta especie durante el ciclo de cultivo 2018 (Figura 82).

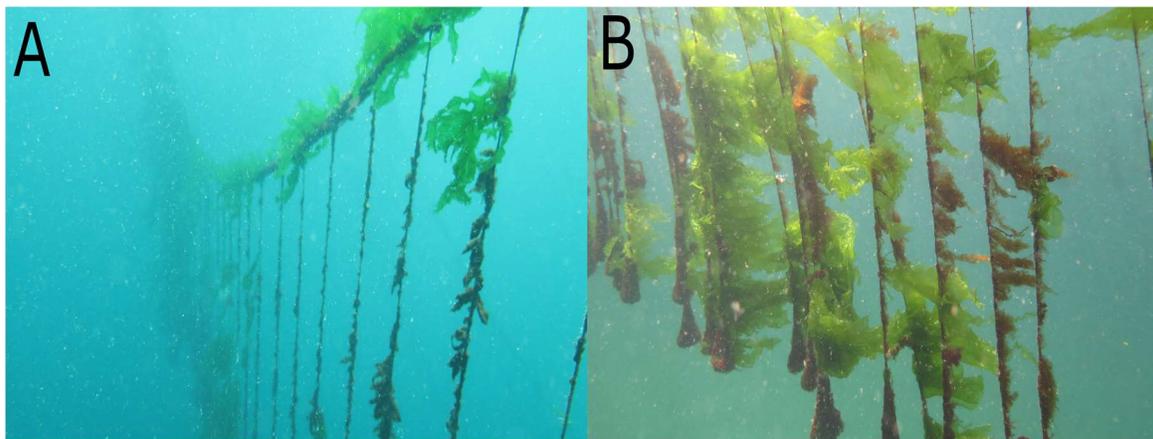


Figura 82. Algas a la deriva sobre lneas de cultivo de *S. crispata* en sitio Dalcahue. A) inicio, y B) final del cultivo.

Chicorea (*C. chamissoi*)

El cultivo de chicorea en mar fue mantenido por 118 dlas. Se cuantific3 el peso hmedo del alga y el peso de los epibiontes presentes al momento de la extracci3n de los segmentos de un metro. En las Tablas 43 y 44, se presentan resultados de biomasa hmeda por metro lineal y peso hmedo de los epibiontes, respectivamente.

Tabla 43.

Peso hmedo promedio del alga *C. chamissoi* por metro lineal, durante el segundo ciclo de cultivo en el sitio Dalcahue. DE = Desviaci3n estandar, EE = Error estandar, SGR = Tasa relativa de crecimiento estandar del periodo.

	Fecha	Peso hmedo (g m ⁻¹)	DE	EE	SGR periodo
siembra	23-08-2018	45.68	13.40	4.47	0.0
1°monitoreo	15-09-2018	87.39	20.84	6.95	2.82
2°monitoreo	03-10-2018	79.21	39.04	13.01	-0.55
3°monitoreo	24-10-2018	61.06	33.63	11.21	-1.24
4°monitoreo	22-11-2018	25.84	19.56	6.52	-2.96
5°monitoreo	19-12-2018	47.00	26.92	8.97	2.22

**Tabla 44.**

Peso húmedo promedio de los epibiontes en *C. chamissoi* por metro lineal, durante el segundo ciclo de cultivo en el sitio Dalcahue. DE = Desviaci3n est3ndar, EE = Error est3ndar.

	Fecha	Peso húmedo (g m ⁻¹)	DE	EE
siembra	23-08-2018	0.00	0.00	0.00
1° monitoreo	15-09-2018	0.00	0.00	0.00
2° monitoreo	03-10-2018	1.55	1.92	0.64
3° monitoreo	24-10-2018	15.48	8.95	2.98
4° monitoreo	22-11-2018	131.12	76.69	25.56
5° monitoreo	19-12-2018	146.78	119.27	39.76

El SGR mostr3 un crecimiento en biomasa de aproximadamente 2.8 % g d3a⁻¹ durante los primeros 23 d3as de cultivo. La acumulaci3n m3s significativa de biomasa se registr3 solo durante el primer mes de cultivo con un 2.8 % g d3a⁻¹. Durante los tres monitoreos subsiguientes, el crecimiento disminuy3 a -0,5, -1,2 y -2,96 % g d3a⁻¹ respectivamente (Tabla 43). Esta tendencia de crecimiento disminuye paralelamente con el aumento en la cantidad de epibiontes presentes en las l3neas de cultivo (Figuras 83 y 85), los que alcanzaron m3xima biomasa al final del ciclo de cultivo con un promedio de 146 g m⁻¹ (Figuras 83 y 84). La abundancia de epibiontes increment3 sustancialmente desde octubre a diciembre. La biomasa acumulada m3xima promedio se registr3 durante septiembre con 87.4 g m⁻¹ ± DE 20.8. El valor extrapolado para una l3nea de cultivo de 100 metros en este periodo fue de 8.7 Kg ± DE 2.1.

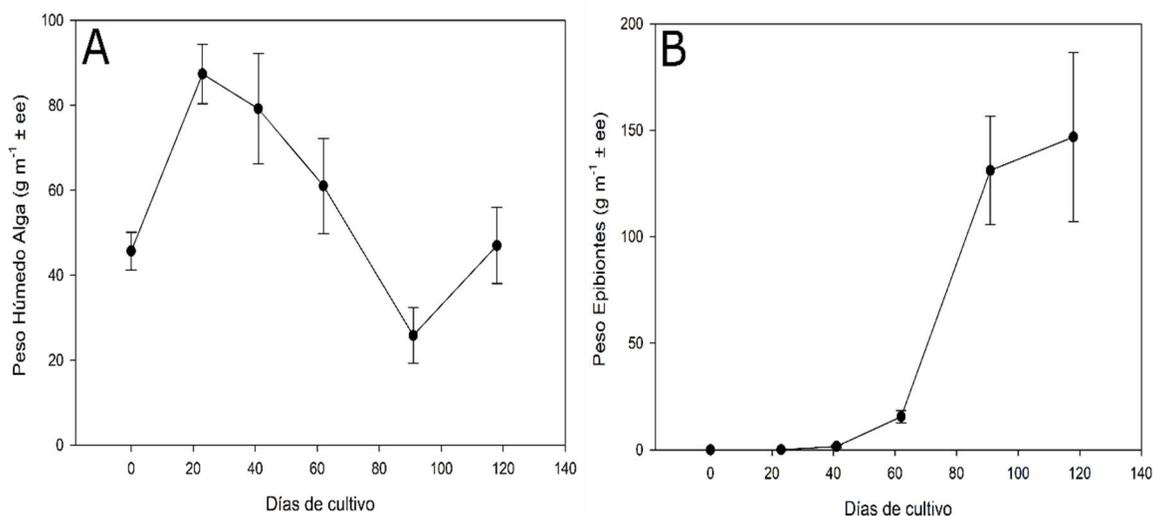


Figura 83. Crecimiento promedio por metro lineal para chicorea (*C. chamissoi*), sitio Dalcahue, segundo ciclo de cultivo. A) Peso húmedo del alga (g m⁻¹ ± error est3ndar) y B) Peso húmedo de epibiontes (g m⁻¹ ± error est3ndar).



Figura 84. Epibiontes en cultivo de *C. chamissoi* en sitio Dalcahue.



Figura 85. Cultivo de chicorea de mar, en su fase de desarrollo adulta en sitio Dalcahue.



Huiro (*M. pyrifera*)

El cultivo de huiro en mar fue mantenido por 118 d1as. Se cuantific3 la longitud y peso h1medo del alga. En las Tablas 45 y 46, se presentan resultados de crecimiento en longitud y biomasa h1meda, respectivamente.

La densidad inicial de siembra fue de 10 esporofitos m⁻¹ lineal. Sin embargo, durante las primeras semanas de cultivo se registr3 una p3rdida masiva de individuos juveniles, como se muestra en la Figura 86, donde se observa que el N inicial corresponde a 118 pl3ntulas, en contraste con el primer monitoreo donde se observa un N de 19 pl3ntulas. Esta p3rdida de biomasa se atribuye a una baja adhesi3n de los juveniles de las l1neas inoculadas. Esta baja en la densidad inicial de cultivo contrasta con el r3pido incremento en longitud y biomasa h1meda (Tablas 45 y 46, Figura 86) observada posteriormente. El SGR mostr3 que los esporofitos crecieron en longitud alrededor de un 0.3 % cm d1a⁻¹ durante los primeros 23 d1as. Durante el mismo per1odo, la biomasa increment3 alrededor de un 2.8% g d1a⁻¹.

El mayor crecimiento se registr3 a los 118 d1as de cultivo, en el mes de diciembre. La mayor tasa de crecimiento est3ndar en longitud, luego del crecimiento inicial, ocurri3 durante el mes de octubre (SGR = 21 % cm d1a⁻¹), mientras que, durante este mismo per1odo, la mayor tasa de crecimiento est3ndar de la biomasa alcanz3 su m3ximo valor (SGR = 11 % g d1a⁻¹, Tabla 45, Figura 86 y 87). Subsecuentemente, Los valores promedio de crecimiento en ambos par3metros comenzaron a disminuir, se1alando el per1odo en que se alcanza la m3xima biomasa de cultivo y sugiriendo, a su vez, el mejor per1odo para la cosecha. Posteriormente, aunque la biomasa acumulada alcanza valores m3ximos, los esporofitos contin1an disminuyendo en n1mero (e.g. N octubre = 2 esporofitos m⁻¹ lineal., N noviembre= 1 esporofito m⁻¹ lineal.). Esto tambi3n contrasta con la aparici3n de especies epifitas en las l1neas de cultivo, representadas principalmente por la especie *Desmarestia sp.* (Figura 88).

La biomasa acumulada m3xima en promedio se registr3 durante diciembre con 3808.25 g m⁻¹ (\pm DE 3719.81). Este valor extrapolado a kil3gramos para una l1nea de cultivo de 100 metros, en este periodo alcanza alrededor de 381 kg. No obstante, existi3 una gran diferencia en el crecimiento de los individuos de cultivo e.g., \pm DE 372 kg. Esta gran variabilidad puede ser atribuida principalmente, al bajo n1mero de individuos que llegaron a etapa adulta.

Tabla 45.

Longitud promedio del alga *M. pyrifera* durante el cultivo en el sitio Dalcahue, segundo ciclo de cultivo. DE = Desviaci3n est3ndar, EE = Error est3ndar, SGR = Tasa relativa de crecimiento est3ndar.

	Fecha	Longitud (cm)	DE	EE	SGR periodo
siembra	23-08-2018	2.86	1.64	0.15	0.0
1°monitoreo	15-09-2018	3.08	2.11	0.49	0.33
2°monitoreo	03-10-2018	21.45	17.28	5.21	21.06
3°monitoreo	24-10-2018	47.79	31.15	1.48	3.81
4°monitoreo	22-11-2018	174.50	72.98	36.49	4.47
5°monitoreo	19-12-2018	400.75	348.48	174.24	3.20



Tabla 46.

Peso h3medo promedio del alga *M. pyrifera*, durante el cultivo en el sitio Dalcahue, segundo ciclo de cultivo.
DE = Desviaci3n est3andar, EE = Error est3andar, SGR = Tasa relativa de crecimiento est3andar.

	Fecha	Peso h3medo (g)	DE	EE	SGR periodo
siembra	23-08-2018	0.16	0.17	0.02	0.0
1° monitoreo	15-09-2018	0.31	0.44	0.10	2.84
2° monitoreo	03-10-2018	13.80	22.06	6.65	10.78
3° monitoreo	24-10-2018	114.25	147.49	7.02	10.07
4° monitoreo	22-11-2018	559.98	311.62	155.81	5.48
5° monitoreo	19-12-2018	3808.25	3719.81	1859.90	7.37

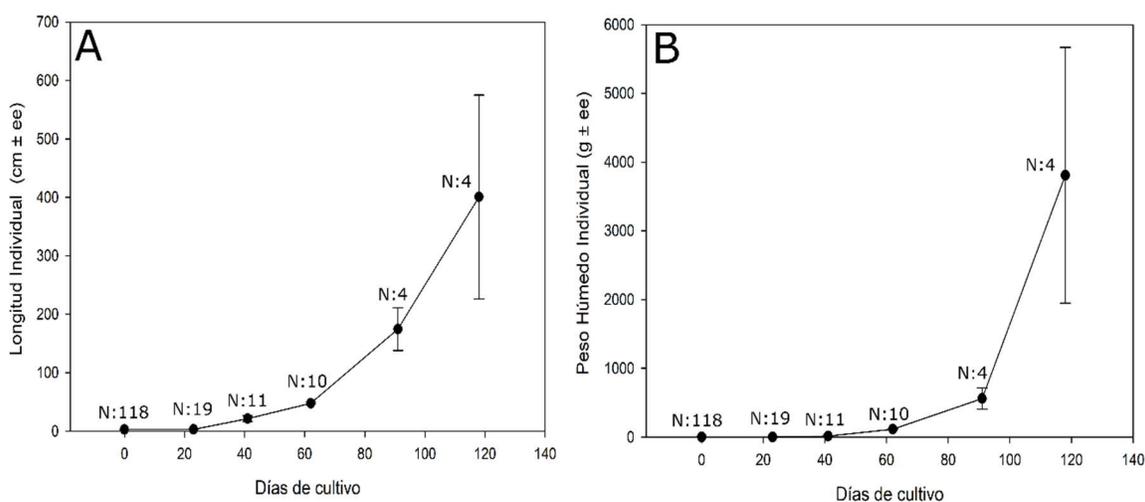


Figura 86. Crecimiento individual promedio para huiro (*M. pyrifera*), sitio Dalcahue, segundo ciclo de cultivo. A) Longitud (cm ± error est3andar) y B) Peso h3medo (g ± error est3andar).

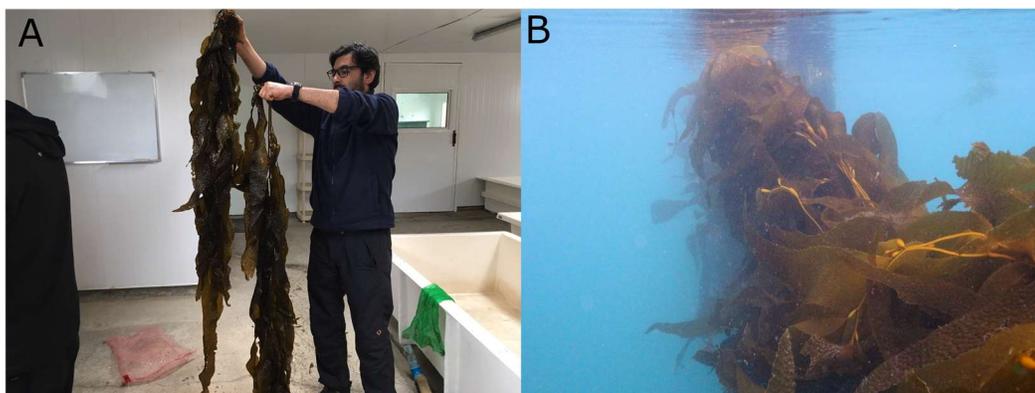


Figura 87. Cultivo de huiro, en su fase de desarrollo adulta en sitio Dalcahue. A) Alga cosechada, B) Alga en cultivo.



Figura 88. *Desmarestia sp.*, alga epífita dominante en los cultivos de Dalcahue, 2018.

5.5.6.2. Cultivo Auchac

A continuaci3n, se presentan los resultados productivos del segundo ciclo de cultivo realizado en el sitio Auchac.

Luga negra (*S. crispata*)

El cultivo de luga negra en el mar fue mantenido por 57 días. Durante los primeros controles se observaron las esporas asentadas en hatchery, pero no se registr3 formación de talos que posteriormente dieran origen a frondas. De esta forma, no se registraron datos de crecimiento para esta especie durante el ciclo de cultivo 2018.

Chicorea (*C. chamissoi*)

El cultivo de chicorea en mar fue mantenido por 119 días. Se cuantific3 el peso húmedo del alga y el peso de los epibiontes presentes al momento de la extracci3n de los segmentos de un metro. En las Tablas 47 y 48, se presentan resultados de biomasa húmeda por metro lineal y peso húmedo de los epibiontes, respectivamente.

El crecimiento de *C. chamissoi* fue exponencial durante el ciclo de cultivo, exceptuando los primeros 21 días de cultivo donde se observ3 una disminuci3n de la biomasa inicial ($\text{SGR} = -0.7\% \text{ g d}^{-1}$). en el tercer monitoreo el SGR evidenci3 un aumento luego de 63 días de cultivo, alcanzando un SGR de $4\% \text{ g d}^{-1}$. En el último monitoreo, y luego de 119 días de cultivo el SGR disminuy3 a $0.7\% \text{ g d}^{-1}$. Tambi3n se observ3 un gran incremento en la cantidad de epibiontes al final del ciclo de cultivo. La biomasa acumulada máxica promedio se registr3 durante diciembre con $515 \text{ g m}^{-1} \pm \text{DE } 154.2$ (Figura 89 y 90). El valor extrapolado para una línea de cultivo de 100 metros, en este periodo fue de $51.56 \text{ kg} \pm \text{DE } 15.42$.



Tabla 47.

Peso húmedo promedio del alga *C. chamissoi* por metro lineal, durante el segundo ciclo de cultivo en el sitio Auchac. DE = Desviaci3n estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa relativa de crecimiento estándar del periodo.

	Fecha	Peso húmedo (g m ⁻¹)	DE	EE	SGR periodo
siembra	21-08-2018	57.2	3.6	1.2	0.0
1°monitoreo	11-09-2018	49.51	17.20	5.73	-0.69
2°monitoreo	02-10-2018	85.35	30.56	10.19	2.59
3°monitoreo	23-10-2018	196.09	85.49	28.50	3.96
4°monitoreo	29-11-2018	452.22	171.47	57.16	2.26
5°monitoreo	18-12-2018	515.56	154.20	51.40	0.69

Tabla 48.

Peso húmedo promedio de los epibiontes en *C. chamissoi* por metro lineal, durante el segundo ciclo de cultivo en el sitio Auchac. DE = Desviaci3n estándar, EE = Error estándar.

	Fecha	Peso húmedo (g m ⁻¹)	DE	EE
siembra	21-08-2018	0	0	0
1°monitoreo	11-09-2018	0.20	0.40	0.13
2°monitoreo	02-10-2018	0	0	0
3°monitoreo	23-10-2018	5.97	7.11	2.37
4°monitoreo	29-11-2018	59.44	33.68	11.23
5°monitoreo	18-12-2018	582.22	155.87	51.96

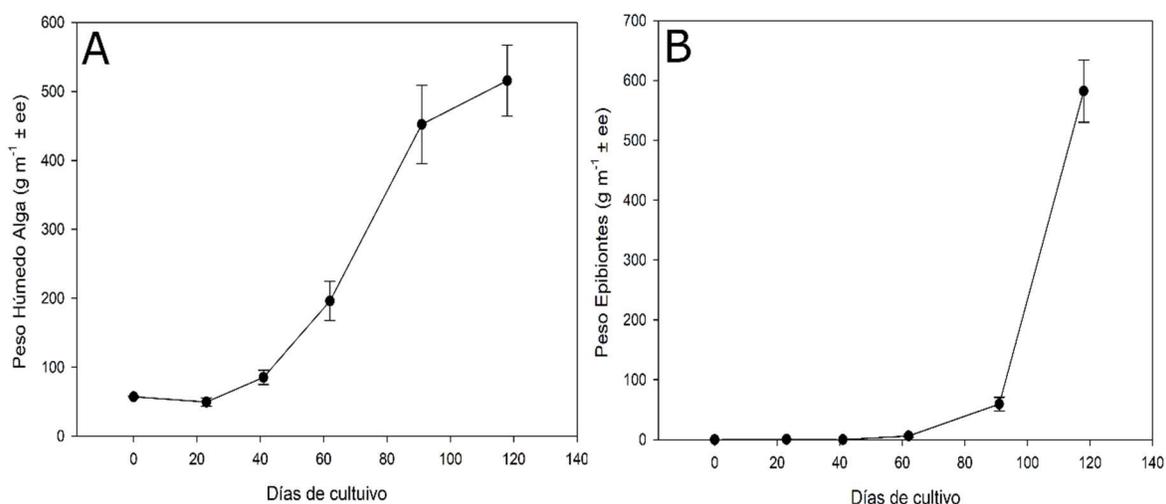


Figura 89. Crecimiento promedio por metro lineal para chicorea (*C. chamissoi*), sitio Auchac, segundo ciclo de cultivo. A) Peso húmedo del alga (g m⁻¹ ± error estándar) y B) Peso húmedo de epibiontes (g m⁻¹ ± error estándar).



Figura 90. Cultivo de chicorea de mar, en su fase de desarrollo adulta en sitio Auchac.

Huiro (*M. pyrifera*)

El cultivo de huiro en mar fue mantenido por 119 d3as. Se cuantific3 la longitud y peso h3medo del alga. En las Tablas 49 y 50, se presentan resultados de crecimiento en longitud y biomasa h3meda, respectivamente.

La densidad inicial de siembra fue de 10 esporofitos m^{-1} lineal. A partir del tercer monitoreo se observ3 un incremento en longitud y biomasa h3meda (Tablas 49 y 50, Figura 91). El SGR mostr3 que los esporofitos crecieron en longitud alrededor de un $8.8 \% cm d3a^{-1}$ en los primeros 63 d3as. Durante el mismo per3odo la biomasa increment3 alrededor de un $15.6 \% g d3a^{-1}$.

El mayor crecimiento se registr3 a los 119 d3as de cultivo, en el mes de diciembre. La mayor tasa de crecimiento est3andar en longitud luego del crecimiento inicial, ocurri3 durante el mes de octubre (SGR = $8.7 \% cm d3a^{-1}$), mientras que, al siguiente monitoreo, la mayor tasa de crecimiento est3andar de la biomasa alcanz3 su m3ximo valor (SGR = $19.6 \% g d3a^{-1}$, Tabla 49). Luego de esto, los valores de crecimiento en ambos par3metros comenzaron a disminuir.

La biomasa acumulada m3xima en promedio se registr3 durante diciembre con $5360 g m^{-1}$ ($\pm DE 3604.47$) (Figura 91 y 92). Este valor extrapolado a kil3gramos para una l3nea de cultivo de 100 metros, en este periodo alcanza alrededor de 536 kg. En el caso de Auchac, no existi3 la marcada diferencia en el crecimiento de los individuos de cultivo (e.g., $\pm DE 360 kg$) en comparaci3n con el cultivo de Dalcahue.



Tabla 49.

Longitud promedio del alga *M. pyrifera* durante el segundo ciclo de cultivo en el sitio Auchac. DE = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa relativa de crecimiento estándar.

	Fecha	Longitud (cm)	DE	EE	SGR periodo
SIEMBRA	21-08-2018	2.88	1.25	0.13	0.0
1°MONITOREO	11-09-2018	2.95	2.50	0.48	0.12
2°MONITOREO	02-10-2018	18.71	10.90	3.29	8.79
3°MONITOREO	23-10-2018	106.50	65.29	3.11	8.28
4°MONITOREO	29-11-2018	333.50	157.63	64.35	3.09
5°MONITOREO	18-12-2018	341.50	110.53	55.27	0.09

Tabla 50.

Peso húmedo promedio del alga *M. pyrifera*, durante el segundo ciclo de cultivo en el sitio Auchac. DE = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa relativa de crecimiento estándar.

	Fecha	Peso húmedo (g)	DE	EE	SGR periodo
SIEMBRA	21-08-2018	0.14	0.12	0.01	0.0
1°MONITOREO	11-09-2018	0.17	0.30	0.06	0.95
2°MONITOREO	02-10-2018	4.57	4.15	1.25	15.56
3°MONITOREO	23-10-2018	281.83	279.68	13.32	19.63
4°MONITOREO	29-11-2018	3211.67	3040.70	1241.36	9.21
5°MONITOREO	18-12-2018	5360.00	3604.47	1802.23	1.97

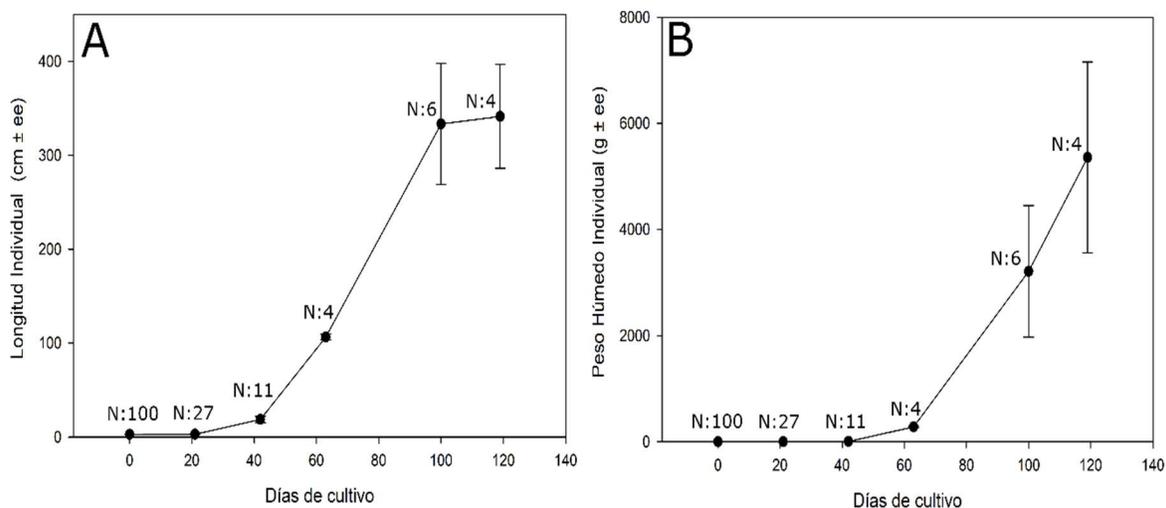


Figura 91. Crecimiento individual promedio para huiro (*M. pyrifera*), sitio Auchac, segundo ciclo de cultivo. A) Longitud (cm ± error estándar) y B) Peso húmedo (g ± error estándar).



Figura 92. Cultivo de huairo, en su fase de desarrollo adulta en sitio Auchac.

5.5.7. Monitoreo de parámetros físico-químicos. Primer ciclo de cultivo

5.5.7.1. Oxígeno, intensidad lumínica, salinidad y temperatura

Mediciones continuas de parámetros físicos se registraron desde octubre del 2017 hasta enero del 2018 para la localidad de Dalcahue, y desde febrero a marzo del 2018 para la localidad de Auchac. En Dalcahue, el oxígeno disuelto presentó valores entre los 2 a 12 mg l⁻¹ (Figura 93A), valores que se encuentran dentro de lo estimado para la zona de Castro durante este periodo (http://www.eula.cl/musels/wp-content/uploads/2016/06/2017_05-Report-Castro.pdf). La intensidad lumínica a una profundidad de 3 m presentó bastante variabilidad. La intensidad promedio durante el periodo de cultivo alcanzó los 93 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \pm \text{DE } 150$. Los valores máximos se alcanzaron a fines de noviembre y principios de diciembre llegando a alrededor de los 1000 a 1480 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ entre las 12 y 14 hrs. (Figura 93B). Los valores mínimos fluctuaron entre 2 y 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ entre las 9 am a 12 pm. En términos generales la intensidad lumínica fue mayor durante estos meses lo que concuerda con los aumentos en biomasa para *C. chamissoi* y *M. pyrifera*. La salinidad presentó una disminución paulatina desde el inicio del cultivo, con un rango entre 31 a 26 PSU (Figura 93C). Desde noviembre la salinidad se mantuvo entre los 26 a 28.5 PSU. Los valores de temperatura a la profundidad de cultivo (3 m) variaron entre los 9.5 a 15 °C con un promedio de 12.2 °C $\pm \text{DE } 1.2$ durante los meses de cultivo (Figura 93D). Las temperaturas mostraron variabilidad diaria alcanzando diferencias de hasta 1,5 °C.

En Auchac, el oxígeno disuelto presentó un rango de valores similares a los registrados en Dalcahue (2 a 12 mg l⁻¹) (Figura 94A). La intensidad lumínica presentó valores máximos de aproximadamente 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante el mes de febrero entre las 12 y 14 hrs (Figura 94B). El promedio alcanzado en el periodo de máxima luminosidad, 12 y 14 hrs, durante los meses de febrero y marzo fue de 68.6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \pm \text{DE } 90.7$. Los valores máximos alcanzados durante el mes de febrero 2018, fluctuaron entre los 600 a 720 entre las 13 y 15 hrs. El mínimo alcanzado estuvo alrededor de los 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



¹ durante el mes de marzo 2018 entre las 8 a 11 am. Los valores de salinidad mostraron una mayor dispersi3n, pero se mantuvieron entre los 26 a 29 PSU (Figura 94C). La temperatura a 3 m de profundidad vari3 entre los 10 a 13 °C y con valor promedio de 11.6 °C ± DE 0.6 durante todo el periodo de cultivo (Figura 94D).

Gráficos de parámetros físicos obtenidos desde perfiles de CTD, realizados en ambos sitios de estudio, son presentados en el Anexo 5.

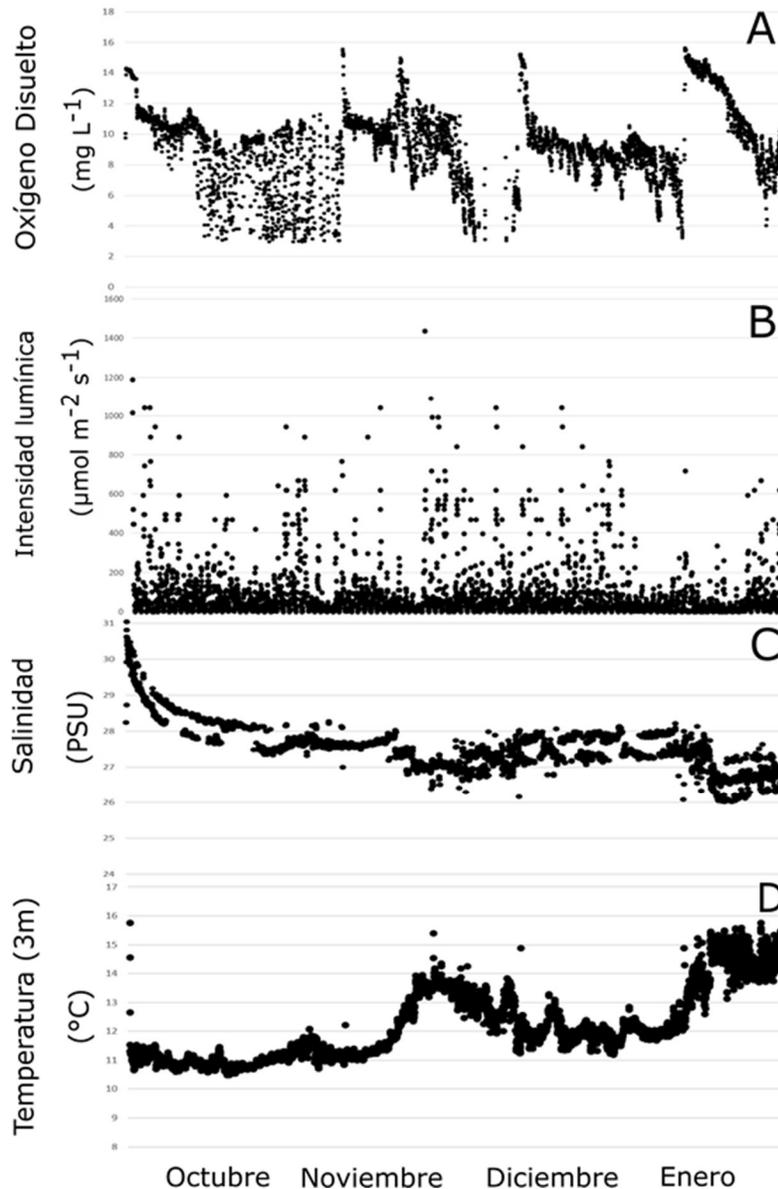


Figura 93. Valores de parámetros físicos para el sitio Dalcahue, primer ciclo de cultivo (2017-18). A) Oxígeno disuelto (mg l^{-1}), B) Intensidad lumínica ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), C) Salinidad (PSU) y D) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Cada punto corresponde a una medici3n del equipo cada 30 minutos.

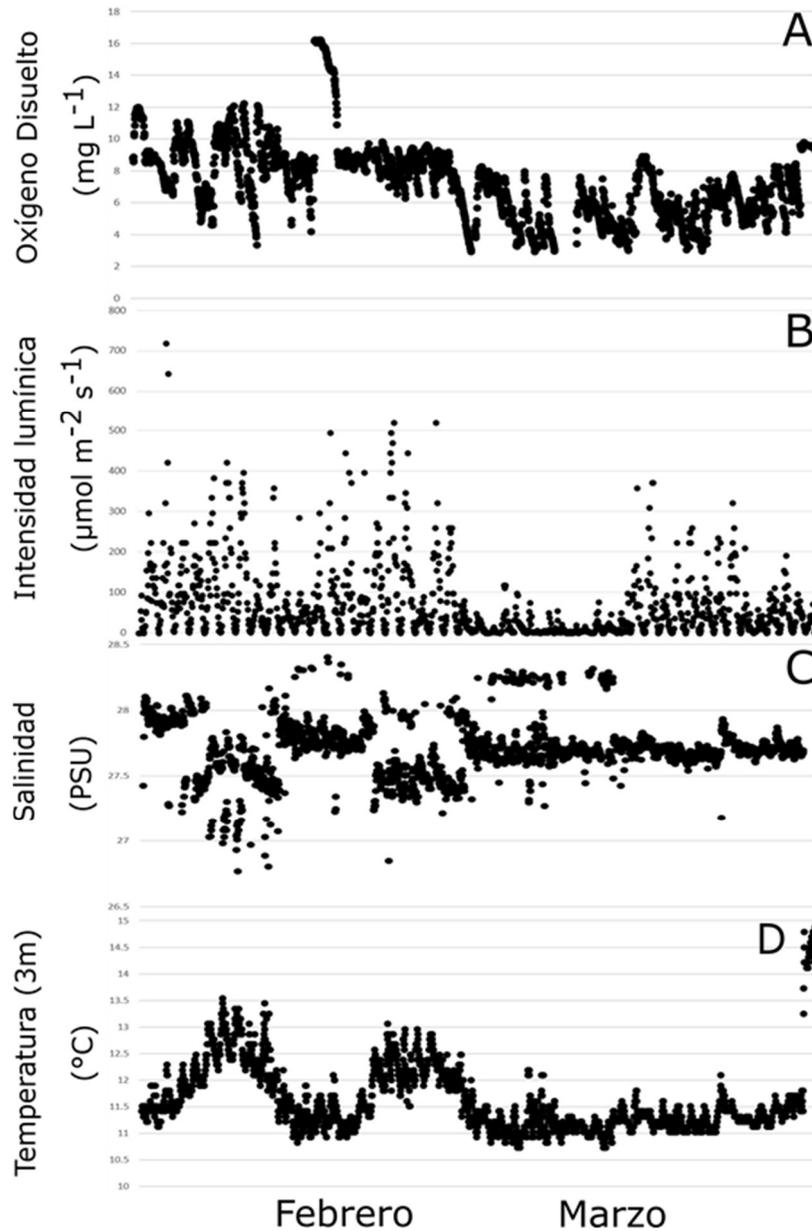


Figura 94. Valores de parámetros físicos para el sitio Auchac, primer ciclo de cultivo (2018). A) Oxígeno disuelto (mg l^{-1}), B) Intensidad lumínica ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), C) Salinidad (PSU) y D) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Cada punto corresponde a una medici3n del equipo cada 30 minutos.



5.5.7.2. Nutrientes

En una prospección inicial de la variabilidad de nutrientes (Nitrito + Nitratos) a esta escala de cultivo, se establecieron 4 estaciones (N = 3) a 100 metros de distancia alrededor del perímetro del cultivo, 4 estaciones (N = 3) sobre el perímetro de cultivo y 1 estación (N = 3) en el centro del cultivo para determinar diferencias significativas.

Luego de un análisis preliminar, se determinó que no había diferencias significativas entre la concentración de nutrientes a esta escala espacial (Nitrito + Nitrato, GL = 8, F = 1.6, p = 0.19), por lo tanto, se disminuyó el número de muestras analizadas, obteniéndose posteriormente, solo muestras desde el centro del cultivo (N=3).

La concentración de Nitratos totales (Nitrito + Nitrato), no mostró diferencias significativas entre meses y sitios (F=1.85, p = 0.19; Tabla 51; Figura 95)

Tabla 51.

Valores estadísticos obtenidos para la concentración de Nitrito + Nitrato en Dalcahue y Auchac, primer ciclo de cultivo. GL = Grados de libertad, F = F ratio, p = 0.05.

Mes*Sitio	GL	F	p
	4	1.85	0.19

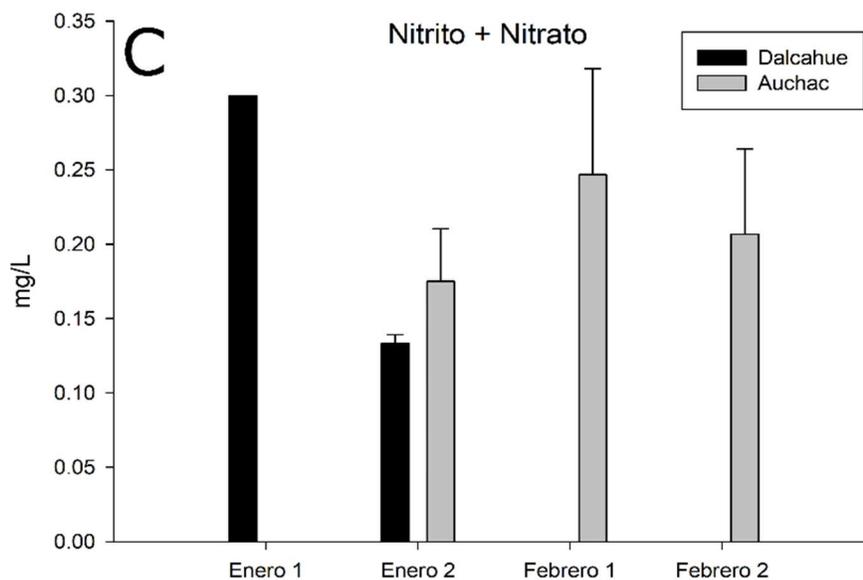


Figura 95. Concentraciones promedio (\pm Desviación Estándar) (N=3) de Nitritos + Nitratos (mg l⁻¹) en las localidades de Dalcahue y Auchac, primer ciclo de cultivo.



5.5.8. Monitoreo de parámetros físico-químicos. Segundo ciclo de cultivo

5.5.8.1. Oxígeno, intensidad lumínica, salinidad y temperatura

Mediciones continuas de parámetros físicos se registraron desde agosto del 2018 hasta diciembre del 2018 para ambas localidades.

Los parámetros físicos obtenidos desde perfiles de CTD, fueron realizados en ambos sitios de estudio desde septiembre 2018 hasta octubre 2018. Por problemas de malfuncionamiento del equipo CTD, posteriormente solo se pudo medir con el sensor de luz PAR (equipo LI-COR LI- 1500).

En Dalcahue, el oxígeno disuelto presentó valores entre los 6 a 16 mg l⁻¹ (Figura 96A). La intensidad lumínica a una profundidad de 3 m presentó bastante variabilidad, al igual que el ciclo anterior. La intensidad promedio durante el periodo de cultivo alcanzó los 45 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \pm \text{DE } 101$. Los valores máximos se alcanzaron al inicio del cultivo, durante los meses de agosto y septiembre, los cuales fluctuaron entre los 700 a 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 96B). Los valores mínimos fluctuaron entre 0.5 y 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La salinidad presentó un comportamiento estable, exceptuando el mes de agosto, con un rango entre 25 a 26.5 PSU (Figura 96C). Se observó un incremento mínimo en la salinidad desde el inicio del cultivo hasta los meses finales, con una baja marcada a fines del mes de noviembre.

Los valores de temperatura a la profundidad de cultivo (3 m) variaron entre los 10 a 16 °C con un promedio de 11.6 °C $\pm \text{DE } 1.3$ durante los meses de cultivo, valor menor al obtenido en el ciclo de cultivo anterior (Figura 96D).

En Auchac, el oxígeno disuelto presentó un rango de valores entre los 8 a 12 mg l⁻¹ (Figura 97A). La intensidad lumínica presentó valores máximos de aproximadamente 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante el mes de agosto, luego en el mes de diciembre los valores alcanzados se acercaron aproximadamente a los 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 97B). El promedio alcanzado en este ciclo de cultivo fue de 39.4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \pm \text{DE } 69.5$. Los valores máximos alcanzados durante el ciclo de cultivo, fluctuaron entre los 450 a 770 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Los valores mínimos alcanzados durante este periodo fluctuaron entre los 5 a 45 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Los valores de salinidad mostraron rangos menores al inicio del ciclo de cultivo (26 a 27 PSU), los cuales luego tuvieron un aumento comenzando el mes de septiembre. Desde este mes, los valores fluctuaron entre los 33 a 28 PSU, con una tendencia de disminución hacia los meses finales de cultivo (Figura 97C). Los valores promedio de temperatura a 3 m de profundidad no variaron entre los meses de agosto a octubre con un valor de 10.6 °C $\pm \text{DE } 0.8$. En el mes de noviembre presentó un leve incremento de 10.65 °C $\pm \text{DE } 0.8$ y luego en el mes de diciembre disminuyó presentando un valor de 10.63 °C $\pm \text{DE } 0.7$ (Figura 97D).

Gráficos de parámetros físicos obtenidos desde perfiles de CTD, realizados en ambos sitios de estudio, son presentados en el Anexo 5.

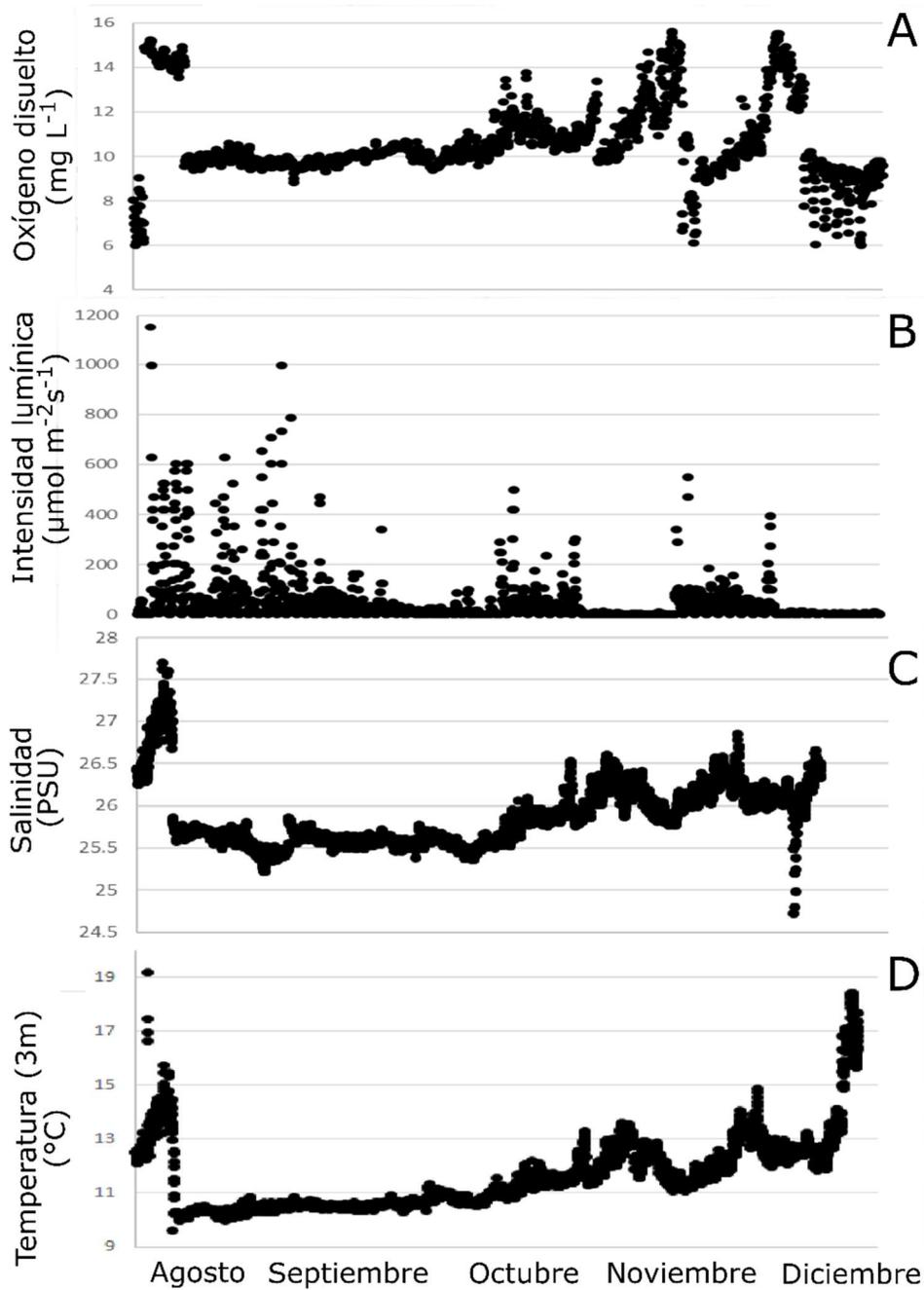


Figura 96. Valores de parámetros físicos para el sitio Dalcahue, segundo ciclo de cultivo (2018). A) Oxígeno disuelto (mg l^{-1}), B) Intensidad lumínica ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), C) Salinidad (PSU) y D) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Cada punto corresponde a una medici3n del equipo cada 30 minutos.

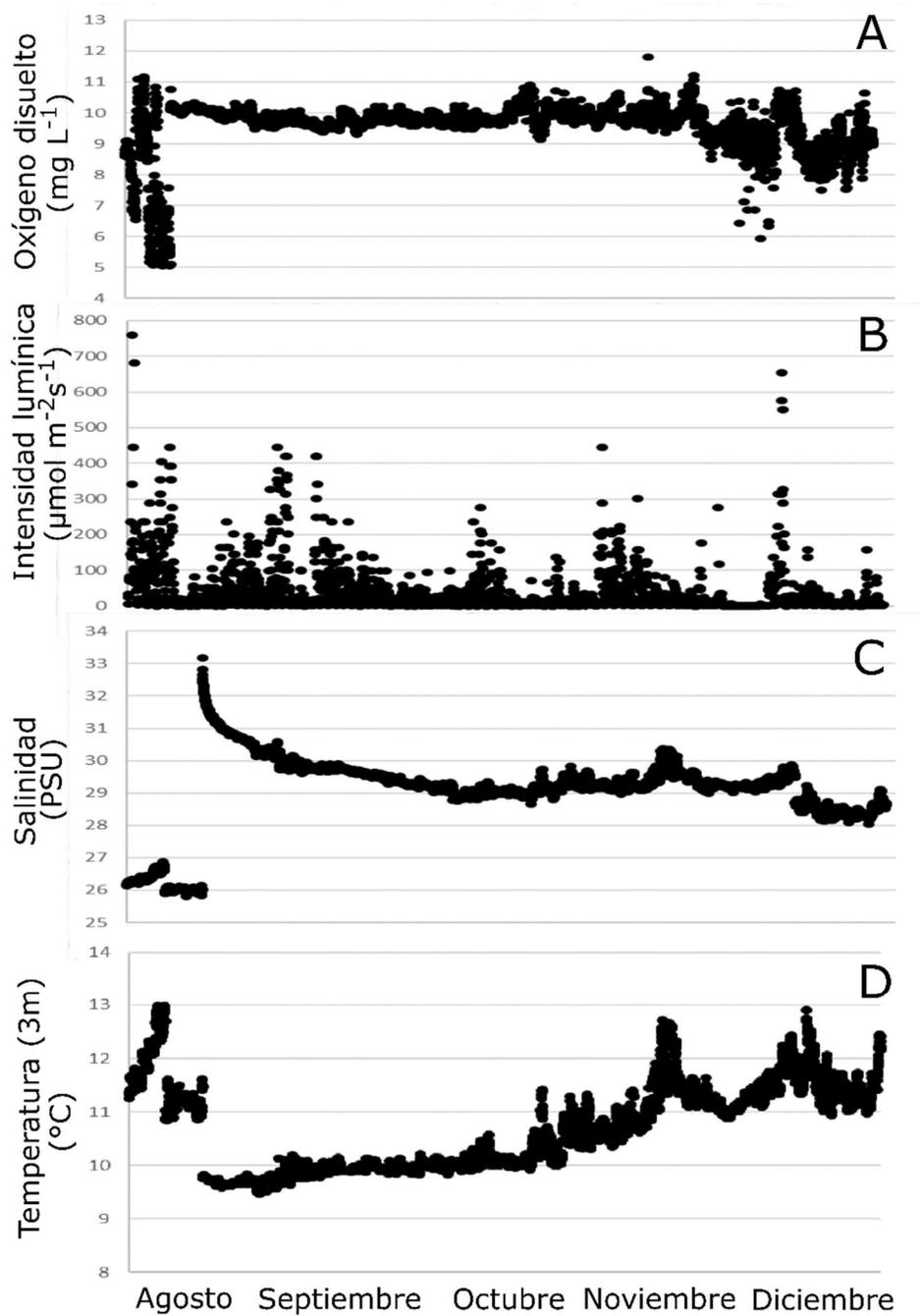


Figura 97. Valores de parámetros físicos para el sitio Auchac, segundo ciclo de cultivo (2018). A) Oxígeno disuelto (mg l^{-1}), B) Intensidad lumínica ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), C) Salinidad (PSU) y D) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Cada punto corresponde a una medici3n del equipo cada 30 minutos.



5.5.8.2. Nutrientes

La concentración de Nitratos totales (Nitrito + Nitrato), no mostró diferencias significativas entre meses y sitios (Sitio, $F = 0.36$, $p = 0.55$; Mes, $F = 0.82$, $p = 0.54$; Tabla 52; Figura 98).

Tabla 52.

Valores estadísticos obtenidos para la concentración de Nitrito + Nitrato en Dalcahue y Auchac, segundo ciclo de cultivo. GL = Grados de libertad, F = F ratio, $p = 0.05$.

	GL	F	p
Mes	5	0.82	0.54
Sitio	2	0.36	0.55
Mes*Sitio	5	0.83	0.54

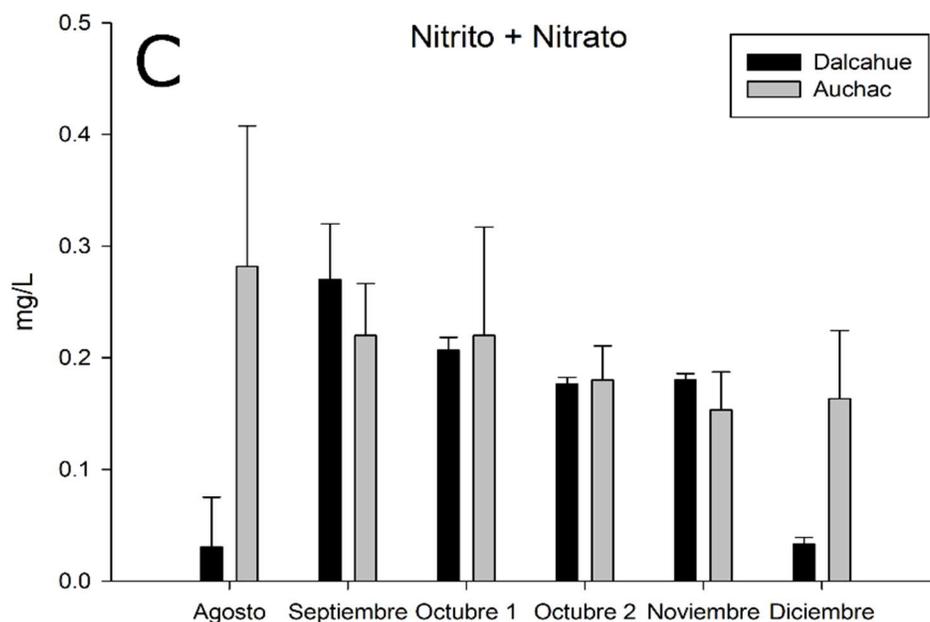


Figura 98. Concentraciones promedio (\pm Desviación Estándar) (N=3) de Nitritos + Nitratos (mg l^{-1}) en las localidades de Dalcahue y Auchac, segundo ciclo de cultivo.



5.6. Implementaci3n de cultivo y repoblaci3n de huiro *L. trabeculata* en el norte de Chile

5.6.1. gesti3n de permisos

Para la actividad de cultivo y repoblaci3n de huiro palo *L. trabeculata* se realiz3 una presentaci3n del proyecto a la asamblea de la OPA en Chungungo, donde se les explic3 los objetivos del proyecto, las actividades contempladas en el mismo y el cronograma de trabajo (Anexo 4).

El permiso de Acuicultura Experimental en AMERB fue otorgado el d3a 18 octubre del 2018 (R. Ex. N° 3689, Anexo 4). Para el traslado se realiz3 el aviso previo de 72 hrs a SERNAPESCA y la visaci3n correspondiente (Anexo 3). Este permiso est3 dirigido a OPA legalmente constituidas, que sean titulares de AMERB establecidas de conformidad con el art3culo 55 A de la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), en virtud de la celebraci3n de un convenio de uso con SERNAPESCA y que cumplan con estar al d3a en sus seguimientos respectivos. Dichas OPA podr3n solicitar actividades de acuicultura, en virtud de lo establecido en DS (MINECON) N° 96 de 2015, publicado en el Diario Oficial de fecha 27 de enero de 2016 (<http://www.subpesca.cl>). Consiste en un permiso regular o de car3cter experimental que otorga SUBPESCA para realizar actividades de acuicultura dentro de su AMERB, permitiendo la diversificaci3n productiva y la sustentabilidad de este sector, mediante acciones dirigidas a fomentar el desarrollo sustentable de la actividad, a trav3s del resguardo ambiental de sus AMERB, potenciando el cultivo de especies nativas.

En el Anexo 4 se presenta un diagrama de flujo de pasos y documentos requeridos para la tramitaci3n de permisos de acuicultura en AMERB (i.e., AEAMERB y AAMERB), adem3s de una estimaci3n de tiempos y costos asociados a su obtenci3n.

Las OPA que soliciten el permiso AEAMERB, deben tener el convenio de uso vigente y los seguimientos al d3a. De lo contrario, no es posible admitir a tr3mite la solicitud. La petici3n debe ser presentada en la Direcciones Zonales de Pesca y Acuicultura pertenecientes a SUBPESCA, donde se ubica el 3rea de manejo. Para el caso de solicitudes de AEAMERB, los requisitos formales exigidos de acuerdo al D.S. 96/2015 son los siguientes:

- Formulario de la Solicitud y Proyecto T3cnico, con la informaci3n completa, debidamente firmados en original por todos los representantes legales de la organizaci3n y el profesional que suscribe el Proyecto T3cnico. En el proyecto t3cnico se incluye el croquis de las estructuras a utilizar, Carta Gantt y Diseo experimental.
- Copia Simple del RUT de la organizaci3n.
- Copia simple del RUT del profesional que suscribe solicitud.
- Copia simple del RUT de el o los representantes legales y profesional que suscribe solicitud.
- Documento que acredita la representaci3n legal de 3l o los firmantes., documento que acredita vigencia de la representaci3n y certificado de vigencia de la organizaci3n: Para este caso, el proceso de solicitud de este permiso se ha retrasado debido a que la Organizaci3n ten3a vigencia hasta diciembre del a3o 2017, por lo cual se llam3 a votaci3n de la directiva nuevamente para regularizar dicha situaci3n. La OPA es una organizaci3n comunitaria, por lo que se debe solicitar a la municipalidad de La Higuera un testigo de este proceso. Luego se llevan los antecedentes ante el SERVEL para regularizar la vigencia. Sin embargo, una integrante de la directiva hab3a perdido el RPA por lo que debieron realizar una nueva elecci3n.
- Acta de asamblea que aprueba la ejecuci3n de actividades de cultivo en 3rea de manejo.



- Certificado de la autoridad marítima que indique que no interfiere con la libre navegaci3n ni con la accesibilidad.

Debido a una reconsideraci3n, la directiva de la organizaci3n envi3 a SUBPESCA una carta para la correcci3n de la producci3n m3xima estimada de 40 a 400 kg y de meses de cultivo de 12 a 18 meses, plazo m3ximo otorgado en este tipo de permisos (Anexo 4).

5.6.2. Evaluaci3n inicial del AMERB

5.6.2.1. Evaluaci3n de *L. trabeculata*

Se realiz3 una prospecci3n inicial mediante buceo aut3nomo para determinar la ubicaci3n de praderas de *L. trabeculata*, sin embargo, no se encontraron individuos de la especie en el 3rea (Figura 99). El porcentaje de sustrato del 3rea evaluada corresponde en un 49% a roca lo que corresponde a 26.5 m², 28% Conchilla y 21% arena (Figura 100).



Figura 99. Fondos blanqueados en AMERB Chungungo B.

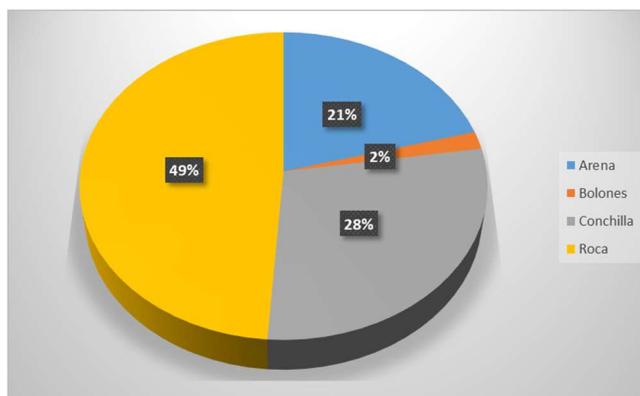


Figura 100. Porcentaje de sustrato observado en evaluaci3n inicial de AMERB Chungungo B.



5.6.2.2. Evaluaci3n de comunidades bent3nicas

La comunidad predominante en el 1rea es fondo blanqueado con dominancia de *T. niger* y *Tegula tridentata*. La riqueza total (S') alcanz3 15 taxa, mientras que la riqueza asociada a la estimaci3n de los 1ndices de diversidad (D') fue de 12 taxa. El taxa dominante correspondi3 a *T. niger* con un 45% de dominancia espec1fica y le sigue *T. tridentata* con un 30% (Figura 101), mientras que los valores de diversidad de Shannon-Wiener y uniformidad se estimaron en 1,38 y 0,55, respectivamente.

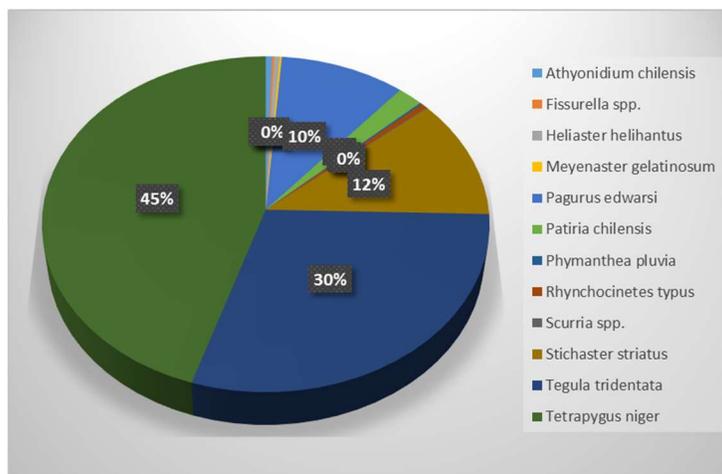


Figura 101. Porcentaje de cobertura de especies m3viles en evaluaci3n inicial de comunidades en AMERB Chungungo B.

Las especies s3siles encontradas en el 1rea fueron: *Gelidium spp.*, *Corallina spp.* y *Hildenbrandia spp.*. Estas taxa constituyeron el 11% del sustrato, el 89% restante lo constituye sustrato libre (Figura 102).

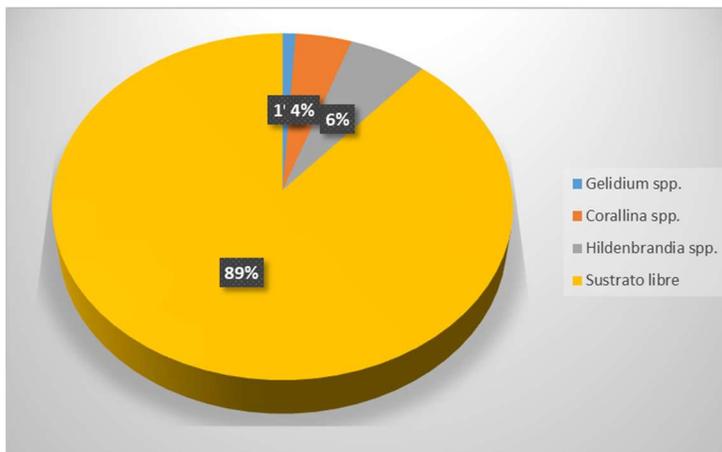


Figura 102. Porcentaje de especies s3siles observadas en evaluaci3n inicial de comunidades en AMERB Chungungo B.



5.6.2.3. Censo de peces

El censo se realiz3 el 30 de agosto del 2018 entre las 11:00 hrs y 13:00 hrs. La visibilidad no superaba los 4 metros y la temperatura oscil3 entre los 12°C y 13°C. La profundidad del punto de inicio de la transecta 1 fue de 9,4 m y 12,9 m en el punto final. En tanto en la transecta 2, el punto inicial la profundidad fue de 5,5 m y 11,6 m en el punto final. El sustrato presente en la transecta 1 fue mixto de arena, rocas y conchuela (Figura 103), mientras que en el transecta 2 fue principalmente fondo rocoso.

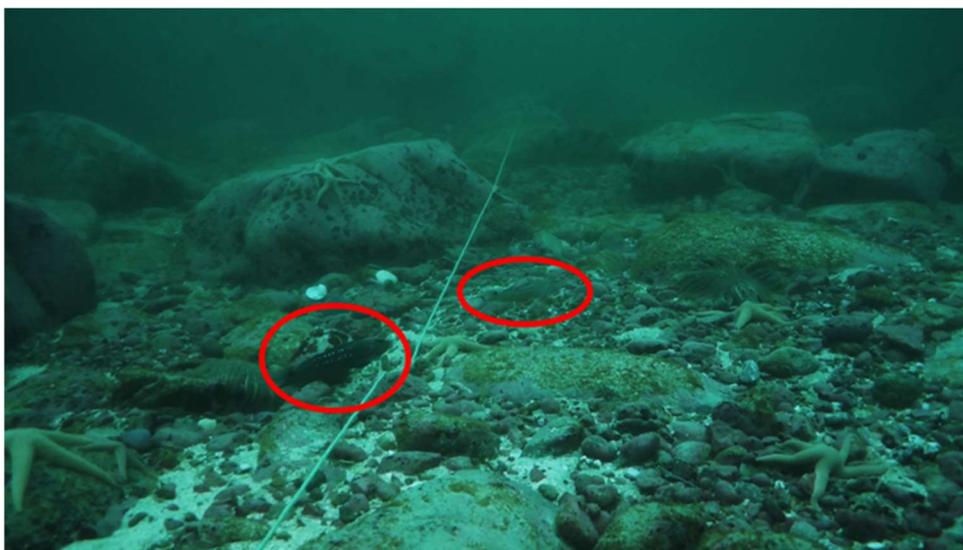


Figura 103. Fotografía de censo de peces. Transecta 1 y rollizos (*Pinguipes chilensis*) en rojo.

Peces conspicuos

Se registraron tres especies de peces conspicuos: *Pinguipes chilensis* (Rollizo), *Cheilodactylus variegatus* (Bilagay) y *Aplodactylus punctatus* (Jerguilla). La mayor abundancia la presento *P. chilensis* en la transecta 1 con 48 ejemplares, mientras que en la transecta 2 solo se registraron 15. En el caso de *A. punctatus* solo se registr3 2 ejemplares en la transecta 1, y 3 en la transecta 2, similar al registro de *C. variegatus*, que solo registro 3 ejemplares en la transecta 1, y 3 en la transecta 2 (Figura 104).

En cuanto a la biomasa total, *P. chilensis* presento un total de 1301,5 g en la transecta 1 y 1222,3 g en la transecta 2. *A. punctatus*, sin embargo, present3 una biomasa total de 149,3 g en la transecta 1 y 500 g en la transecta 2. Lo que refleja una concentraci3n de jerguillas de mayor tama3o en el sector del polígono de cultivo (Figura 105).

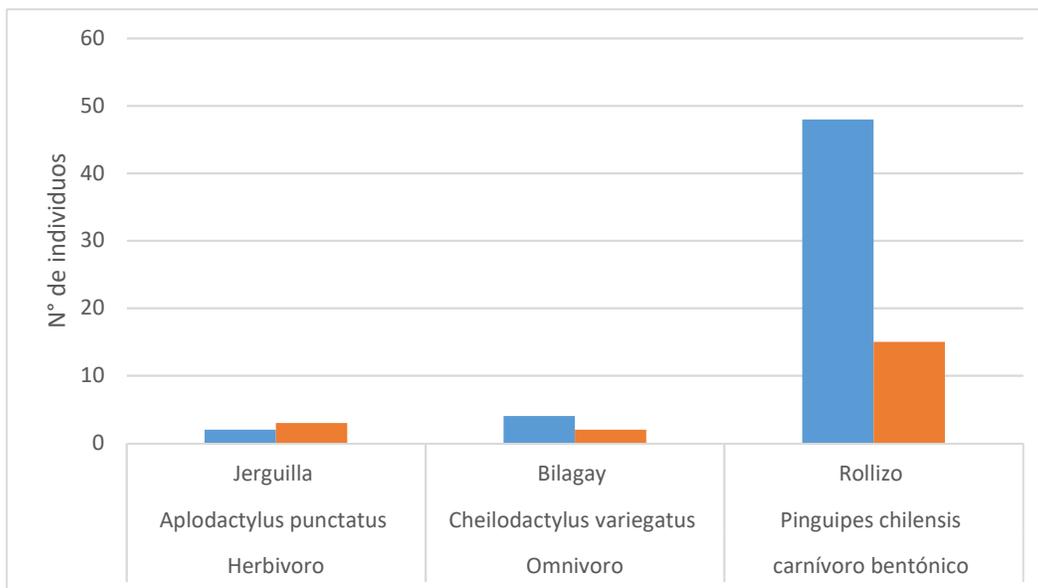


Figura 104. Abundancia de peces (N° Individuos) conspicuos en transecta 1 (barras azules) y 2 (barras naranjas).

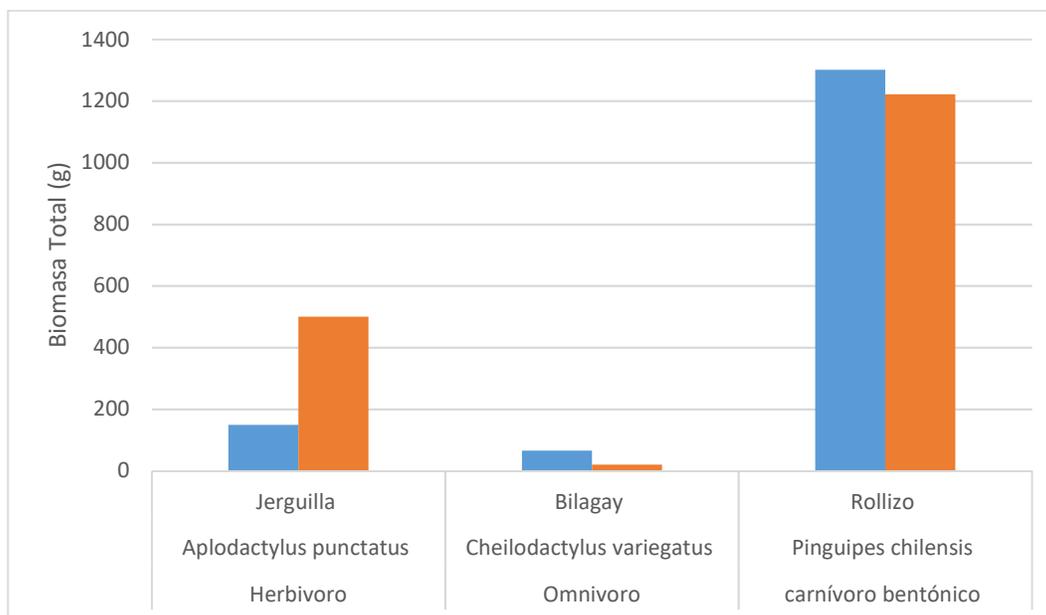


Figura 105. Biomasa total (g) de peces conspicuos en transectas 1 (barras azules) y 2 (barras naranjas).



Peces cr3pticos

Se registraron 5 especies de peces cr3pticos durante el censo: *Helcogrammoides chilensis* (Trombollito tres aletas), *Hypsoblennius sordidus* (Trombollito robusto), *Scartichthys viridis* (Borrachilla verde), *Scartichthys sp.* (Borrachilla) y *Chromis crusma* (Castañeta) (Figura 106). La especie con mayor abundancia fue *H. chilensis* con 18 individuos en la transecta 1, y 25 en la transecta 2. *S. viridis* present3 8 registros en la transecta 1, y 17 en la transecta 2. *Scartichthys sp.* y *C. crusma* solo se registran en la transecta 1, con 12 y 9 individuos respectivamente. En tanto, *H. sordidus* solo se registr3 en la transecta 2 con 2 individuos (Figura 107).



Figura 106. Peces cr3pticos en censo de peces a) Trombollito tres aletas (*Helcogrammoides chilensis*), b) Borrachilla verde (*Scartichthys viridis*).

La mayor biomasa (g) total fue registrada por la borrachilla verde (*S. viridis*) en la transecta 2 con 94,8g y en la transecta 1 con 54,3. *C. crusma*, en tanto, present3 una biomasa en la transecta 1 de 8,4g. Trombollito robusto (*H. sordidus*) presenta una biomasa total de 6,7g en la transecta 2. La biomasa total estimada para *H. chilensis* no super3 los 0,97g en la transecta 2. *Scartichthys sp.* (Borrachilla) no se incluy3 en el analisis debido a la falta de informaci3n respecto a intercepto y pendiente necesarias para la estimaci3n (Figura 108).

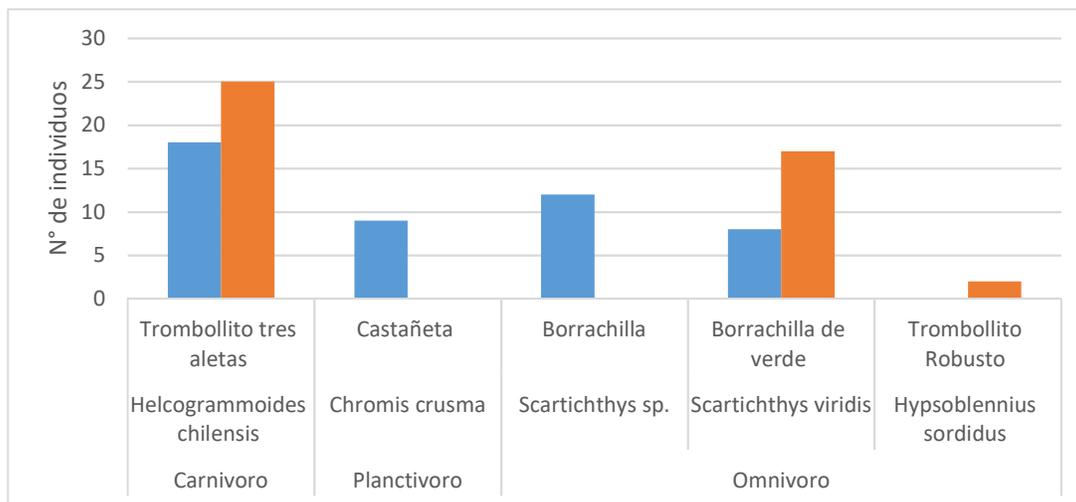


Figura 107. Abundancia de peces (N° Individuos) crípticos en transectas 1 (barras azules) y 2 (barras naranjas).

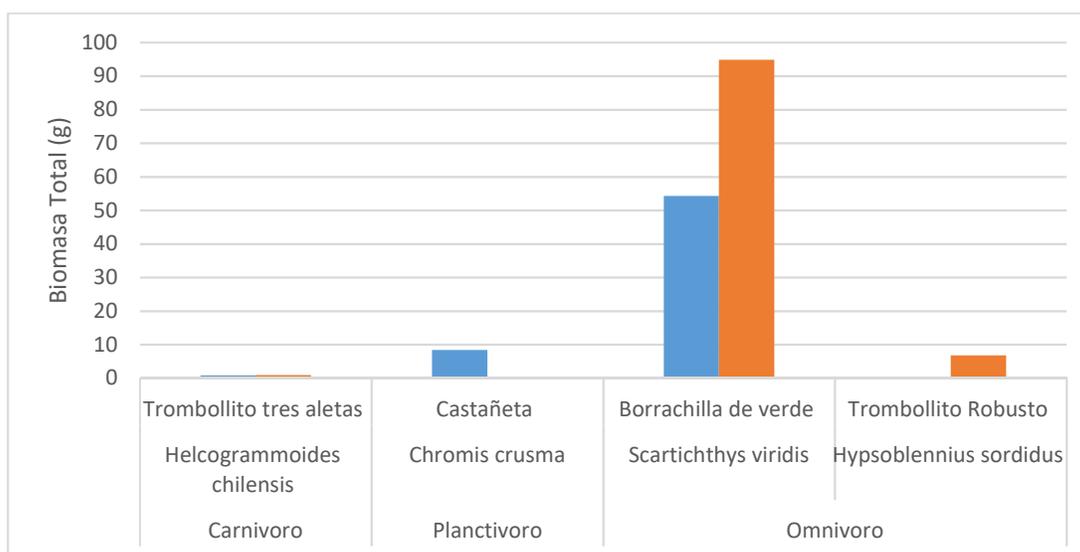


Figura 108. Biomasa total (g) de peces crípticos en transectas 1 (barras azules) y 2 (barras naranjas).

5.6.2.4 Exclusi3n de herbívoros

Luego de 7 meses, la experiencia de exclusi3n de herbívoros no evidencia asentamiento de *L. trabeculata* ni de otra especie de alga parda. Las unidades control presentan una media de 34% cobertura de sustrato libre, 30% cobertura de Ceramiales y 28% de cobertura de *Lithophyllum sp.* Las unidades con exclusi3n de herbívoros bent3nicos en tanto, presentan un 66% de sustrato libre, una



media de 26,5% de cobertura de Ceramiales y 7.25% de *Lithophyllum sp.* Las unidades de exclusión total presentan una media de 79.3% de sustrato libre, un 13.8% de cobertura de Ceramiales y un 5.75% *Lithophyllum sp.* (Figura 109).

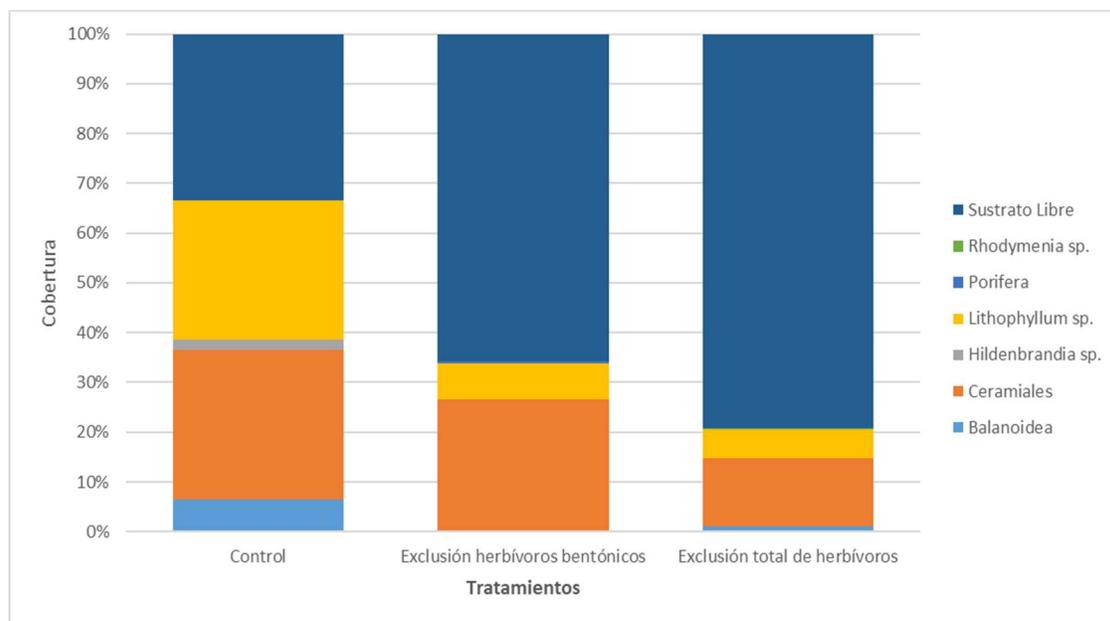


Figura 109. Porcentaje de cobertura de las unidades experimentales de exclusión de herbívoros luego de 7 meses de exposición en el AMERB Chungungo B.

5.6.3. Cultivo piloto de *L. trabeculata*

5.6.3.1. Primera siembra de *L. trabeculata*

El día 25 de octubre del 2018, se realizó la siembra de cabo inoculado con plántulas de *L. trabeculata*. El traslado de las plántulas se realizó el mismo día desde laboratorios de la UCN campus Coquimbo, con el correspondiente aviso de maniobra y visación de traslado de SERNAPESCA (Anexo 3) Las cabos fueron transportados en 20 bobinas de PVC de 5 cm de diámetro y 23 cm de alto en 2 cajas térmicas de 25 lt. Cada bobina contenía 10 metros de cabo inoculado. Las unidades de cultivo fueron inoculadas con esporofitos cultivados en hatchery, *sensu* Edding & Tala (2003).

Para la siembra los buzos enrollaron el cabo desde la bobina a la línea madre. En cada línea se sembraron 100 m de cabo. Cada trozo fue fijado a la línea madre por amarracables en sus extremos y en los tramos medios para que quedara fijo. Unidades de cultivos de 10 metros de cabos inoculados fueron enrollados en la línea madre y sujetos mediante amarracables (Figura 110).

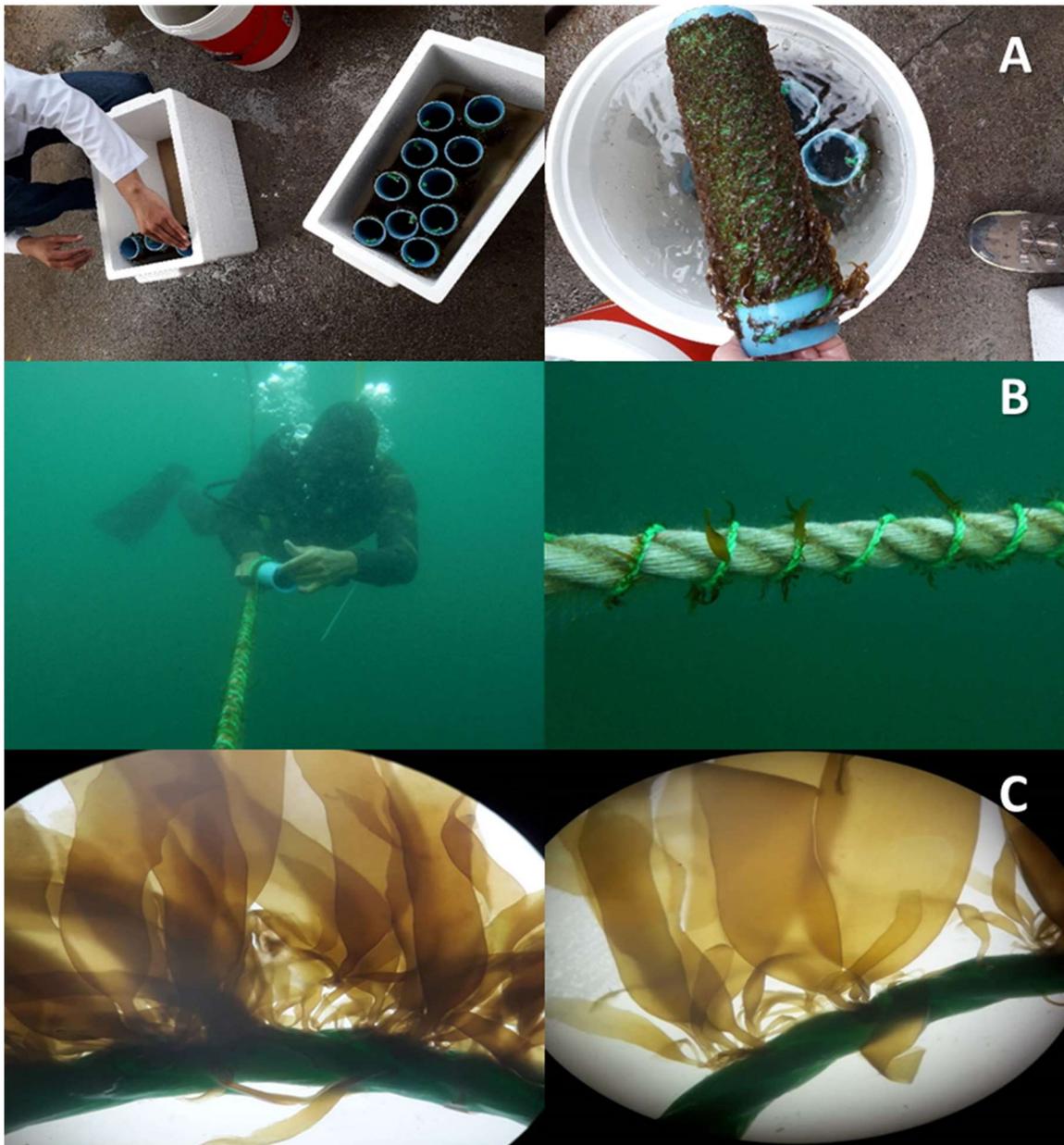


Figura 110. A) Transporte de bobinas con cabo inoculado. B) Buzo sembrando cabo inoculado con huiro *L. trabeculata* en lnea de cultivo. C) Fotografias de muestra de cabo inoculado con plntulas de *L. trabeculata* en la lupa para conteo de individuos.



La cuantificaci3n y medici3n de pl3ntulas de *L. trabeculata*, arroj3 un promedio de 11 pl3ntulas por cm de cabo inoculado sembrado en las l3neas de cultivo. Cabe se1alar que se perdi3 aproximadamente un 25% de las pl3ntulas en el traslado por desprendimiento desde el cabo por roce con otras bobinas. Aun as3, se estim3 una siembra de 224.600 pl3ntulas en 200 m de cabo. Respecto al tama1o de las pl3ntulas, el 9% midi3 sobre 1 cm de longitud (Figura 111) alcanzando un tama1o m3ximo de 4,5 cm (Figura 112).

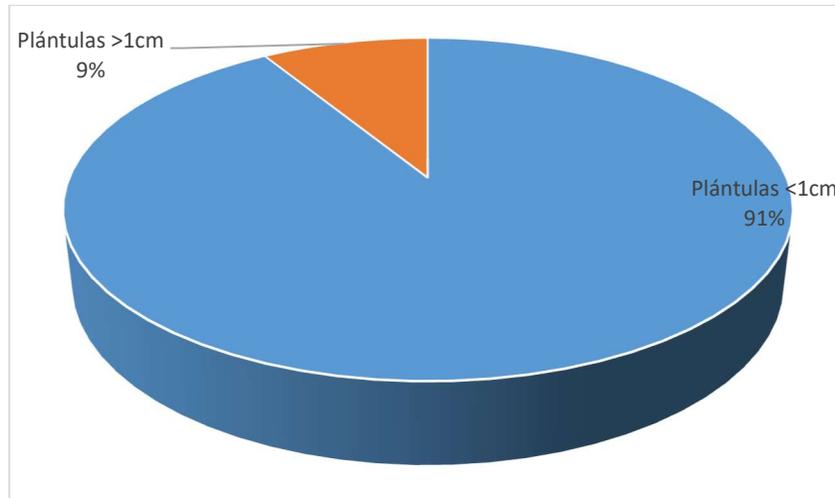


Figura 111. Porcentaje de pl3ntulas del cabo inoculado con tama1o superior a 1 cm del total de pl3ntulas contadas en la muestra.

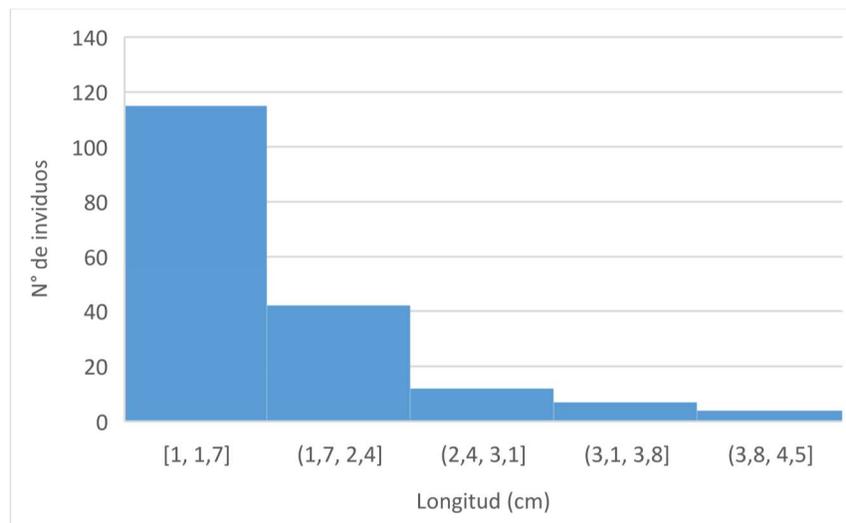


Figura 112. Frecuencia en n3mero de individuos de rango de tallas de pl3ntulas mayores a 1 cm de *L. trabeculata* en muestras de cabo inoculado sembrado el 25 de octubre del 2018.



El d3a 8 de noviembre del 2018, se realiz3 la primera mantenci3n de la l3nea quedando en evidencia, la mortalidad de la totalidad de las pl3ntulas sembradas en las l3neas de cultivo, y la colonizaci3n de briozoos, principalmente en la l3nea madre (Figura 113). El d3a 25 de noviembre, se obtuvieron nuevamente muestras de cabos, corrobor3ndose la p3rdida total del material biol3gico.



Figura 113. Cabo inoculado con *L. trabeculata* en monitoreo de la primera semana.

5.6.3.2. Segunda siembra de *L. trabeculata*

El d3a 11 de diciembre se realiz3 una segunda siembra de pl3ntulas con la cooperaci3n de los socios de la organizaci3n (Figura 114). Las pl3ntulas sembradas med3an en promedio una longitud de 4.14 cm \pm DE 1.46, y un promedio de 3 estipes \pm DE 2. La biomasa total promedio de los cabos encordados de fue de 1.5 g \pm DE 0.72. Luego de una semana, se realiz3 el primer monitoreo quedando en evidencia la mortalidad total de las pl3ntulas (Figura 115).



Figura 114. Fotografías de la segunda siembra de *L. trabeculata*. A) Encordado de plántulas, B) Siembra con apoyo de socios de la organizaci3n, C) Buzo amarrando cabos en la lnea madre y vista general del cultivo.

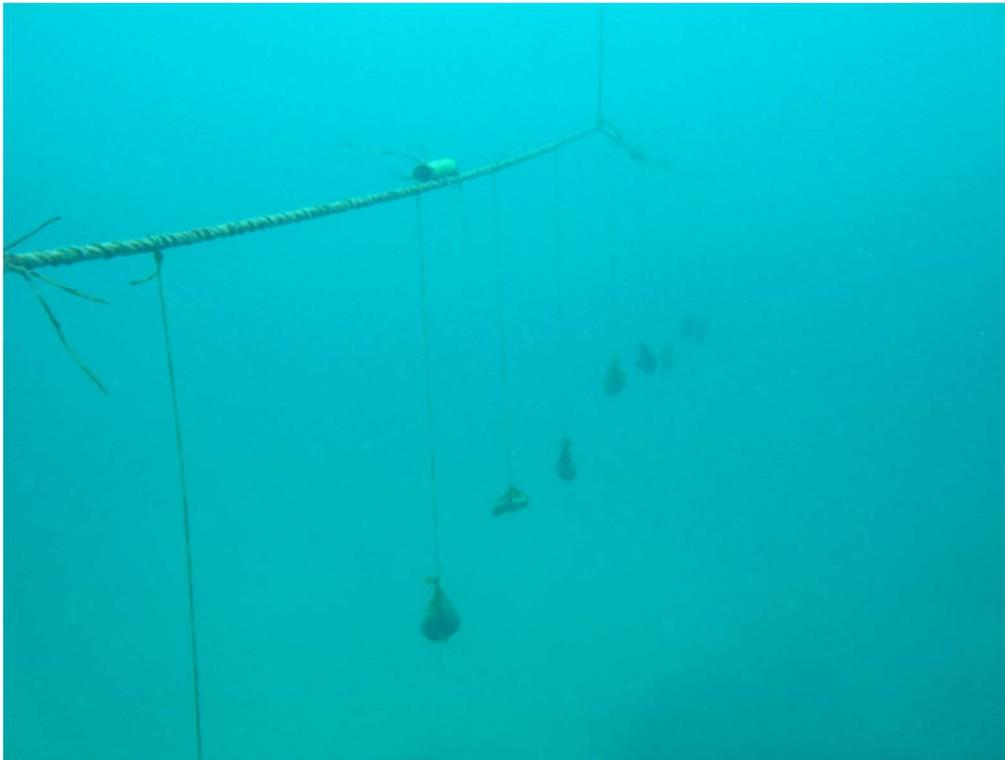


Figura 115. Lneas de cultivo de plántulas *L. trabeculata* en el primero monitoreo del día 18 de diciembre.

5.6.4. Repoblaci3n

5.6.4.1. Pruebas de adhesi3n al sustrato

De la experiencia del trasplante y adhesi3n al sustrato, luego de 12 días, se registr3 una supervivencia del 66% de las plántulas. La mortalidad se debió principalmente a la presencia de herbívoros. Se observ3 tambi3n una diferencia de tonalidad en la superficie de la roca debido a el asentamiento de pequeñas plántulas de algas que, debido al tamaño no se pudieron identificar (Figura 116). Dando pie a la hip3tesis de que existiría una restauraci3n natural de juveniles de algas al excluir herbívoros del área. Por lo cual se realizar3 una experiencia de exclusi3n de herbívoros en el AMERB.

Al día 8 de marzo, a los 11 meses desde la adhesi3n de las plántulas al sustrato, 2 algas siguen vivas lo que corresponde al 16,6% de supervivencia. En ellas se observ3 la presencia de estructuras reproductivas (soros) (Figura 117). El crecimiento de los ejemplares ha sido del orden del 30 y 31 cm de longitud y de 7 y 13 cm de diámetro del disco. Sin embargo, existe evidencia de p3rdida de tejido apical lo que nos indica que en otras condiciones de menor corriente y/o presi3n de herbívora el crecimiento podría ser mayor (Figura 118). El diámetro del disco aumento por sobre la superficie del disco que presentaba el adhesivo (Figura 119). Por lo tanto, queda en evidencia la factibilidad de utilizar esta t3cnica de adhesi3n en la actividad de repoblaci3n.

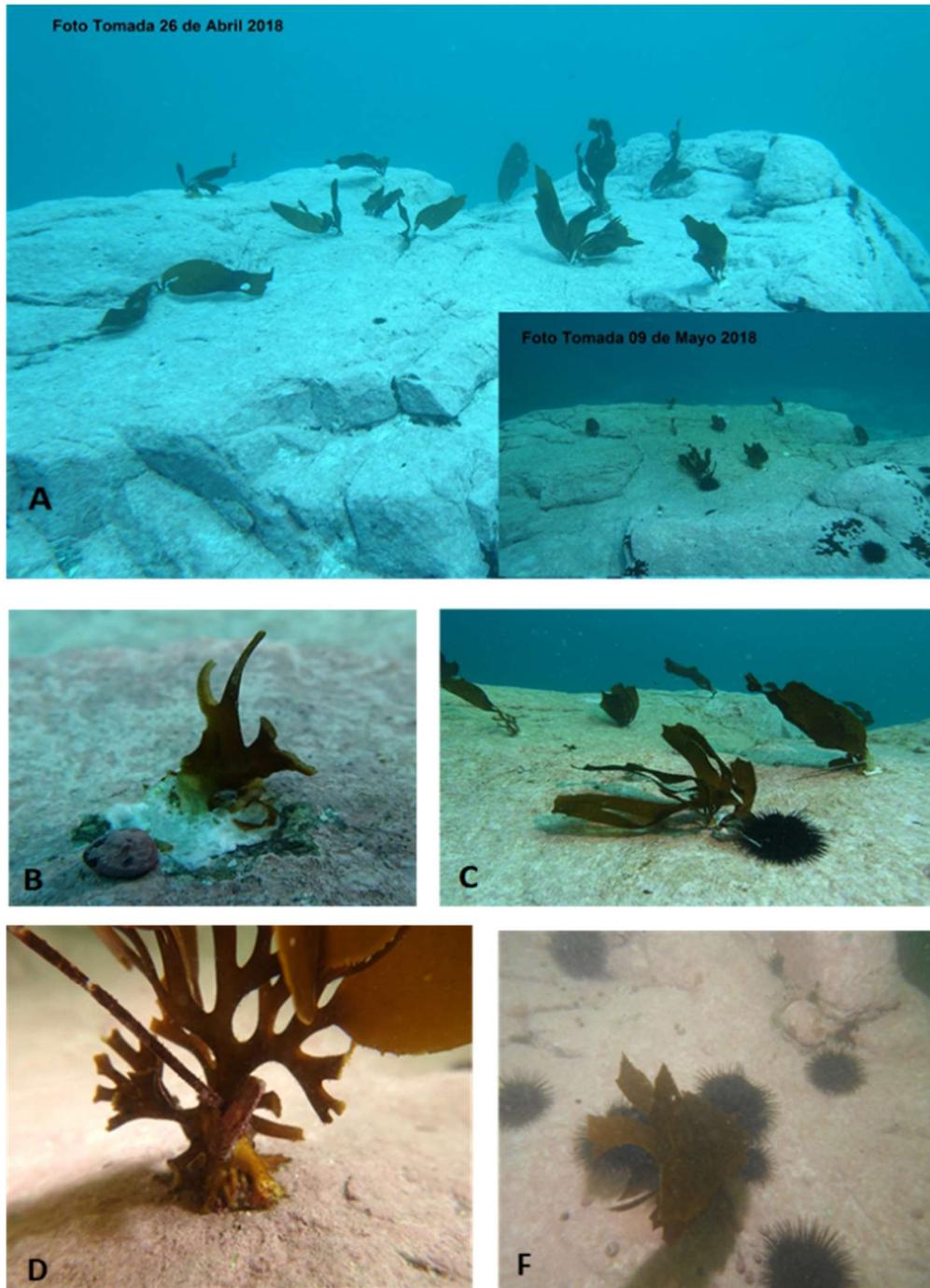


Figura 116. Resultados de experiencia de trasplante de plántulas al sustrato mediante pegamento cianoacrilato. A) Fotografía comparativa del momento del trasplante y 12 días después, B) Plántula sin fronda, C) Plántulas a los 12 días del trasplante. D) Alga adherida al sustrato después de 8 meses desde el trasplante. F) Evidencia de presión de herbivoría.

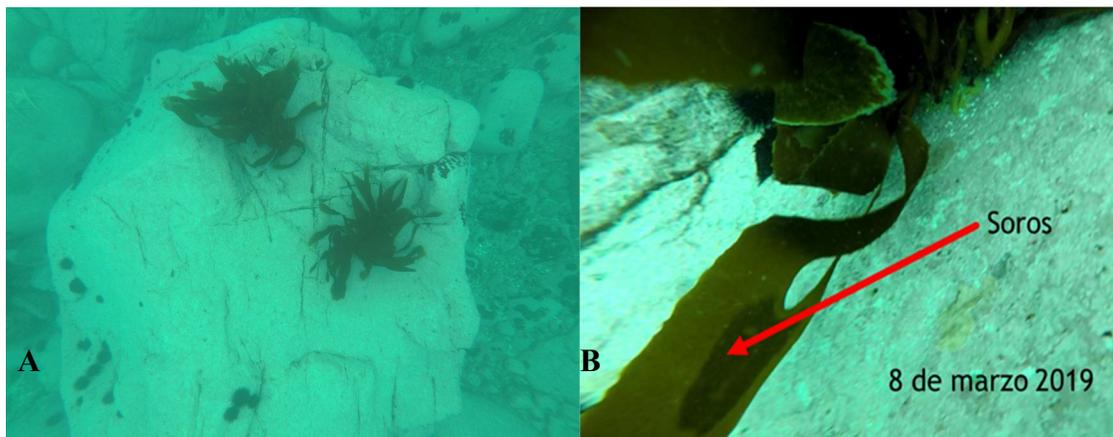


Figura 117. Ejemplares de *L. trabeculata* adheridas con cianoacrilato a los 11 de meses. A) Vista general del sector, B) Detalle de estructura reproductiva.

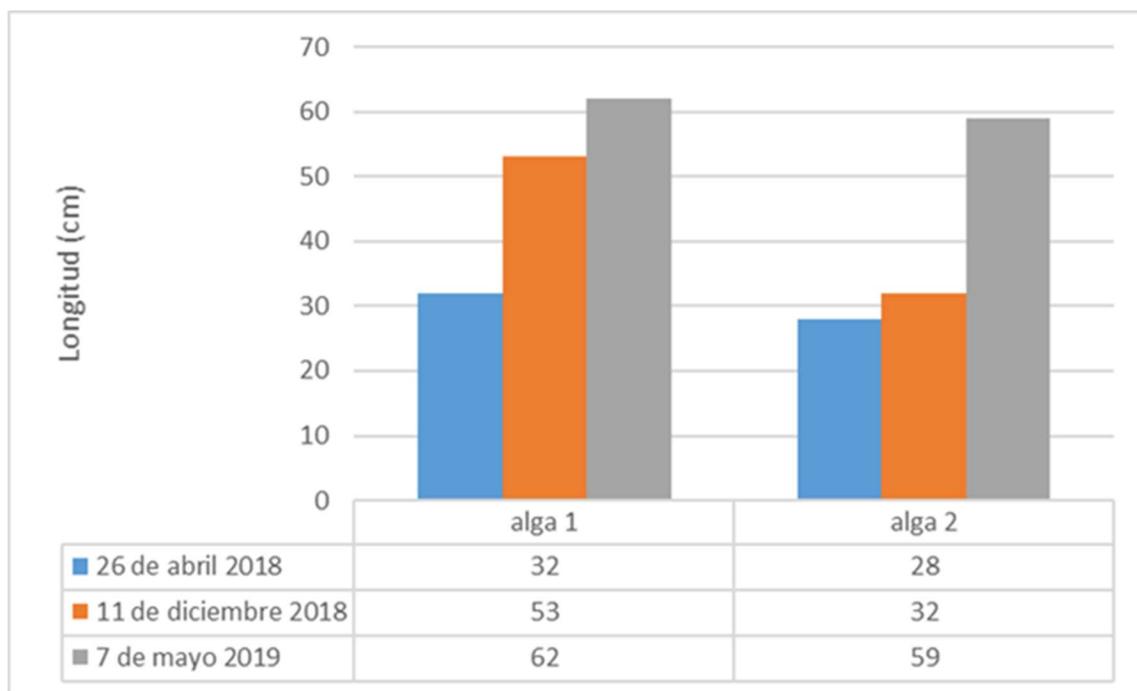


Figura 118. Tama1o de algas(cm) de pl3ntulas de *L. trabeculata* sobrevivientes en la prueba de adhesi3n.

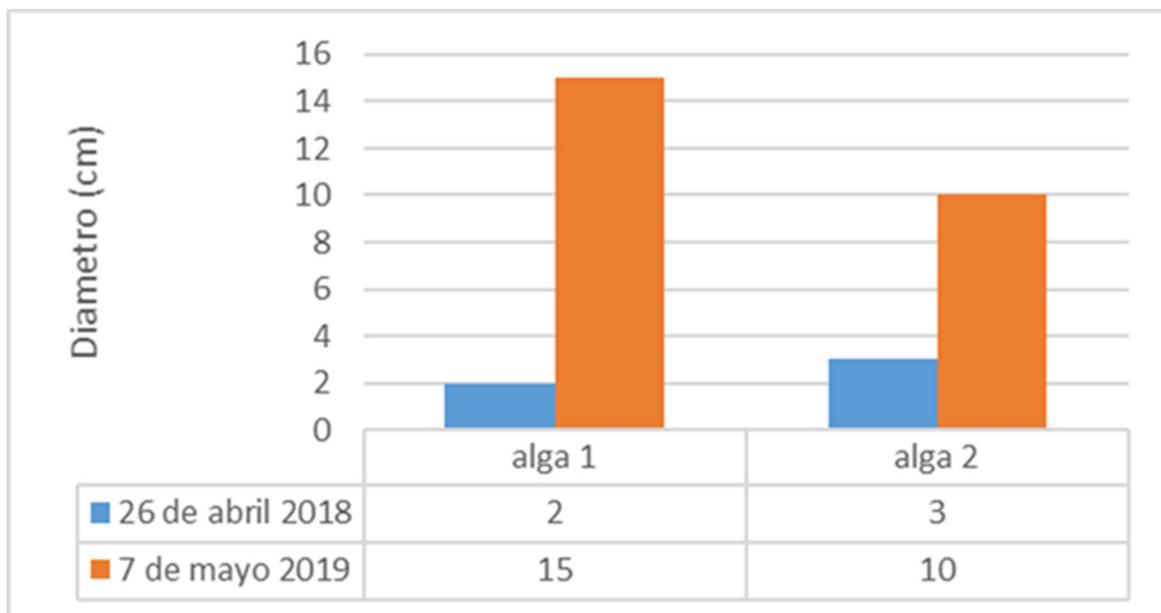


Figura 119. Diámetro del disco (cm) de plántulas de *L. trabeculata* sobrevivientes en la prueba de adhesión.

5.6.5. Monitoreo de parámetros físicos del área de estudio

Se obtuvieron registros de salinidad, intensidad lumínica y temperatura desde el 16 de agosto al 26 de diciembre del 2018.

Mediciones de oxígeno disuelto no se pudieron obtener dado que el equipo sufrió una avería en los sensores. Los datos de intensidad lumínica, presentaron inconsistencias por lo tanto no se considerarán para el análisis.

La salinidad varió entre 26 a 32 PSU durante el periodo de monitoreo con un promedio de 27.6 PSU (DE \pm 1.94).

La temperatura promedio del periodo de monitoreo fue de 14.4°C (DE \pm 1.28°). El mes de agosto se registró un promedio de 13.1°C (DE \pm 0.7), en noviembre de 15.3 °C (DE \pm 0.9) y en diciembre de 15.9°C (DE \pm 1.5). En este último mes se registró un máximo de temperatura de 19.2°C el día 7 de diciembre (Figura 120).

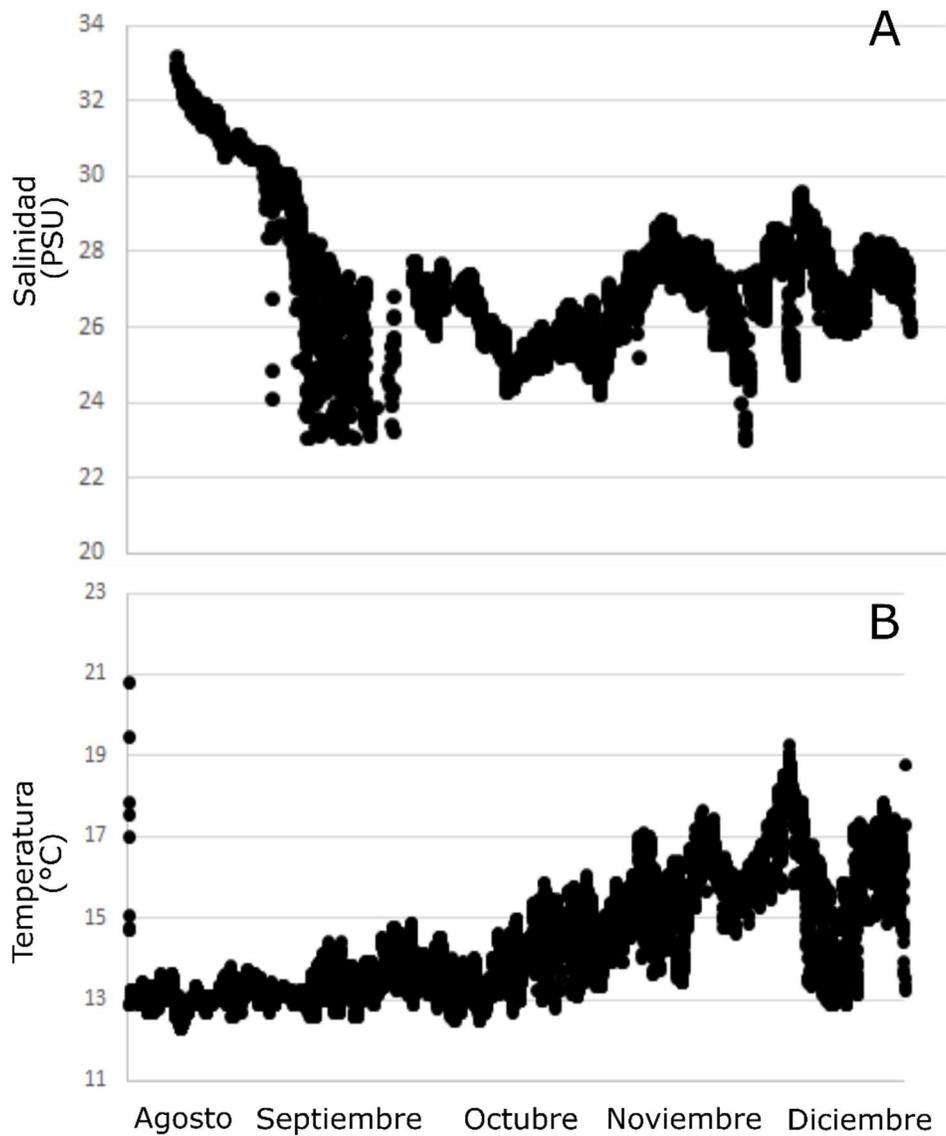


Figura 120. Valores de parámetros físicos para el sitio AMERB Chungungo B (2018). A) Oxígeno disuelto (mg l^{-1}), B) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Cada punto corresponde a una medición del equipo cada 30 minutos.



Objetivo específico 3: *Desarrollar una metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas.*

5.7. Revisión bibliográfica sobre variables claves y enfoques para identificar sitios óptimos

La selección óptima de sitios es una de las decisiones críticas en acuicultura. Proporciona la base para maximizar beneficios económicos y asegurar tanto la sustentabilidad, como las normas de calidad y permanencia del cultivo. Consecuentemente, tiene efectos directos en la viabilidad de la industria asociada. La selección de sitio tiene influencia directa sobre cualquier especie que se cultive, abarcando todos los aspectos productivos, y por lo tanto, en el desempeño económico (Llorente & Luna 2013), impacto ambiental (Wu 1995), aceptabilidad social (Katranidis et al. 2003) y en casos críticos, puede tener importantes implicancias para la salud humana (Jang et al. 2006).

En la literatura especializada más reciente, existe una amplia gama de enfoques para abordar la selección adecuada de sitios para acuicultura. Sin embargo, la mayoría de los autores apuntan esencialmente a la comparación de potencialidades de cultivo en la zona costera para ubicar las instalaciones en lugares deseables mediante el cálculo de idoneidad físico-oceanográfica (Silva et al. 2011, Liu et al. 2013), biológica (Cho et al. 2012) y social (Buitrago et al. 2005, Dapuyo et al. 2015) dentro de una escala geográfica amplia. En este contexto, el uso del Sistema de Información Geográfico (i.e., SIG) ha logrado ser complementado exitosamente con técnicas de Evaluación Multi-Criterio (i.e., EMC) (Buitrago et al. 2005, Gorsevski et al. 2012a, Ross et al. 2013, Brigolin et al. 2015, Dapuyo et al. 2015, Falconer et al. 2016). Esta herramienta está generalmente orientada a la especificación, creación y combinación de conjuntos integrales de criterios de evaluación, los cuales reflejan problemas y/o conflictos relevantes para la toma de decisiones dentro de un marco demográfico-ambiental complejo (ver Buitrago et al. 2005, Karthik et al. 2005, Longdill et al. 2008, Radiarta et al. 2011, Liu et al. 2013, Brigolin et al. 2015). En cada caso, la identificación, selección y recolección de la información disponible sobre el área de estudio para cada variable o factor físico y socio-ambiental necesario para construir una base de datos confiable es de suma importancia (Tabla 53). Tales datos generalmente corresponden a rangos medios esenciales para la supervivencia de los organismos o bien los rangos naturales del sitio (Buitrago et al. 2005).

5.7.1. Aproximaciones para selección de sitio en la literatura especializada

La visualización de la distribución de sitios aptos para acuicultura ha variado dentro de un contexto de planificación de uso de áreas. Inicialmente, modelos SIG multicapas generadas con criterios múltiples (SIG+EMC) estaban basados principalmente en potencialidades productivas y calidad de las especies. Éstas incluían presencia y densidad de bancos de la especie objetivo (e.g., *Mercenaria* spp.), calidad del agua, índices de contaminación (e.g., producción bacteriana, metales pesados) y límites óptimos para variables físicas de crecimiento y supervivencia (e.g., temperatura, salinidad, niveles de oxígeno entre otros factores oceanográficos) esencialmente para bivalvos y peces (Kapetsky et al. 1988, Ross et al. 1993, Aguilar-Manjarrez & Ross 1995, Arnold et al. 2000). Tales aproximaciones han avanzado en los últimos años hacia el mapeo multicriterio incluyendo mayor variedad tanto de fuentes de datos



como de variables. Por ejemplo, información emanada de sensores remotos usando el postproceso de datos satelitales para la detección remota de niveles de clorofila α , sólidos suspendidos y temperatura superficial ha sido correlacionada con el NO_3 superficial estableciendo disponibilidad de nutrientes para cultivos de algas laminariales (Liu *et al.* 2013). Esta misma caracterización ha sido luego ponderada por métodos de ranqueo EMC para seleccionar sitios idóneos de cultivo.

Por otro lado, destaca el uso de SIG y EMC integrados a resultados de modelos oceanográficos operacionales incluyendo EMC seleccionados a través del juicio de expertos como el Análisis de Procesos Jerárquicos o AHP (Saaty 1987, 2008). De esta manera, datos de diversas fuentes pueden ser ponderados para asignar el potencial/idoneidad de áreas (ver Nath *et al.* 2000, Buitrago *et al.* 2005, Longdill *et al.* 2008, Gorsevski *et al.* 2012, De Novaes Vianna & Filho 2018). Esta aproximación requiere conocimiento específico de los factores claves, así como, sus relaciones para obtener una reclasificación dentro de una escala común (estandarización). Cabe señalar que la confiabilidad del resultado es altamente dependiente de la precisión de los datos primarios usados en su construcción. Otras aproximaciones consideran una mayor cantidad de información relacionada con la caracterización espacial del ecosistema bajo evaluación. Estas incluyen el uso del índice de idoneidad de hábitat (HSI por su sigla en inglés), cuyos resultados también son proyectados sobre modelos SIG. Sin embargo, esta aproximación requiere de múltiples estaciones de evaluación de parámetros ambientales (e.g., $n = 40$) para obtención de datos primarios (Cho *et al.* 2012, Rojas & Espinoza 2018). En la misma línea, algunas experiencias han demostrado la utilidad de modelos de distribución de especies (SDMs), los cuales predicen la distribución espacial de especies basado en el análisis de condiciones y sitios de presencia/ ausencia, en donde el modelo evalúa los parámetros en los sitios e identifica similitudes a lo largo del resto del área de estudio (Elith & Leathwick 2009, Falconer *et al.* 2016). En otras palabras, se extrapolan datos de la ubicación de especies en el espacio basado en correlaciones de ocurrencia con grupos de variables ambientales. Es común en este tipo de modelos la interpolación de ponderación de distancia inversa, la cual asume que los datos de abundancia de organismos en una posición conocida (i.e., el sitio de muestreo) poseen mayor importancia o influencia sobre la interpolación. A su vez esta importancia disminuye al aumentar la distancia al punto conocido (Schloeder *et al.* 2001, Rojas & Espinoza 2018). Este supuesto requiere, sin embargo, disponibilidad de bases de datos sobre distribución y abundancia de especies y es deseable una caracterización más completa del tipo de hábitat, además de las capas espaciales de cada variable clave.

En Chile destaca el desarrollo reciente de modelos integrados de selección de sitio que combinan herramientas SIG con interacciones entre el ambiente, los recursos pesqueros, y capacidad de carga (e.g., Artificial Neural Networks y modelo FARM), además de variables sociales para la predicción y planificación de acuicultura de bivalvos (e.g., *Crassostrea gigas*) (Silva *et al.* 2011, Silva *et al.* 2012). La metodología integrativa incluye el análisis y eventual mapeo de restricciones sociales y regulatorias en las áreas propuestas, EMC (datos cualitativos de sedimento, calidad de agua y ecología), factores basales de cultivo (crecimiento, supervivencia, calidad del producto y sensibilidad ambiental). Finalmente, el modelo analiza la producción, resultados socio-económicos y efectos ambientales de las áreas seleccionadas como óptimas usando la herramienta FARM. Adicionalmente, el trabajo de Silva *et al.* (2011), ilustra el uso de aproximaciones metodológicas integrativas para asistir la toma decisiones para el desarrollo de un enfoque ecosistémico de la acuicultura con bases de datos limitadas. La Tabla 53 resume una serie de factores que han sido considerados para la construcción de herramientas de planificación espacial y selección de sitios para actividades de acuicultura. Esta



clasificación es parcial y tiene como objetivo reconocer los indicadores más comunes y así generar una nueva clasificación enfocada en acuicultura de algas a pequeña escala.

Tabla 53.
Factores y parámetros claves para desarrollar evaluación SIG Multi-Criterio para selección de sitio comúnmente usados en la literatura.

Factores	Parámetros/variables	Fuente
Oceanográficos	Batimetría y rangos mareales	(Buitrago et al. 2005, Dapuetto et al. 2015, Rojas & Espinoza 2018)
	Exposición/ protección al oleaje	(Buitrago et al. 2005, Hill et al. 2010)
	Velocidad de las corrientes	(Brigolin et al. 2015)
	Rangos de temperatura superficial	(Pérez et al. 2003, Buitrago et al. 2005, Rojas & Espinoza 2018)
	Salinidad - Conductividad	(Buitrago et al. 2005, Rojas & Espinoza 2018)
	Oxígeno Disuelto	(Buitrago et al. 2005, Rojas & Espinoza 2018)
	Parámetros de calidad de agua, sólidos suspendidos, turbidez, etc.	(Pérez et al. 2003, Buitrago et al. 2005, Karthik et al. 2005, Silva et al. 2012, Liu et al. 2013)
	Clorofila a	(Liu et al. 2013)
	Nutrientes	(Liu et al. 2013)
	Metales pesados	(Silva et al. 2011)
	Parámetros meteorológicos	(Karthik et al. 2005)
Ecológicos	Distribución de vegetación marina	(Arnold et al. 2000, Buitrago et al. 2005, Dapuetto et al. 2015)
	Presencia/ frecuencia de floraciones de microalgas	(Buitrago et al. 2005)
	Presencia/ ausencia de hábitats sensibles	(Brigolin et al. 2015, Rojas & Espinoza 2018)
	Indicadores de presión sobre el sistema bentónico	(Brigolin et al. 2015)
	Parámetros de calidad del suelo	(Karthik et al. 2005)
	Disponibilidad de ítems alimenticios para especie objetivo (presas)	(Rojas & Espinoza 2018)
	Abundancia de macroinvertebrados	(Longdill et al. 2008, Rojas & Espinoza 2018)
	Depredadores	(Buitrago et al. 2005)
Logísticos	Accesibilidad del sitio	(Buitrago et al. 2005)
	Clasificación de la zona de explotación (de acuerdo a su viabilidad de cosecha)	(Buitrago et al. 2005)
	Presencia/ Ubicación de muelles, embarcaderos, pontones, rampas	(Dapuetto et al. 2015)
	Infraestructura disponible en el sitio	(Karthik et al. 2005, Dapuetto et al. 2015)
	Riesgo de rompimiento de instalaciones	(Brigolin et al. 2015)
	Cercanía a zonas urbanas o de abastecimiento	(Dapuetto et al. 2015)
	Fuentes de polución	(Buitrago et al. 2005, Dapuetto et al. 2015)
	Fuentes de descarga industrial	(Buitrago et al. 2005)
Cultivo	Densidad de cultivo	(Silva et al. 2011, Silva et al. 2012)
	Tasa de crecimiento	(Brigolin et al. 2015)
	Detalles sobre ingeniería de cultivo	(Karthik et al. 2005)
	Metales pesados	(Silva et al. 2011)
	Contaminantes y/o patógenos	(Arnold et al. 2000)
Regulatorios y sociales	Conflictos de uso del borde costero y/ prohibiciones (territorios de pesca, turismo, navegación, AMP, ECMPO)	(Buitrago et al. 2005, Karthik et al. 2005, Silva et al. 2012, Brigolin et al. 2015, Dapuetto et al. 2015)
	Presencia de organizaciones sociales	(Buitrago et al. 2005)



5.8. Levantamiento de información productiva y ambiental en sitios de estudio

5.8.1. Evaluación de factores de crecimiento y supervivencia de cultivos de algas

Los datos fueron obtenidos desde las evaluaciones de crecimiento en las actividades de cultivo experimental realizadas en los sitios de estudio de Dalcahue y Auchac (Sección 5.5.). Se incluye tasa de relativa de crecimiento standard (SGR) para *M. pyrifera* considerando el período de crecimiento máximo alcanzado. De manera similar, la biomasa de epífitos por (g peso húmedo metro lineal⁻¹) corresponde al máximo alcanzado durante el período de cultivo. Ambos parámetros son incorporados en la Tabla de Rangos de Aptitud por Factor desarrollada en la Sección 5.9.2.

5.8.2. Evaluación ambiental del sitio

Los valores incorporados comprenden rangos medios óptimos encontrados en la revisión bibliográfica de literatura especializada en acuicultura de algas y estudios oceanográficos. Si bien, los rangos obtenidos abarcan valores observados *in situ* durante los monitoreos ambientales de los sitios de cultivo experimental de Chiloé (Sección 5.5.), se privilegió el uso de rangos más amplios basados en literatura especializada. Tales parámetros son incorporados en la Tabla de Rangos de Aptitud por Factor desarrollada en la Sección 5.9.2.

5.8.3. Evaluación de factores antrópicos inherentes a los sitios de cultivo

Los factores antrópicos que afectan la aptitud de sitio corresponden a factores socioeconómicos y logísticos actualmente presentes en OPA asociadas a cultivo de algas. Esta información ha sido determinada mediante una extensiva campaña de evaluación social en la cual se entrevistaron a 48 expertos multidisciplinarios (Academia, Industria y Organizaciones de Pescadores Artesanales) con reconocida experiencia en investigación, comercialización y cultivo de algas a lo largo del país (Resultados Etapa 1 del Programa). Los principales factores antrópicos (socioeconómicos/logísticos) para la selección de aptitud de sitio son incorporados en la Tabla de Rangos de Aptitud por Factor desarrollada en la Sección 5.9.2.

5.9. Análisis de información para identificar sitios óptimos para APE de algas

5.9.1. Identificación, selección y clasificación de las restricciones legales/sociales

5.9.1.1. Revisión bibliográfica de la normativa para la APE

La APE está bajo la influencia administrativa y legal de cinco ministerios: Justicia; Defensa; Secretaría General de la Presidencia; Economía, Fomento y Reconstrucción y Salud. El marco normativo para el desarrollo de la APE se puede dividir en: a) sectorial, b) ambiental, c) sanitario, y d) uso del espacio, lo cual pueden entrar en conflicto, por ejemplo, con uso de espacios costeros marinos pueblos



originarios, áreas marinas costeras protegidas, zona costera para ejercicios navales, tracks de navegación y puertos.

a) Marco normativo para desarrollo sectorial

D.S. 430/91 Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA)

D.S. 290/93. Reglamento de Concesiones y Autorizaciones de Acuicultura
Decretos de AAA

D.S. 550/92 reglamento sobre Limitaciones a las áreas de concesiones o Autorizaciones de Acuicultura

b) Marco normativo ambiental

Ley 19.300 Bases General del Medio Ambiente

D.S. 95/2002 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

D.S. 320/2001 Reglamento Ambiental para la acuicultura (RAMA)

c) Marco normativo sanitario

D.S. 319/2001 Reglamento Sanitario para la acuicultura (RESA)

R. Ex. N° 1503/13 Establece tramos de clasificación y porcentaje de reducción de siembra en los centros de cultivo. Fija puntaje y ponderación de los elementos que componen la clasificación de las agrupaciones de concesiones, los tramos de esta última y las correspondientes densidades de cultivo.

d) Uso del borde costero y actividad de acuicultura de pequeña escala

El estudio territorial de la APE considera la actual zonificación del borde costero designada por la Comisión de uso de Borde Costero de la Subsecretaría para las Fuerzas Armada acorde a la Política Nacional de Uso del Borde Costero. Este análisis se realizó en el contexto normativo y de las administraciones con competencias en las materias de acuicultura y medioambiente considerando aspectos como:

- Ocupación del espacio: requisitos y condiciones de ocupación, proceso de tramitación, tiempos, tasas, organismos implicados, etc.
- Actividad de la acuicultura: condiciones de autorización, administraciones y organismos implicados en el proceso, plazos de tramitación y otorgamiento, etc.
- Medioambiente: restricciones, programas de vigilancia ambiental, tasas ambientales, etc.

e) Leyes y reglamentos considerados

D.F.L Ley 340/60 Sobre Concesiones Marítimas

D.S. 430/91, Ley 18.892, 20.256, 20.437, 20.434, 20.451, 20.657 LGPA.

D.S. 550/92 Reglamento sobre limitaciones a las áreas de concesiones o autorizaciones de acuicultura.

D.S. 290/93. Reglamento de Concesiones y Autorizaciones de Acuicultura

D.S. 475/94 Política Nacional de Uso del Borde Costero del Litoral de la República.

D.S. 125/2003 Aprueba Política Nacional de Acuicultura y Pesca y Crea Comisión Asesora Presidencial para su implementación

D.S. 499/94 Reglamento del Registro Nacional de Acuicultura.

Decreto Área costera Reservada para Usos preferente portuario



- D.S. 355/95 Reglamento sobre Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos.
- D.S. 314/04 Reglamento de Actividades de Acuicultura en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos.
- D.S. 337/04 Nómina oficial de Caletas de Pescadores Artesanales.
- D.S. 297/05 Reglamento para la Instalación de Colectores
- D.S. 383/07 Reglamento que fija los niveles mínimos de operación por especie y área.
- Ley 20.249/08 Crea el Espacio Costero Marino de los Pueblos Originarios.
- D.S. 134/08 Reglamento de la ley N° 20.249 que Crea el Espacio Costero Marino de los Pueblos Originarios.

5.9.1.2. Restricciones para Acuicultura de algas

- 1) *Las regiones de Los Lagos y Aysén se encuentran cerradas para habilitar nuevas CCAA, con excepción de Acuicultura a Pequeña Escala de algas siempre y cuando se trate de especies cultivadas directamente al sustrato, i.e., "pelillo" (A. chilensis).* La suspensión del otorgamiento de concesiones de acuicultura en La Región de Los Lagos se encuentra señalada en el artículo 2° de la Ley 20.434. Sin embargo, el artículo 4° de la ley 20.825, modifica la LGPA (<http://www.subpesca.cl/portal/615/w3-article-88020.html>), haciendo excepción para la APE de Algas (LEY 20.825, p. 107) como sigue: "Suspéndase el ingreso y otorgamiento de solicitudes de concesiones de acuicultura, cualquiera sea la especie o grupo de especies a cultivar, con excepción de la acuicultura de pequeña escala de algas, en la Región de Los Lagos, entre la fecha de la publicación de la presente ley en el Diario Oficial y el 8 de abril de 2020). Si bien, el artículo 4° de la ley 20.825, hace una excepción APE de algas en la región de los Lagos, en la práctica, al no contar con una definición de APE en el actual cuerpo normativo, se comenzó aplicar la Resolución (SUBPESCA) N° 825 de 2012, la cual sólo permite el ingreso de cultivos de macroalgas al sustrato (solo se permite ingresar a solicitud, no otorgarla)
 - 2) *Restricción de cultivo APE del 40% de la superficie de AMERB: DS N° 96-2016.* Las actividades de acuicultura en AMERB tienen limitaciones de superficie, las cuales se encuentran señaladas en el Reglamento de Actividades de Acuicultura en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (<http://www.subpesca.cl/portal/615/w3-article-92167.html>). Artículo 4°: "Se autorizará hasta un 40% de la superficie decretada como área de manejo para destinarla a la acuicultura de especies nativas.
 - 3) *La Acuicultura de algas no se puede superponer a otra concesión de cultivo.* RAMA (DS 320-2001). Aunque no es necesaria una distancia mínima para el cultivo de algas, este no se puede superponer a otra concesión. El cumplimiento de las distancias se encuentra señaladas en el RAMA (<http://www.subpesca.cl/portal/615/w3-article-89961.html>).
- Artículo 11°.- Los centros con sistemas de producción extensivo ubicados en porciones de agua y fondo deberán mantener una distancia mínima de 200 metros entre sí y de 400 metros respecto de centros con sistemas de producción intensivo. Quedarán excluidos de esta exigencia los cultivos de macroalgas.
- 4) *Restricciones en la Política Nacional de Acuicultura (D.S. 125/2003).* La PNA estableció lineamientos para el desarrollo de la acuicultura sustentable, que consideran a la APE. Esta se entiende como la actividad de acuicultura de pequeños productores que involucra particulares, agrupaciones legalmente constituidas y comunidades locales (Dantagnan *et al.* 1999). Se



caracterizan por su baja inversión, capital de trabajo y nivel de elaboración del producto, donde predominan los cultivos extensivos. Aunque su definición operacional no se encuentra definida en la legislación, uno de los criterios señala aquellos cultivos cuya superficie total por persona es menor a 10 há y cuya producción en mar no supere las 500 ton año⁻¹ de algas y 300 ton año⁻¹ de moluscos (Proyecto FIP 2004-26).

- 5) *¿Qué recursos considera la Acuicultura a Pequeña Escala?* Principalmente mitílidos bivalvos (*Mytilus chilensis* y *Ostrea chilensis*) en sistemas suspendidos y el alga pelillo en concesiones de playa. Sin embargo, existe gran interés en aumentar la oferta acuícola, incorporando experimentalmente piures, erizos y otras especies de algas. También existe interés por desarrollar acuicultura de algas en régimen de sobreexplotación del género *Lessonia*.
- 6) *Restricciones sociales ¿Quién pueden ejercer Acuicultura a Pequeña Escala?* Titulares de CCAA y sindicatos de pescadores artesanales a cargo de AMERB de todo Chile.
- 7) *Conflictos de uso del borde costero.* Queda excluida la APE en zonas de ejercicio naval, tráfico marítimo, puertos u otros proyectos productivos (diques, plataformas petroleras, etc.).

5.9.2. Identificación, selección y clasificación de factores ambientales de aptitud de hábitat

5.9.2.1. Revisión bibliográfica de factores ambientales de aptitud de hábitat de algas pardas

Las especies *L. trabeculata* y *M. pyrifera* fueron consideradas como principales para el estudio de selección de sitios para APE de algas. Se considera a *M. pyrifera* como género monoespecífico, el cual inicialmente contenía cuatro especies (*M. pyrifera*, *M. integrifolia*, *M. angustifolia* y *M. laevis*). Sin embargo, numerosos trabajos recientes sobre inter-fertilidad, genética molecular y plasticidad morfológica han concluido sobre su mono-especificidad (Coyer et al. 2001; Demes et al. 2009; Macaya & Zuccarello 2010). Para la identificación y selección de los factores ambientales que influyen en la biología y aptitud de hábitat (espacio geográfico) para la APE de algas pardas, se recolectó información sobre las variables abióticas y bióticas y al conjunto de sitios que la especie ha tenido tiempo de visitar, o "explorar" desde una fecha dada (Figura 121).

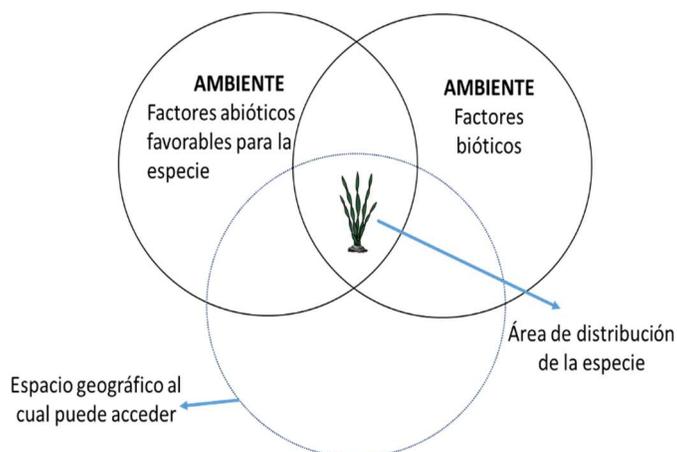


Figura 121. Representación del hábitat (espacio geográfico) de algas pardas.



Se revisaron bases de datos institucionales (IFOP, SUBPESCA, SERNAPESCA) y en sistemas de obtención de información electrónicos (Web of Science, Scient Direct, Scopus). Se obtuvo información biológica, ecológica, pesquera de las especies de algas pardas que se encuentran en régimen de explotación en Chile. A continuación, se presentan las referencias obtenidas desde los servidores de bases de datos electrónicas (visualizados por área de investigación) y que se encuentran almacenadas y disponibles para su uso en librerías de ordenamiento bibliográfico (e.g., EndNote). Las Figuras 122 y 123 muestran el número de referencias por especie y área de investigación para *L. trabeculata* y *M. pyrifera*, respectivamente, obtenidas con la herramienta de búsqueda y análisis disponibles en el sitio Web of Science (<https://apps.webofknowledge.com/>).



Figura 122. Referencias por especie y área de estudio de *L. trabeculata* obtenidas de Web of Science.

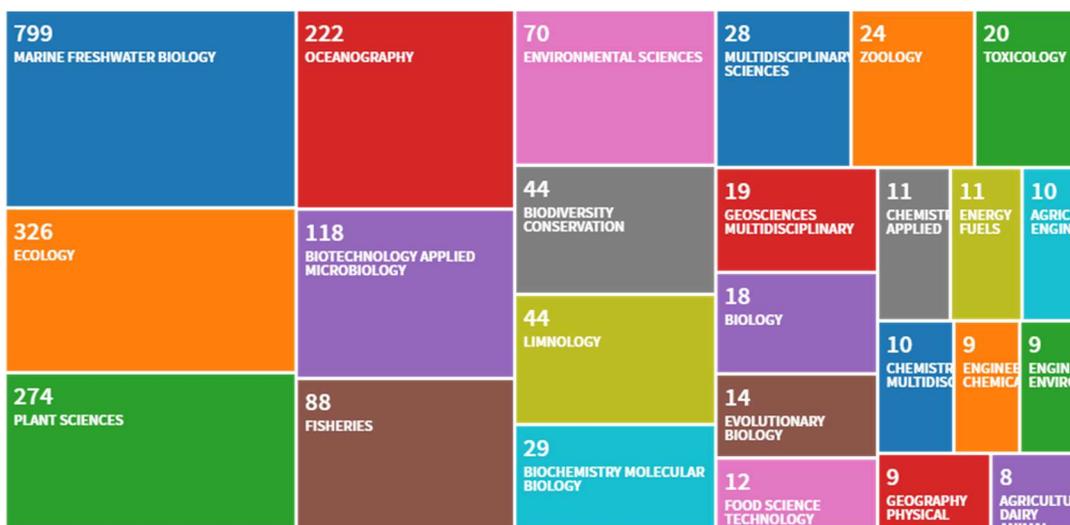


Figura 123. Referencias por especie y área de estudio de *M. pyrifera* obtenidas de Web of Science.

**Tabla 54.**

Referencias obtenidas de las bases de datos de SUBPESCA (11 Proyectos FIPA; <http://www.subpesca.cl/fipa/613/w3-channel.html>).

Proyecto	Año	Título
FIP 2000-19	2002	Estrategias de explotación sustentable algas pardas en la zona norte de Chile
FIP 2004-26	2006	Diagnóstico de la acuicultura de pequeña escala en Chile
FIP 2005-15	2007	Evaluación ambiental y sanitaria de la acuicultura de pequeña escala
FIP 2005-22	2008	Bases ecológicas y evaluación de usos alternativos para el manejo de praderas de algas de la iii y iv regiones
FIP 2005-44	2007	Bases biológicas para el manejo de macroalgas pardas en la xii región
FIP 2006-25	2008	Diagnóstico biológico pesquero del recurso algas pardas en la v y vi región, bases biológicas para la formulación de un plan de administración
FIP 2008-38	2010	Evaluación de la biomasa de praderas naturales y prospección de potenciales lugares de repoblamiento de algas pardas en la costa de la xv, i y ii regiones
FIP 2013-23	2015	Estudios de emplazamiento de áreas de acuicultura de pequeña escala en la zona norte
FIP 2013-24	2015	Estudios de emplazamiento de áreas de acuicultura de pequeña escala en la zona sur (vi a xiv regiones)
FIP 2014-25	2016	Identificación, caracterización y vulnerabilidad al cambio climático de hábitat esenciales asociados a recursos hidrobiológicos de importancia económica en Chile
FIPA 2016-45	2018	Diagnóstico de la situación de la pesquería de algas pardas y propuesta de manejo en la v y vi regiones

5.9.2.2. Información biológica y ecológica de las algas pardas

Las especies de algas pardas (*Phaeophyceae*), reúnen un gran número de especies con diversa morfología (desde pequeñas algas filamentosas de estructura simple hasta especies con gran complejidad estructural y decenas de metros). En Chile, cuatro especies constituyen recursos comerciales: *L. trabeculata*, *L. nigrescens*, *M. pyrifera* y *D. antarctica*. Todas estas especies pertenecen al orden Laminariales y presentan una distribución latitudinal diferenciada (Figura 124). *L. nigrescens* se distribuye entre Perú central y Puerto Montt, *L. trabeculata* (especie endémica) desde Antofagasta a Puerto Montt (23°S-41°S), mientras que *M. pyrifera* habita en la costa de zonas templadas desde Alaska a México y desde Perú hasta Magallanes, islas Subantárticas y Patagonia Argentina, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda. Este estudio no considera *D. antarctica* ni *L. nigrescens*, la cual comprende un complejo de dos especies crípticas con distinta extensión geográfica: *L. berteriana* (Perú central hasta Coquimbo) y *L. spicata* (Coquimbo hasta Puerto Montt) (Gonzalez et al. 2012).

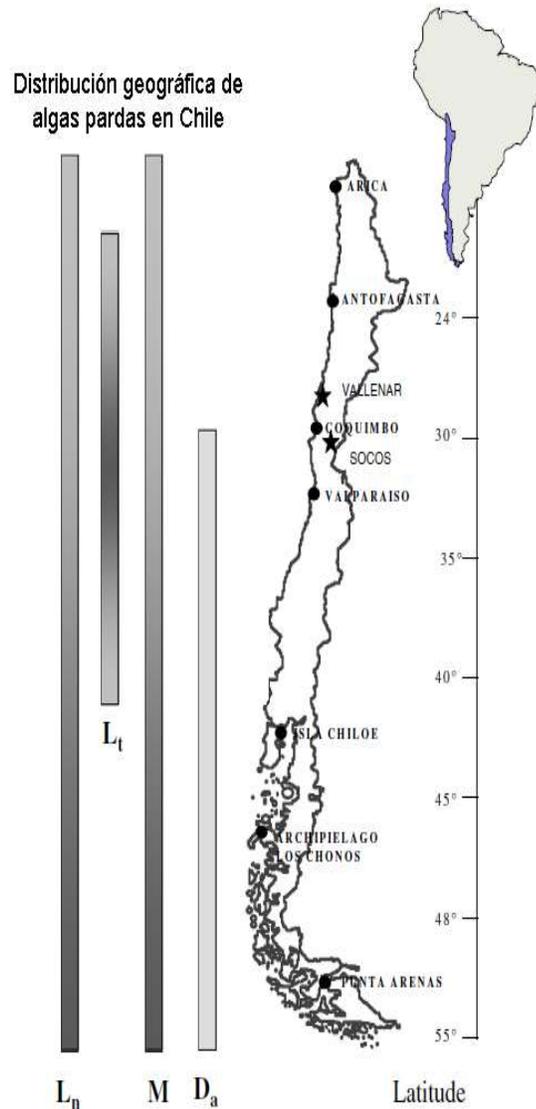


Figura 124. Distribuci3n de algas pardas a lo largo de la costa de Chile. Se representa mediante una barra continua la distribuci3n latitudinal de *Lessonia nigrescens* (L_n); *Lessonia trabeculata* (L_t), *Macrocystis pyrifera* (M) y *Durvillaea antarctica* (D_a) (Modificado de V3squez 2008).

L. trabeculata es un alga de gran tama1o que habita en zonas rocosas, desde el intermareal al submareal, hasta profundidades de alrededor de 30 m. Se distingue de las otras especies del g3nero por la presencia de trab3culas en las cavidades corticales de la l3mina y estipe, y la morfolog3a externa del disco adhesivo o gramp3n, siendo la presencia de cavidades corticales una caracter3stica constante de la especie (Hoffman & Santelices, 1997). A su vez, *M. pyrifera* est3 representada por plantas (esporofitos) erectas de gran tama1o, siendo t3picamente submareales encontr3ndose hasta los 25 m (Graham et al. 2007). 3stas se adhieren firmemente al sustrato por un disco adhesivo rastreo, formado por un rizoma macizo, aplanado y alargado. De los m3rgenes del disco emergen numerosos



hapterios ramificados, de longitud variable. A su vez, del rizoma se levantan los estipes, erectos y subcilíndricos, en cuya base suelen dividirse de una a tres veces, ya sea dicot3mica o subdicot3micamente. En el resto de su longitud los estipes son cilíndricos y se ramifican unilateralmente, a intervalos regulares, constituyendo los pedicelos de hojas laminares. Las hojas son largas y angostas de superficie rugosa y márgenes levemente dentados. En las hojas adultas, el pedicelo es corto y soporta un flotador o aerocisto piriforme. La Tabla 55 resume estas características para el grupo de algas pardas estudiadas.

Tabla 55.

Resumen de las especies que componen el recurso comercial algas pardas.

Especie	Nombre común	Latitudinal (en Chile)	Batimétrica	Ambiente y Sustrato
<i>Lessonia trabeculata</i>	Huiro palo, varilla	Arica a Puerto Montt (18°S-41°S)	2-30 m	Submareal rocoso expuesto y semi-expuesto
<i>Macrocystis pyrifera</i>	Huiro canutillo, flotador, pato	Arica a Magallanes (18°S-55°S)	2-25 m	Intermareal y submareal rocoso, expuesto, semi-expuesto y protegido

Elaboraci3n a partir de informaci3n presente en Hoffman & Santelices 1997; Santelices, 1989; Molinet *et al.*, 2005; Graham *et al.*, 2007.

Aspectos Reproductivos

En general, las algas pardas presentan reproducci3n sexual (gam3tica) y asexual (vegetativa y espor3ica) (Mansilla & Alveal 2004). La alternancia de distintas fases de diferentes estructuras, morfolog3a, tama1o y movilidad, permite definir el ciclo de vida de estas especies como un ciclo de vida complejo, que permite a las algas enfrentar las exigencias del ambiente abi3tico en el cual se desarrollan.

Ciclo de vida

El ciclo de vida t3pico en algas pardas laminariales presenta alternancia de fases diploides (2N) y haploides (N). La planta macrosc3pica o huiro corresponde al esporofito (2N), mientras que el gametofito (N) est3 reducido a filamentos microsc3picos. La producci3n de esporas se lleva a cabo en estructuras presentes en las frondas del esporofito, llamadas soros. Estos 3rganos uniloculares est3n formados generalmente por una c3lula grande y esf3rica, donde se realiza la meiosis, la que forma 4 o m3s esporas haploides (siempre en m3ltiplos de 4) (Mansilla & Alveal 2004). La Figura 125 muestra un esquema general el ciclo de vida de las algas pardas laminariales, haciendo hincapi3 en las diferencias morfol3gicas y de tama1o entre las formas haploides y diploides.

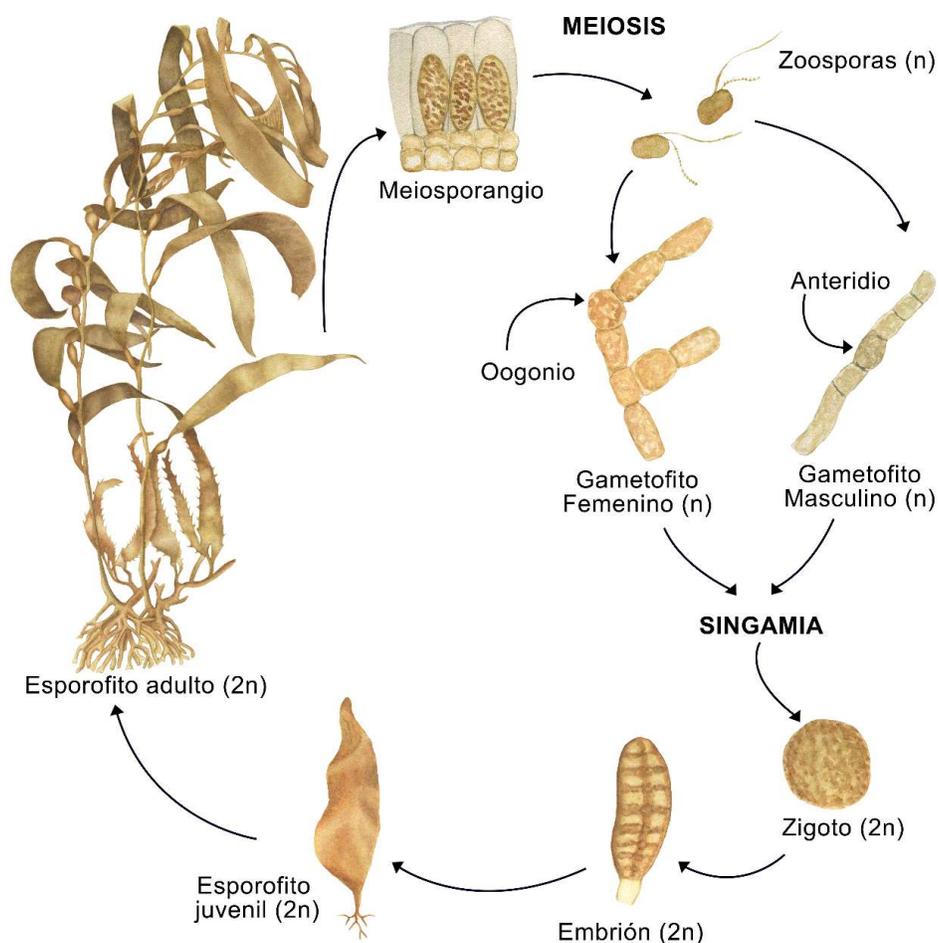


Figura 125. Esquema del ciclo de vida de alga parda *M. pyrifera* (IFOP 2019)

L. trabeculata y *M. pyrifera* poseen un ciclo de vida heterom3rfico con dos fases de vida uno macrosc3pico, correspondiente al esporofito, y otro microsc3pico correspondiente al gametofito. En esta especie los gametofitos son dioicos (2N), y el esporofito (1N) macrosc3pico corresponde a la fase de vida que se explota comercialmente. *L. trabeculata* presenta soros esporangiales dispuestos en bandas longitudinales en ambas caras de la l3mina, los cuales se observan como manchas en las esporofilas (Hoffman & Santelices 1997). Los esporangios miden entre 30 y 40 μm de alto y 15 μm de di3metro. Las embrioesporas mantenidas en cultivo germinan a las 24 horas, y forman gametofitos de tres o m3s c3lulas al cabo de 15 d3as (Hoffman & Santelices 1997). Estudios experimentales en laboratorio han mostrado que la inducci3n a la esporulaci3n permite obtener esporas con buena movilidad entre 30 y 120 min, presentando un gran porcentaje de fijaci3n al sustrato a las 30 hrs post-liberaci3n, creciendo hasta 10 μm de di3metro en los d3as sucesivos (Mur3a 2010). Posterior a asentamiento, las embrioesporas empiezan a germinar.

En el caso de *M. pyrifera*, los gametofitos son dioicos. Los esporangios uniloculares (30-60 μm de largo por 6-10 μm de diámetro) a menudo se encuentran en láminas en la base del esporofito (esporofilas). Parte de las esporas fijas originarán filamentos microscópicos masculinos y femeninos que formarán las estructuras sexuales, produciendo espermios y óvulos respectivamente. Luego de fecundado el óvulo desarrollará sobre sí mismo el esporofito juvenil (Hoffman & Santelices 1997). El proceso de aparición de filamentos microscópicos sobre el sustrato y la fecundación tiene una duración entre 20 y 30 días. Esto es dependiente del fotoperíodo y la temperatura del agua de mar. las plantas juveniles se desarrollan posteriormente madurando en aproximadamente 12 meses (Hoffman & Santelices 1997). En la Figura 126, se muestra el ciclo de vida de *Macrocystis*, que representa las etapas bentónica y pelágica de la historia de vida del recurso (Graham *et al.* 2007).

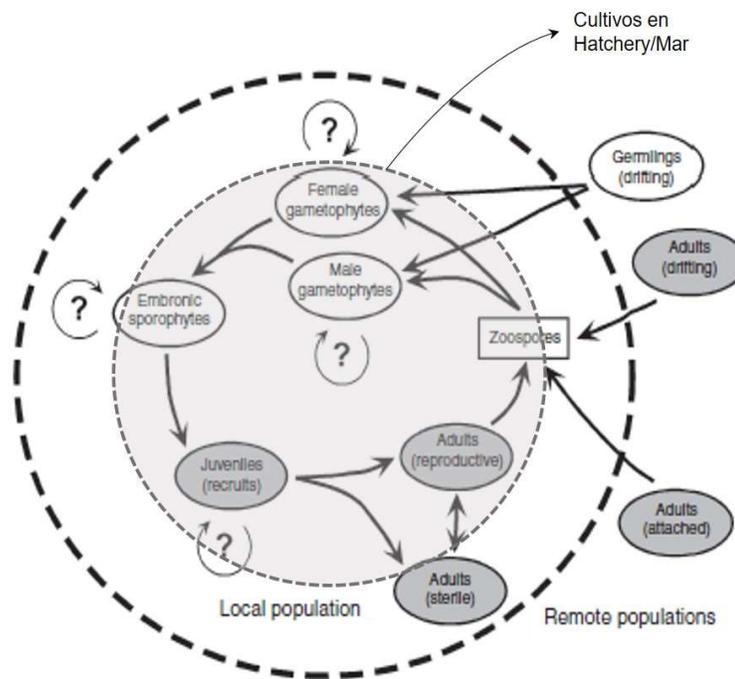


Figura 126. Etapas de la historia de vida dentro de la dinámica poblacional de *M. pyrifera*, junto a la acuicultura como actividad productiva (Zona sombreada), donde se ha logrado control relativo de las etapas bentónicas (óvalos) y etapas pelágicas (rectángulos) tanto microscópicas y macroscópicas (óvalos sombreados) y por lo tanto potencial de retención dentro de etapas particulares para intervalos de tiempo desconocidas (ciclos(?)) (Modificado de Graham *et al.* 2007).

Ecología Reproductiva

En el caso de *L. trabeculata*, estudios de laboratorio han demostrado que la fertilidad se ve afectada significativamente por temperatura y la estacionalidad. Por ejemplo, propágulos provenientes de Bahía Inglesa (Región de Atacama) en primavera fueron altamente fértiles, apreciándose las primeras células



a los 15 días post-liberación. A los 24 días entre 30 – 95% de los gametofitos femeninos mostró formación de oogonios. En las otras estaciones del año la viabilidad fue decreciendo: en verano e invierno los valores oscilaron entre 10 – 50% y 13 – 60% respectivamente, mientras que en otoño las muestras no fueron viables. En contraste, gametofitos de Maicolpué (Región de Los Lagos) mostraron una viabilidad estacional similar, esto mes, mayor fertilidad durante primavera (10 – 65%), una disminución en verano (3 – 14%) y mínimos en otoño, donde no fueron viables. Por otra parte, la fertilidad se restableció para el material colectado en los meses invernales (3 – 30%) (Murúa 2010). De esta forma, la viabilidad es máxima en primavera, mínima en otoño y comenzando a activarse en invierno. De igual manera, se aprecia que la magnitud de radiación solar incidente tiene una interacción significativa con la temperatura y estación del año, pese a no distinguirse un patrón claro de variación para esta variable. Al examinar el patrón correspondiente a 35 días posterior a la liberación de las zoosporas, se evidencia nuevamente un patrón de efecto significativo de la estacionalidad y temperatura ambiente, además de las diferencias entre localidades. Cabe destacar que la importante heterogeneidad en la respuesta observada puede tener otras fuentes de variación, incluyendo diferencias genéticas, o potenciales efectos de climatización a diferentes latitudes. Por ejemplo, el éxito reproductivo, (i.e., grado de formación de nuevos individuos tras la gametogénesis), mostró diferencias significativas de norte a sur y entre las distintas estaciones del año, con un efecto significativo de la temperatura para los estadios provenientes del norte observándose una mayor fertilidad y éxito reproductivo para el material proveniente de Bahía Inglesa en primavera, mostrando mayor tolerancia a las condiciones de luz y temperatura simuladas, con valores de éxito reproductivo que fluctuaron entre 5 y 56% (Murúa 2010). La variación estacional osciló entre 9 – 35% en primavera, 1 – 15% en verano, reflejando una mortalidad masiva en otoño y valores de éxito reproductivo entre 1 – 13% en invierno (Murúa 2010).

Por otra parte, Vásquez *et al.* (2008), realizaron estudios en terreno, caracterizando el potencial reproductivo de las especies de *Lessonia spp* y *Macrocystis* en las regiones de Atacama y Coquimbo, observando una importante variabilidad a nivel de localidades, aunque para las especies de *Lessonia spp.*, se observa una caída de su potencial reproductivo en invierno, tanto en términos del área reproductiva como de su esfuerzo reproductivo, acompañado de incrementos en su crecimiento (Tala & Edding 2005). En *L. trabeculata*, se observó que la talla de las láminas (largo, peso y área) tiende a mantenerse relativamente estable en el tiempo, mientras que las variables reproductivas (área de soro y esfuerzo reproductivo) muestran una disminución en invierno. La liberación de esporas fue espacialmente variable, dependiendo de la región, con bajas liberaciones de esporas en la Región de Atacama. Por el contrario, en la Región de Coquimbo se evidenció una mayor liberación en otoño 2006, disminuyendo hacia la primavera (Vásquez *et al.* 2008).

Para *M. pyrifera*, cuyas estructuras reproductivas se ubican en láminas especializadas, la asignación en reproducción (área y biomasa) parece ser mayor para esta especie que en *L. trabeculata*, en donde un mismo tejido cumple múltiples funciones. Los estudios realizados en las regiones de Atacama y Coquimbo muestran una tendencia al aumento en el tamaño de las esporofilas hacia la primavera, previa disminución en invierno, mientras que las variables reproductivas, principalmente en términos de áreas reproductivas y esfuerzo reproductivo, como asignación de biomasa seca a tejido reproductivo, mostraron un aumento en invierno, en forma más notoria para las poblaciones de la Región de Atacama.



Crecimiento

En general, las especies del g3nero *Lessonia* presentan velocidades de recolonizaci3n y de crecimiento relativamente lentos. Las tallas superiores a 1,5 m y discos basales grandes se logran en unos 20 meses y en algunos casos, en que las frondas se han podado a nivel del disco no se logra la regeneraci3n de nuevas frondas, ya que no existe renovaci3n a partir de los discos de tal manera que la extracci3n de las l3minas lleva a la desaparici3n total de los ejemplares.

Para *M. pyrifera*, el mayor crecimiento se produce en primavera en la zona centro sur de Chile, y las praderas son visibles durante esos meses generando una biomasa importante. Esta especie posee un meristema apical que le permite crecer (2% diario) alcanzando tama1os sobre 30 m. Los estudios que se han realizado para evaluar el efecto de poda sobre estas plantas indican que la tasa de recuperaci3n es lenta y puede llegar a ser de hasta 6 meses para recuperar el 80% de la biomasa (Santelices 1989). Las praderas de *Macrocystis* tienen crecimiento estacional durante la primavera y verano y durante oto1o e invierno es muy lento y durante estos meses es que se produce la mayor mortalidad de plantas por efectos de marejadas o condiciones clim3ticas.

Primera madurez sexual

Seg3n distintos estudios en *L. trabeculata*, la determinaci3n de la primera talla de madurez reproductiva se vuelve dif3cil, dada la baja tasa de crecimiento de estas algas, observ3ndose los primeros indicios morfol3gicos de madurez en plantas de entre 60 a 80 cm de longitud, con di3metro mayor del disco mayores o iguales a 12 cm (V3squez *et al.* 2008).

En el caso de *M. pyrifera*, se observ3 que plantas juveniles marcadas presentan esporofilas en las frondas entre seis a nueve meses despu3s de ser marcadas. Sin embargo, no se pudo estimar una talla m3nima de madurez sexual, debido a la alta variabilidad y plasticidad de los atributos morfol3gicos que son usados para las estimaciones de talla y peso de las plantas de *Macrocystis*; las cuales var3an entre localidades y en el gradiente de profundidad (V3squez *et al.* 2008).

5.9.2.3. Informaci3n ambiental que define la aptitud de h3bitat de las algas pardas

Temperatura superficial del mar

Mur3a (2010), en un estudio de los requerimientos de irradiancia y temperatura para la gametog3nesis de *L. trabeculata*, demostr3 que el desarrollo de las fases microsc3picas de esta especie present3 variaciones a nivel estacional y latitudinal, adem3s de ser afectadas considerablemente por el efecto irradiancia-temperatura y su variaci3n estacional. En particular, la temperatura demostr3 ser el principal factor ambiental que modula las distintas variables reproductivas. En este mismo trabajo, se demuestra tambi3n un efecto similar sobre el porcentaje de germinaci3n, observ3ndose un efecto dominante de la temperatura y estaci3n de origen del material reproductivo. De esta manera, se aprecia que la temperatura es el 3nico factor que presenta un efecto sostenido sobre la asignaci3n y 3xito reproductivo en esta especie. Para ciertas combinaciones de tratamiento, la relaci3n es unimodal, con valores m3ximos a temperaturas intermedias, mientras que, para otras, se observa un efecto mon3tono a aumentar el desempe1o en funci3n de la temperatura experimental.



Radiaci3n solar

El rol de la irradiancia en los experimentos reportados por Murúa (2010), refleja la evidente importancia de la luz solar para el proceso de fotosíntesis. En los sistemas acuáticos la luz solar penetra y es difuminada en los primeros 10 cm, donde virtualmente toda la radiaci3n asociada al espectro infrarrojo es filtrada y transformada en calor, dependiendo de las características de la columna de agua (Gross 1982). En el primer metro del agua de mar el 60% de la radiaci3n es absorbida y a los 10 m el 80%. Por lo general la luz penetra a mayor profundidad en aguas oceánicas que en aguas costeras (Figura 127) principalmente por la baja concentraci3n de materia orgánica disuelta y partículas en suspensi3n. Por otra parte, las condiciones costeras favorecen la productividad primaria, por lo tanto, las aguas son más turbias producto de las comunidades de microorganismos (principalmente fitoplancton) que se desarrollan dada la alta concentraci3n de nutrientes que aportan los cursos de aguas continentales que llegan al mar y las masas de aguas ricas en nutrientes (Edding *et al.* 2006). Las aguas ecuatoriales sub-superficiales que viajan de norte a sur en la costa del Pacífico Sur Este son las que mayormente aportan nutrientes (Moron & Marquina 1997). Las altas concentraciones de material particulado, como ocurre cuando el fitoplancton es muy abundante, producen una gran cantidad de dispersi3n y absorpci3n de la luz, provocando el color verdoso característico de las aguas productivas (Thurman 1994), típicas en el sur de Chile. El patr3n característico de penetraci3n del espectro de luz visible define entonces un rango de profundidades en las cuales existe disponibilidad de energía para la realizaci3n del proceso de fotosíntesis, delimitando una restricci3n a la distribuci3n batimétrica. Sin embargo, dada la importancia de la productividad y presencia de materia particulada en absorber la energía del espectro de luz visible, el patr3n observado en terreno es dinámico, y depende fuertemente de la productividad y dinámica oceanográfica del área a estudiar.

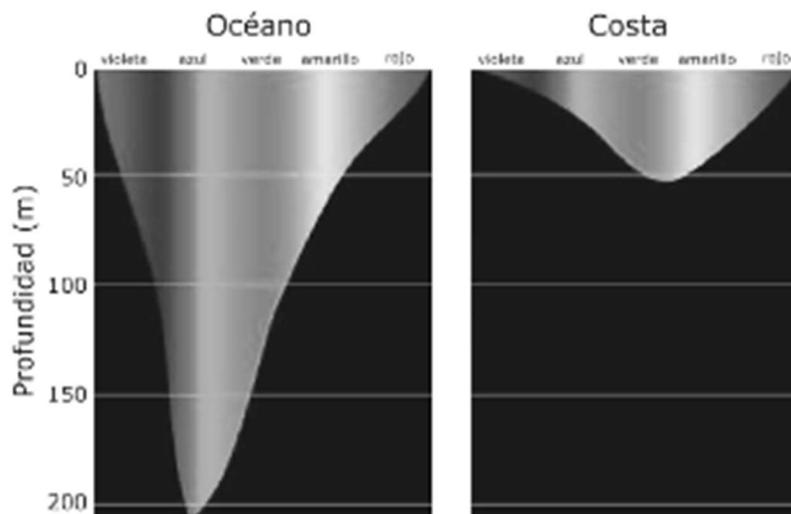


Figura 127. Penetraci3n del espectro de la luz visible en el mar. La mayor penetraci3n que se observa en el océano abierto se produce por la menor presencia de material particulado y organismos. (Modificado de <http://www.oceanexplorer.noaa.gov/>, en Edding *et al.* 2006).



Tabla 56.

Restricciones, extensión batilológica y parámetros señalados como indicadores de agregación (Molinet *et al.* 2005).

Especie/ tipo de banco	Ubicación	Superf. Há	Sustrato	Prof. (m)	Biomasa promedio (gr/m ²)	Biomasa Máx. (gr/m ²)	Biomasa Mín. (gr/m ²)	Densidad prom. (frondas/m ²)	Densidad Máx. (frondas/m ²)	Densidad Máx. (frondas/m ²)	Fuente
<i>Lessonia trabeculata</i>	Los Molles			2 - 18		10,3 k	6,2	2,1	0,5		Villouta & Santelices 1984
	Playa El Francés			4-12					0,5	3	Vasquez & Santelices 1990
	Península de Mejillones		Rocoso	4-14					0	0,3	Vega 2005
	Caleta Constitución			3				0,5		8	Vasquez et al. 2006
	Punta Choros							2,1			Thiel & Vásquez 2000
	Chañarcillo			15-20				0,5 a 1,3			Vásquez et al. 2007
	Salto del gato			10-11				1,2			Vásquez et al. 2007
	Islas Chatas y Chata chica							0,3 a 1,0			Vásquez et al. 2007

Salinidad

Las variaciones en salinidad que se encuentran en el océano son consecuencia del origen de las masas de agua y su proximidad a desembocadura de cursos de aguas continentales. Santelices (2002), ha encontrado que la salinidad puede afectar la poliespermia y viabilidad de los gametos, o el movimiento del agua provocar su dilución. La germinación de las esporas también puede necesitar de condiciones ambientales apropiadas en el caso de carpoesporas de *Hypnea* observadas en el laboratorio (Edding *et al.* 2006). Otro efecto potencial puede ser alteraciones en la tasa y eficiencia de la fotosíntesis (Sven Beer & Mats Björk 2016).

Nutrientes

Los nutrientes son elementos fundamentales para el crecimiento de las algas. Estos presentan diferentes denominaciones de acuerdo a su concentración, siendo denominados macronutrientes aquellos nutrientes que se encuentran en el agua de mar en concentraciones superiores a 0,02 mmol Kg⁻¹. Por otra parte, los micronutrientes se encuentran en concentraciones desde 0,5 x 10⁻⁶ mmol Kg⁻¹ (Figura 128).

La captación de estos iones desde el mar por las células de las algas es dependiente de sus concentraciones, del movimiento del agua, la temperatura, la salinidad y también de la disponibilidad de estos nutrientes en los tejidos de las algas (Edding *et al.* 2006). Si bien las algas tienen la capacidad de almacenamiento de nutrientes a nivel celular, en los mares templados existe fluctuación en la disponibilidad de nutrientes, por lo que pueden llegar a ser limitantes para el desarrollo y funcionamiento fisiológico, limitando el crecimiento de las algas (Edding *et al.* 2006). Esta situación se presenta habitualmente a fines del verano cuando el aporte de nutrientes de las masas de agua es pobre, lo que puede reflejarse en distintos procesos como el crecimiento y la fertilidad (Murúa 2010).



Elemento	Concentración promedio en el agua de Mar		Concentración en materia seca
	(mmM Kg ⁻¹)	(µg g ⁻¹)	Promedio y rango (µg g ⁻¹)
Macronutrientes			
H	105.000	10.500	49.500 (22.000 – 72.000)
Mg	53,2	1.293	7.300 (1.900 – 66.000)
S	28,2	904	19.400 (4.500 – 8.200)
K	10,2	399	41.100 (30.000 – 82.000)
Ca	10,3	413	14.300 (2.000 – 360.000)
C	2,3	27,6	274.000 (140.000 – 460.000)
B	0,42	4,5	184 (15 – 910)
N	0,03	0,42	23.000 (500 – 65.000)
P	0,002	0,071	2.800 (300 – 12.000)
Micronutrientes			
Zn	6 x 10 ⁻⁶	0,0004	90 (2 – 680)
Fe	1 x 10 ⁻⁶	0,00006	300 (90 – 1.500)
Cu	4 x 10 ⁻⁶	0,0002	15 (0,6 – 80)
Mn	0,5 x 10 ⁻⁶	0,00003	50 (4 - 240)

Figura 128. Concentración de elementos esenciales en agua de mar y en algas (Edding *et al.* 2006)

Anomalías de Temperatura: El Niño Oscilación del Sur

Los efectos de eventos El Niño (ENOS) sobre las comunidades litorales en el norte del país están ampliamente documentados a partir de la ocurrencia del Niño de 1982/83 (e.g., Soto 1985; Tomicic 1985; Arntz 1986). Se han descrito fuertes desprendimientos de algas en asociación con la ocurrencia del fenómeno El Niño, que además de alterar las condiciones físico-químicas de las algas, provoca un impacto ecológico de gran magnitud, cuyos procesos de recuperación se estiman en un tiempo no inferior a los diez años (Vásquez 1999). Los antecedentes disponibles señalan que las algas laminariales prácticamente desaparecieron durante dicho evento, en especial *L. nigrescens* y *M. pyrifera* producto de sus niveles de emersión, mientras que *L. trabeculata* presentó una menor tasa de mortalidad. En el caso de *M. pyrifera* las poblaciones se recuperaron exitosamente después del evento de 1982 -1983, colapsando nuevamente en El Niño de 1997 - 1998. Sin embargo, dos años después de su desaparición masiva en el sector Mejillones – río Loa se observó un desarrollo considerable de sus praderas a dos años de su desaparición masiva. Esto entrega una estimación de la tasa de recuperación para esta especie. Las praderas naturales de algas pardas se caracterizan por albergar un gran número de especies, al igual que por su rol como áreas de reclutamiento y desove de numerosas pesquerías bentónicas de enorme valor socio-económico, incluyendo el loco, el erizo y las lapas. Por ello, se ha sugerido que este tipo de perturbaciones oceanográficas pueden tener un grave impacto en las poblaciones produciendo un efecto en cascada sobre la estructura y organización de las comunidades marinas intermareales y submareales (Vásquez 1989; 1995; 1999; Vásquez &



Santelices 1990; Vega 2005; Vega *et al.* 2005). Sin embargo, el efecto del ENOS en la productividad y viabilidad de cultivo de algas pardas no ha sido investigado en Chile.

5.9.2.4. Información de factores asociados a las tecnologías productivas de APE de algas pardas

El establecimiento del tipo de cultivo, requiere conocimiento adicional sitio-específico (e.g., correntometría, tipo y dinámica del fondo). Sin embargo, la variabilidad espacial del régimen de exposición y oleaje asociado parecen esenciales tanto para definir la permanencia y mantenimiento de sistemas flotantes, así como pérdidas de biomasa de cultivo. Esto es crítico considerando que la mayoría de los cultivos utilizan juveniles de pocos centímetros como biomasa inicial. A su vez, se han implementado de sistemas de cultivo fondo (Westermeier *et al.* 2012) para viabilizar la actividad en un mayor rango costero, especialmente en el norte de Chile. El sistema de cultivo más común para algas pardas es el long-line de superficie, el cual ha sido ampliamente probado en el mar interior de Chiloé y en menor escala en bahía protegidas de la zona norte (Buschmann *et al.* 2001, Edding & Tala 2003, Gutierrez *et al.* 2006, Westermeier *et al.* 2011, Murúa *et al.* 2013, Camus *et al.* 2016). Es de origen japonés y utiliza materiales simples y de bajo costo relativo. Consta de un sistema de anclaje, un sistema de flotación y un sistema de crecimiento. Actualmente en Chile, existen 6 tipos de tecnologías de cultivo de long-line superficial (5 nivel experimental y 1 comercial) y 6 sistemas de fondo (4 nivel comercial y 2 experimental) para APE de macroalgas (Tabla 57; Figuras 129-132). Se requiere refinar indicadores espaciales transferibles al sistema SIG multicapas para determinar de manera sistemática, al menos, el grado de exposición tanto a oleaje oceánico como olas de viento de los distintos sitios de disponibles de cultivo para recomendar con evidencia semicuantitativa el tipo de cultivo más viable.

Tabla 57.

Tipos y nivel de desarrollo de las tecnologías de cultivo de superficie y fondo disponibles para la APE de macroalgas.

Tipo de cultivo	Nivel de desarrollo
Cultivo suspendido	
Long-line con cuelgas de red	Experimental
Long-line Triple	Experimental (Figura 129)
Long-line con cuelgas independientes	Comercial (Figura 130)
Long-line de red en línea madre	Experimental
Long-line con cuelgas cuádruples	Experimental
Long-line con red compartida	Experimental
Cultivo de fondo	
Sistema de cabos entre muertos	Comercial (Figura 131)
Sistema de piedra	Comercial (Figura 132)
Sistema de cabos con estacas de fondo	Comercial
Sistema de horquilla	Comercial
Long-line de fondo entre muertos	Experimental
Emparrillado de fondo cuelgas independientes	Experimental

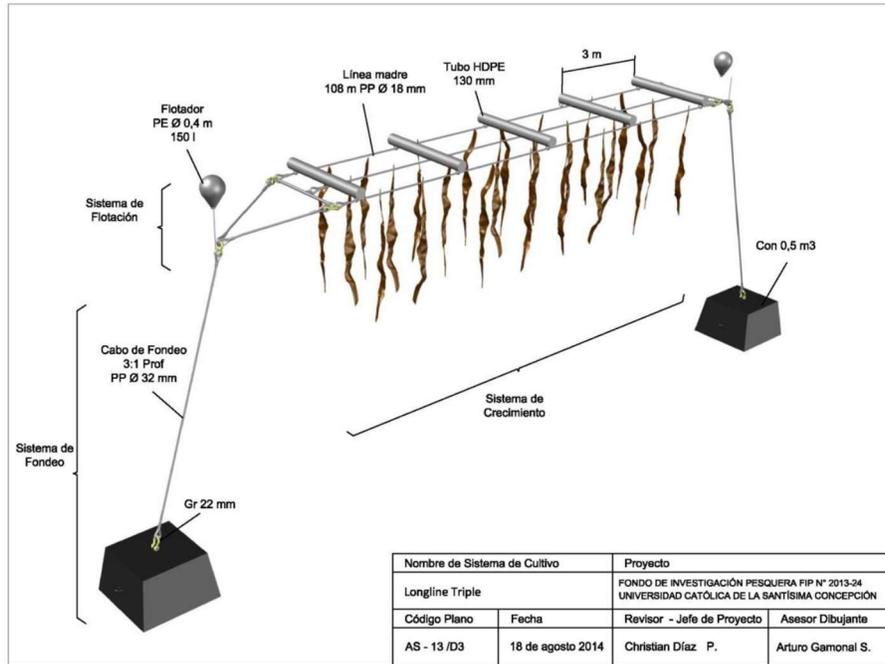


Figura 129. Long-line triple, vista tridimensional. No a escala. Fuente: FIPA 2013-24.

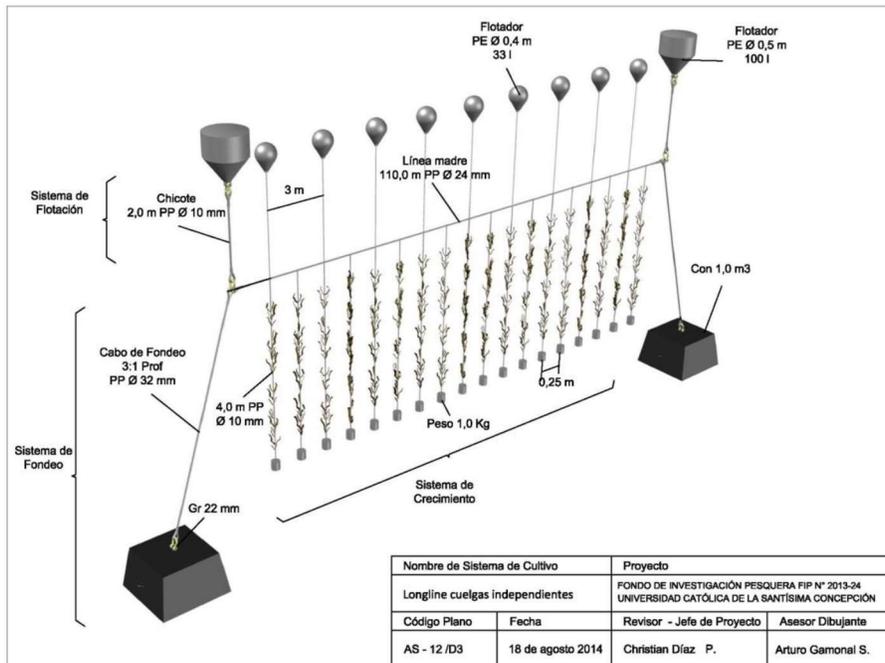


Figura 130. Long-line con cuelgas independientes, vista 3D. No a escala. Fuente: FIPA 2013-24.

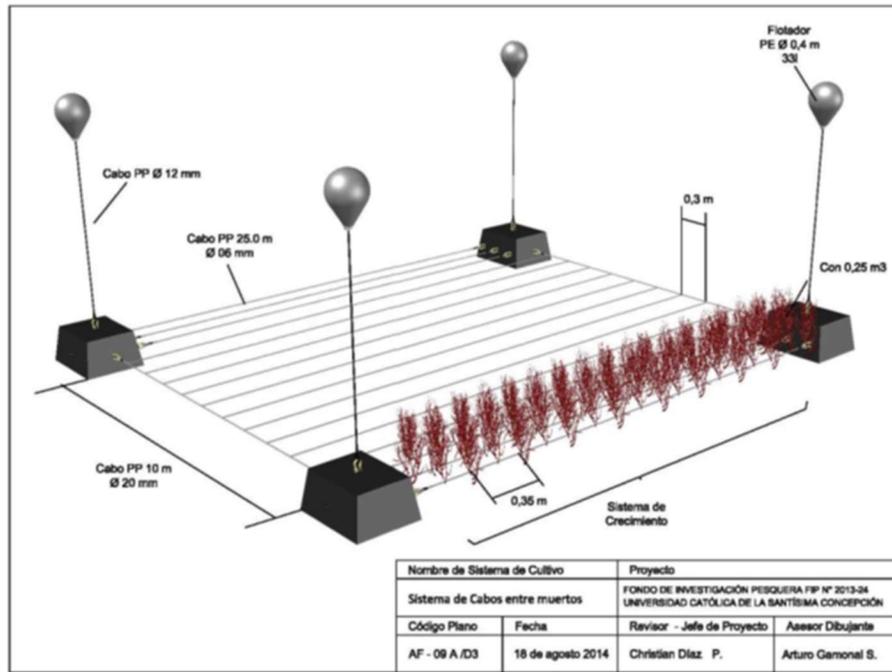


Figura 131. Sistema de long-line entre muertos, vista tridimensional. No a escala. Fuente: FIPA 2013-24.

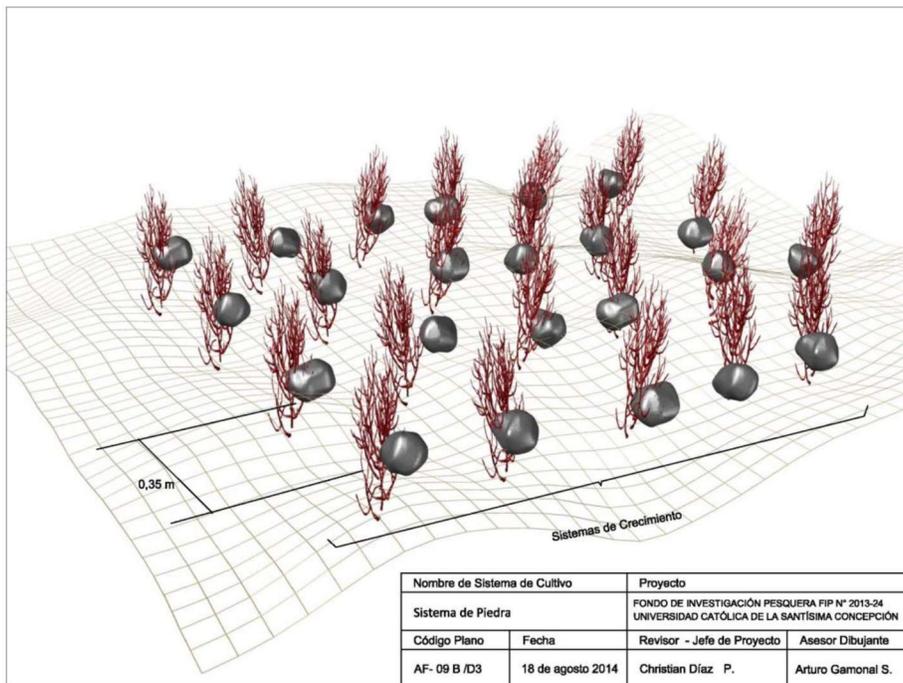


Figura 132. Sistema de piedra, vista tridimensional. No a escala. Fuente: FIPA 2013-24.



5.9.2.5. Modelo conceptual del hábitat esencial de algas pardas

El modelo conceptual del hábitat esencial de algas pardas tomó en cuenta la interacción entre aspectos biológicos, ambientales y regulatorios y pesqueros. La Identificación y clasificación de la información para cada aspecto de sistema influyen en la aptitud potencial de hábitat para la APE de algas pardas (Figura 133).

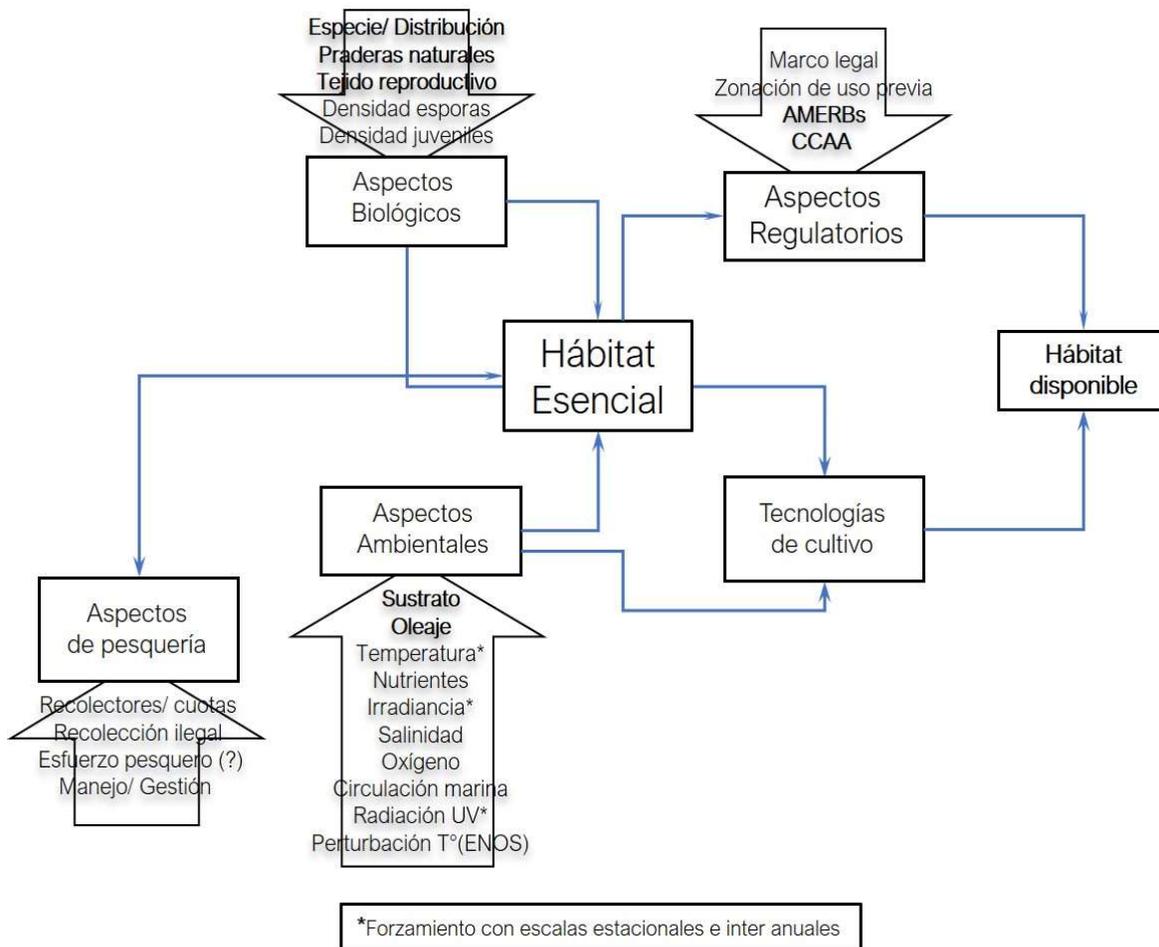


Figura 133. Esquema de elaboración del modelo conceptual del hábitat esencial de algas pardas enfatizando la acuicultura como actividad en hábitat disponible. Letras en negrita corresponden a factores críticos para selección de sitios para acuicultura.

5.9.2.6. Tabla del hábitat esencial de algas pardas

La información disponible y de interés para la APE, se expone en una tabla de hábitat del recurso algas pardas, la que sintetiza las principales variables que influyen a lo largo de las etapas del ciclo



de vida del recurso (Tabla 58). Esta tabla resume el nivel de información disponible sobre las principales dimensiones del *nicho Grinelliano* (Townsend-Peterson *et al.* 2011), lo que es fundamental para la elaboración del modelo conceptual del hábitat y una posterior etapa de modelamiento de la distribución de sitios aptos para la APE de algas pardas

Tabla 58.
Nivel de hábitat fase juvenil y adulto de algas pardas.

Nivel Hábitat	Esporofitos Juveniles	Esporofitos Adultos
Longitud o diámetro / edad	27-30 días ^(1,2)	disco basal mayor a 10 cm/ > 6 meses ^(1,2)
Condiciones/Recursos	Sustrato Temperatura Fotoperíodo Irradiancia Nutrientes Radiación UV Conespecíficos	Sustrato Temperatura Fotoperíodo Irradiancia Radiación UV
Sustrato	Rocoso ^(1,2)	Rocoso ^(1,2)
Exposición	Expuesto y semi-expuesto ^(1,2)	Expuesto y semi-expuesto ^(1,2)
Estacionalidad	Reclutamiento anual máximo en Invierno ^(3,4)	Primavera-Verano (Crecimiento/Productividad) ^(3,4)
Temperatura (°C)	15 ^(3,4) (zona norte) 12 ⁽¹⁰⁾ (zona sur)	10 – 23 ^(3,4) 11-19 (<i>M. pyrifera</i>) ⁽¹¹⁾
Fotoperíodo (Luz: oscuridad) <i>M. pyrifera</i>	16: 8 ⁽¹⁰⁾ (zona sur): 12:12 (50 ± 10 μmol m ⁻² s ⁻¹) ⁽¹³⁾ (zona norte):	---
Irradiancia	90 mmol m ⁻² s ⁻¹ 5°C: 10-50 Me m ⁻² s ⁻¹ 10°C: 10-100 Me m ⁻² s ⁻¹ (8-9) 12 umol m ⁻² s ⁻¹ (10)	
pH	Sitio-específico	Sitio-específico
Radiación UV		UVB+UVA:0-20BED ₃₀₀ (kJm ⁻²) UVA: 0-50 BED ₃₀₀ (kJm ⁻²)
Distribución Geográfica	<i>L. trabeculata</i> : 18°S-41°S ^(1,2,4,5,6,7) <i>M. pyrifera</i> : 18°S-36°S ^(1,2,4,5,6,7)	
Columna de agua (profundidad en m)	<i>L. trabeculata</i> : 2-30 ^(1,2,5,6) / 1-20 ⁽¹²⁾ <i>M. pyrifera</i> : 2-25 ^(1,2,5,6)	

Elaboración a partir de información presente en ¹Santelices 1989; ²Hoffman & Santelices 1997; ³Edding *et al.* 1993; ⁴Tala *et al.* 2004; ⁵Alveal 1995; ⁶Molinet *et al.* 2005; ⁷Vásquez *et al.* 2008; ⁸Hoffman & Santelices 1982; ⁹Murúa 2010; ¹⁰Camus & Buschman 2017; ¹¹Graham *et al.* 2007; ¹²Edding & Tala 2003; ¹³Macchiavello *et al.* 2010.

5.9.2.7. Clasificación de variables para selección de sitios aptos para APE de algas pardas

En base a la identificación bibliográfica de las restricciones legales/sociales, factores biológico-ambientales y aquellos asociados a las tecnologías productivas de cultivo, se escogió el sistema de cultivo del tipo long-line en superficie de algas pardas dada sus ventajas y nivel de inversión. La Tabla 59, muestra una síntesis de la información disponible sobre características (tecnológicas, operacionales) y requerimientos de los sistemas long-line superficiales para el cultivo de las especies de algas pardas seleccionadas.



Tabla 59.

Características y requerimientos (tecnológicos, operacionales) de los sistemas de cultivo long-line superficiales para las especies de algas pardas seleccionadas.

Características/ requerimientos	<i>M. pyrifera</i>	<i>L. trabeculata</i>
¿Se cultiva actualmente?	Sí, III, IV, X Regiones	Sí, IV Región
Profundidad del cultivo (m)	4 ⁽¹⁾ 2-5 ⁽²⁾	1-6
Zona apta de cultivo	Bahías semiprotegidas	Bahías protegidas o semiprotegidas
Técnica de cultivo	Long-line de superficie	Long-line de superficie
Unidad de crecimiento plántula	Línea madre/metro lineal	Línea madre/ metro lineal
Sistema de anclaje	Bloque de concreto	Bloque de concreto
Cables de fondeo	Fierro o cabo trenzado	Fierro o cabo trenzado
Cabo de fondeo 3:1	Polipropileno o nylon	Polipropileno o nylon
Sistema de flotación	Boyas	Boyas
Separación entre plántula (m)	0.1-0.15	0.1-0.15
Tiempo de cultivo (meses)	6-8 4-6 ⁽¹⁾ (zona sur)	6-8
Mejor periodo para implementar el cultivo	Junio-septiembre ⁽¹⁾ Cultivo vertical en áreas con baja turbidez (norte de Chile), horizontal áreas de mayor turbidez (sur de Chile) Mejor período para evitar epifitismo ⁽²⁾ Mayor concentración de nutrientes disueltos	
Abastecimiento de semilla	Captación natural/ hatchery, en la X Región	Captación natural/ hatchery, en la X Región
Interacción acuicultura	Cultivo de salmón y chorito ⁽¹⁾	

Fuentes: FIP 2013-24, 2015, ¹Camus et al., 2017, ²Machiavello et al., 2010.

En base a la revisión bibliográfica que identifica las variables (restricciones legales/socio-económicos y los factores ambientales) que influyen en la aptitud de hábitat para la APE de algas pardas en sistemas de cultivo long-line, se elaboró una tabla que sintetiza la información (Tabla 60). La Tabla muestra las variables seleccionadas y clasificadas, así como también criterios, Rangos de Aptitud por Factor (RAF), valor de los RAF y fuentes bibliográficas. Se identifican 10 restricciones legales y 11 factores (crecimiento y sobrevivencia, aptitud física y aptitud ecológica) que potencialmente pueden afectar la aptitud de los sitios para el cultivo de algas pardas en sistema suspendido. Esta información sirve de base para la construcción de la metodología de selección de sitios y para futuros análisis de aptitud para desarrollar APE de algas pardas.



Tabla 60.

VARIABLES, CRITERIOS, RANGOS DE APTITUD POR FACTOR (RAF), VALOR Y FUENTES BIBLIOGRÁFICAS DEL RAF, DEFINIDAS PARA EL ANÁLISIS DE APTITUD DE ZONAS COSTERAS PARA EL DESARROLLO DE APE DE ALGAS PARDAS.

Variable	Criterio	Rango apto por factor	Valor RAF	Fuente RAF
Factores de crecimiento y supervivencia				
Nitrato ($\mu\text{m}/\text{L}^{-1}$)	WQ	4 – 550	1	2, 5, 24,
		< 2 (Crecimiento limitado por N)	0	25
Fosfato (μm)	WQ	0.6 – 1.1	1	2, 5, 7
		< 0.6	0	
Visibilidad del agua (NTU)	WQ	>2.3	1	7
		< 2	0	
Concentración de clorofila (mg m^{-3})	WQ	> 3	1	5, 7
		< 3	0	
Salinidad (psu)	WQ	>30 (Norte) 27– 30 (sur)	1	1, 5, 27
		< 30 (Norte) y <27 (sur)	0	
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	WQ	10 – 17	1	1, 5, 25,
		< 7 y > 19	0	26
Oxígeno disuelto (%)	WQ	40-100	1	1
		< 40	0	
SGR (cultivo piloto <i>M. pyrifera</i>)	WQ	~ 19 g día ⁻¹ (máximo)	1	28
		< 10 g día ⁻¹ (máximo)	0	
Epífitos (g m^{-1} lineal – cultivo piloto <i>M. pyrifera</i>)	WQ	~1800 g m^{-1} lineal	1	28
		>2000 g m^{-1} lineal	0	
Factores socio-económicos sitio-específicos				
Potencial Biofísico - Ubicación (Accesibilidad en km)	SEQ	Cercana a centro urbano (>50%)	1	23
		Aislada (<50%)	0	
Potencial Biofísico - Infraestructura disponible	SEQ	Satisfactoria (>50%)	1	23, 28
		Insuficiente (<50%)	0	
Potencial Biofísico - Acceso a internet/ otros servicios	SEQ	Disponible (>50%)	1	23, 28
		Restringido (<50%)	0	
Número de socios involucrados (Interés relativo)	SEQ	5-9, >10	1	23, 28
		<5	0	
Capacidad de comercialización de biomasa (o productos)	SEQ	Compradores	1	23, 28
		Sin compradores	0	
Experiencia previa en cultivo (capacitaciones previas)	SEQ	Con capacitación	1	23, 28
		Sin capacitación	0	
Nivel de formación formal (NFF)	SEQ	Ed. básica completa o mayor	1	--
		Ed. básica incompleta	0	
Nivel de formación informal (NFI)	SEQ	Conocimiento local existente	1	--
		Sin conocimiento local	0	
Potencial organizacional - Acción colectiva	SEQ	>24%	1	28
		<24% (umbral)	0	
Potencial organizacional - Relaciones verticales	SEQ	>16%	1	28
		<16% (umbral)	0	



Potencial organizacional - Relaciones horizontales	SEQ	>11% <11% (umbral)	1 0	28
Factores de aptitud física				
Magnitud de corrientes (m s ⁻¹)	WQ	0,2 – 0.4 < 0,1 y > 0.4	1 0	6, 7
Índice de exposición al oleaje "Openness"	EQ	0-0.02 0.03 > 0.4	1 0	22
Batimetría (m)	WQ	4 – 60 < 4	1 0	1, 2, 3, 4, 7
Factores de aptitud ecológica				
Presencia stock natural algas dentro límites AMERB/CCAA	EQ	Si No	1 0	8
Restricciones legales				
Áreas Aptas Acuicultura (AAA)		n/a	1	9,10
Concesiones de Acuicultura		n/a	0	9,10,11,16
X región, solo cultivo al sustrato		n/a	1	11,12
AMERB, especies nativas		40% del área	1	13, 14, 15
Espacio costero marino de pueblos originarios (ECMPO)		n/a	1	17
Caletas de pescadores		n/a	1	18
Área reservada infraestructura portuaria		n/a	0	19
Áreas protegidas (AMCP-MU)		n/a	0	20
Zonas de interés (turístico, pesca, militar)		n/a	0	21

Fuentes: ¹FIP 2013-24, 2015, ²Camus *et al.* 2017, ³Machiavello *et al.*, 2010, ⁴Graham *et al.* 2007, ⁵FIP 2014-25, ⁶Peteiro & Freire 2012, ⁷Westermeier 2013, ⁸Westermeier 2013b ⁹Flavin *et al.* 2013, ⁹D.S. 290/93. Reglamento de Concesiones y Autorizaciones de Acuicultura/ Decretos de AAA, ¹⁰D.S. 550/92 reglamento sobre Limitaciones a las áreas de concesiones o Autorizaciones de Acuicultura, ¹¹Ley 20,825, ¹²Res 825-2012, ¹³D.S. 355/95 Reglamento sobre Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos, ¹⁴D.S. 314/04 Reglamento de Actividades de Acuicultura en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos, ¹⁵D.S. 96/2015, ¹⁶D.S. 320/2001 Reglamento Ambiental para la acuicultura (RAMA), ¹⁷Ley 20.249/08 Crea el Espacio Costero Marino de los Pueblos Originarios, ¹⁸D.S. 337/04 Nómina oficial de Caletas de Pescadores Artesanales, ¹⁹D.S. 106/98 Decreto Área costera Reservada para Usos preferente portuario, ²⁰D.S. 38-2011/ D.S 238-04, ²¹Información sensible de solicitar, ²²Hill *et al.* 2010, ²³Henríquez & Cárcamo 2019, ²⁴ Graham *et al.* 2007, ²⁵ Avila *et al.* 2017 ²⁶ Avila *et al.* 2010, ²⁷ Buschmann *et al.* 2004, ²⁸ Cárcamo *et al.* 2019 (presente estudio).
n/a: Not applicable; WQ: Water quality; EQ: Ecological quality. SEQ: Socio-ecological quality.

5.9.2.8. Consideraciones para la definición de factores, variables, criterios y rangos para selección de sitios aptos para APE de algas pardas

Factores de crecimiento y supervivencia

Los factores de crecimiento y supervivencia seleccionados son nutrientes (Camus *et al.* 2017; Yulianto *et al.* 2017; FIP 2014-25), turbidez del agua (Yulianto *et al.* 2017), concentración de clorofila (FIP 2014-25; Yulianto *et al.* 2017), salinidad (FIP 2014-25), temperatura (FIP 2014-25) y oxígeno disuelto (FIP 2013-24).

Uno de los principales factores requeridos para el desarrollo de las algas pardas son los nutrientes, debido a que aceleran su crecimiento, así como el contenido de proteínas (Msuya & Neori 2008). La captación de estos nutrientes desde el mar por las células de las algas es dependiente de sus concentraciones, de la circulación del agua, la temperatura, la salinidad y también de la disponibilidad de estos nutrientes en los tejidos de las algas (Edding *et al.* 2006). Sin embargo, existen temporadas



específicas, determinado por las surgencias, para el aprovechamiento de nutrientes naturales (invierno-primavera).

Los niveles de turbidez como proxy de calidad lumínica, y la productividad primaria, a su vez, como un proxy de la concentración de nutrientes pueden ser considerados como variables de selección. Existe evidencia de que algas pardas registran mayores tasas de crecimiento en áreas marinas con turbidez media y mayores concentraciones de fitoplancton (FIP 2014-25 y Yulianto *et al.* 2017). Estas variables, han sido integradas en modelos SIG para determinar el potencial de productividad primaria que pueden alcanzar zonas costeras, por lo tanto, son útiles como variables de selección de hábitats aptos para maximizar acuicultura de algas. Además, la profundidad de la unidad de cultivo también influye en el crecimiento. El rango natural de 2 a 14 m para *M. pyrifera* y 2 a 30 m para *L. trabeculata* (Hoffman & Santelices 1997; Tala *et al.* 2004) sugieren límites para crecimiento tanto en sistemas superficiales como sumergidos. Profundidades de cultivo óptimas han sido reportadas para *M. pyrifera* alrededor de 3 – 4m (Gutierrez *et al.* 2006).

La salinidad (o tipo de masa de agua) del área también es un factor capaz de influir limitando el crecimiento de las algas en cultivo. Sin embargo, cada especie de alga puede tener diferente rango de aptitud (Kumar *et al.* 2014). Para las especies de algas pardas de este estudio, se define un rango apto de salinidad entre 30 y 35 psu (FIP 2013-24; FIP 2014-25).

Finalmente, la temperatura e intensidad de luz altamente moduladas por la estacionalidad han sido definidas como variables que influyen en el crecimiento. Para las especies de algas en estudio se define un rango apto de temperatura entre 7 y 19°C (FIP 2013-24; FIP 2014-25).

Factores socio-económicos

Ubicación/accesibilidad sitios de cultivo/organizaciones: Los sitios cercanos a las OPA que cumplan con características técnicas para cultivo y variables estratégicas para su operación. Finalmente, la accesibilidad vial al sitio de cultivo debe ser considerada, para lo cual se debe evaluar la accesibilidad a caminos y proximidad de residencia al sitio de interés.

Nivel de Infraestructura disponible/ logística (Muelles, botes, pluma de carga, etc.): Cada sitio posee capacidades de infraestructura independientes de otros factores de aptitud de cultivo. Tales factores indican la capacidad de éxito o dificultades de implementación. Tales características deben ser evaluadas con levantamiento de información local.

Acceso a internet y otros servicios: Niveles de urbanización y servicios que permitan la conectividad y acceso a información, corresponden a variables sitio-específicas y deben ser evaluadas con levantamiento de información local.

Número de socios involucrados (Interés relativo): Las OPA de sitios evaluados deben tener el máximo número de beneficiarios posibles. Sin embargo, el número de socios activamente involucrados en las actividades de cultivo corresponde a la capacidad efectiva que la OPA tiene para desarrollar el cultivo de algas. Por lo tanto, se debe considerar el grado de consenso de los miembros de las organizaciones o la percepción de pertenencia a un proyecto común de APE.

Conocimiento/experiencia en actividades de acuicultura: Se considera el grado de capacitación, experiencia y conocimiento previo de la actividad productiva existente dentro de las OPA.

Comercialización productos/Pertinencia productiva: Se considera el grado de desarrollo de que disponen las OPA para la comercialización de las especies propuestas para cultivo. Se considera que



los sitios deben cumplir con características técnicas y estratégicas para su operación y producción. Esta variable también corresponde al levantamiento local sitio-específico.

Adicionalmente, la aplicación de la metodología, desarrollada en el objetivo 1, “Evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de OPA titulares de AMERB en la región de Los Lagos” consideró el diseño de un cuestionario semiestructurado (Anexo 1). Los resultados obtenidos a través de la validación y aplicación de la encuesta entre dirigentes de OPA dentro de tres territorios de la región: 1) Costa Expuesta al Pacífico, 2) Mar Interior de Chiloé, y 3) Costa Este (Estuario Reloncaví y Hualaihué) permitió desarrollar una herramienta de diagnóstico que complementará la construcción de la herramienta de selección de sitio en base a los siguientes factores y sub-factores:

Potencialidades Organizacionales:

- Sub-Factor Capital Social – Acción Colectiva: Conjunto de acciones que requieren participación de un grupo de personas con intereses comunes, las acciones buscan lograr ese interés compartido para formar comunidad.
- Sub-Factor Relaciones Verticales: Capacidad de ejercer relaciones con instituciones y tomadores de decisión ubicados en niveles jerárquicos mayores, que ayudan o no a la obtención de objetivos de las organizaciones.
- Sub-Factor Relaciones Horizontales: capacidad de generar redes de parentesco, asociaciones, organizaciones y otras formas que permiten identificarse como pares. Su función es permanente y cotidiana, con el fin de resolver dificultades u obtener ventajas comparativas en sus medios de vida.

Potencialidades Bio-Físicas:

- Sub-Factor Físico: infraestructura, condiciones del entorno, distancia a la caleta, acceso público, condición de insularidad, conectividad (telefónica, terrestre, marítima), habilitación de las caletas, equipamiento para labores de cultivo
- Sub-Factor Natural: grado de exposición sur-oeste, grado de exposición norte, heterogeneidad de la costa. Este sub-factor se evaluó en zonas específicas identificadas por los entrevistados al interior de las AMERB o CCAA que administran y que según su criterio cumplen con condiciones ideales para el desarrollo de APE.

Factores de aptitud física

Los factores de aptitud física seleccionados son magnitud de las corrientes, exposición al oleaje y batimetría. La circulación de agua es beneficiosa para el cultivo de algas pardas facilitando la absorción de nutrientes y dióxido de carbono (Hurd *et al.* 2014). Sin embargo, corrientes pueden limitar la absorción en la capa superficial de las frondas (Peteiro & Freire 2012). Sin embargo, el punto crítico para selección óptima de sitios es el arrastre de cuerdas, líneas, cuelgas u otras estructuras unidas a los sistemas de anclaje y flotación del long-line de cultivo. Este índice debe ser desarrollado con información de correntometría sitio específica.



La profundidad apta para el desarrollo de APE de algas pardas depende de la tecnología de cultivo de superficie (long-line) utilizadas. En general, se deben seleccionar los sitios para el cultivo de algas donde la profundidad mínima sea de 4 metros (Silva *et al.* 2011, Yulianto *et al.* 2017). Por otro lado, para minimizar los costos de operación y la dificultad en los sistemas de anclaje, se deben excluir las zonas con profundidades mayores a 60 metros. Por lo tanto, el rango batimétrico debe estar para la fijación de anclajes debe encontrarse no más allá de los 60 metros.

Índice de exposición al oleaje "Openness". Este índice ha sido desarrollado a través de herramientas SIG. Openness es una medida de la distancia de un sitio dado hasta la línea de costa más cercana en todas direcciones. El modelo asume que marejadas generadas localmente (o "swells") se pueden aproximar con la misma probabilidad a un sitio dado (Hill *et al.* 2010). El método consiste en la suma de 48 líneas espaciadas 7,5° y hasta una distancia máxima de 650 km desde un punto dado (e.g., centro de una AMERB) y posteriormente normalizadas dividiendo la suma máxima posible de longitudes de línea. 650 km de distancia representa la longitud de líneas de olas de viento (fetch) para que la marejada se desarrolle completamente (Condiciones de oleaje máximas) bajo regímenes de tormenta (Denny 1988). El requerimiento mínimo necesario para desarrollar el modelo en SIG es un set de datos que represente la ubicación de objetos que bloqueen el paso de las olas (i.e., línea costera, islas) y la ubicación de los puntos desde donde el índice de exposición relativa quiere ser calculado.

Factores de aptitud ecológica

Se considera como factor de aptitud ecológica aquel capaz de discriminar de manera relativa la calidad ecológica del sitio en términos amplios.

La presencia en sitios aledaños a la CCAAA o dentro de una AMERB, de una pradera o comunidad de algas se considera como un indicador de calidad de hábitat (Flavin *et al.* 2013). Sin embargo, esto no es estrictamente necesario ya que en amplias zonas del mar interior donde abundan los fondos blandos, la presencia de comunidades de algas puede ser escasa y la instalación de sustrato artificial (e.g., cultivos de filtradores) permite la colonización con especies de epibiontes y algas, evidenciando su disponibilidad en la columna de agua. Sin embargo, este indicador puede servir para indicar de calidad ambiental en zonas costeras del norte del país.

Restricciones legales y sociales

Como restricciones y conflictos de uso territorial, se considera la información de la legislación y normativa vigente proveniente de SUBPESCA, disponible en el formato vectorial más común usado en GIS (*shapefile*), como las áreas aptas para acuicultura (AAA), áreas de CCAA y AMERB, espacios costeros marinos de pueblos originarios (ECMPO), áreas marinas costeras protegidas (AMP) y caletas de pescadores (Tabla 61).

Bases de datos georreferenciadas actualizadas de las AAA están disponibles en SUBPESCA, en base a lo establecido en el Decreto Supremo 550/92 que reglamenta las limitaciones a las áreas de concesiones o autorizaciones de acuicultura y en el D.S. 290/93 para las concesiones y autorizaciones de acuicultura. Dentro de las AAA que representan áreas geográficas de bienes nacionales de uso público donde el Estado está facultado para recibir y procesar aplicaciones para la acuicultura.



Bases de datos espaciales actualizadas de los polígonos de CCAA actualizadas a marzo 2019 están disponibles en la SUBPESCA en base a lo establecido en D.S. 550/92, D.S. 290/93, D.S. 320/2001 del Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA) y Ley 20,825 de abril 2015, que amplía el plazo para otorgar concesiones de acuicultura.

Información georreferenciada actualizada de los polígonos de AMERB están disponibles en la SUBPESCA, en base a lo establecido en el D. S. 355/95 que reglamenta sobre AMERB, en el D.S. 314/04 que reglamenta las actividades de acuicultura en las AMERB y el D.S. 96/2015 que crea un nuevo reglamento de las actividades de acuicultura en las AMERB dejando sin efecto el D.S. 314/04. Bases de datos georreferenciadas actualizadas de polígonos que representan los ECMPO decretados están disponibles en SUBPESCA, en base a lo estipulado en la Ley 20249 que crea los ECMPO.

Bases de datos georreferenciadas actualizadas de puntos *shapefile* que representan las caletas pesqueras artesanales distribuidas en la costa chilena disponibles en SUBPESCA, de acuerdo a lo definido en el D.S. 337/04 que fija la nómina oficial de Caletas de Pescadores Artesanales.

Bases de datos espaciales actualizadas de polígonos que representan las AMP en Chile disponibles en SUBPESCA, de acuerdo a los D.S 38/2011 y D.S 238/04. Las AMP representan áreas delimitadas y definidas geográficamente cuya administración y regulación permiten alcanzar objetivos específicos de conservación y/o preservación, como parques marinos, reservas marinas, AMP de múltiples usos (AMP-MU) y parques nacionales.

Adicionalmente, se consideran como restricciones y conflictos sociales del uso territorial la información de la legislación y normativa vigente proveniente de otras instituciones asociadas al uso del borde costero en Chile, tales como el Ministerio de Defensa (MD), Ministerio de Obras Públicas (MOP) y Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (MEFT). Bases de datos georreferenciadas actualizadas de polígonos que representan las áreas reservadas para infraestructura portuaria disponibles en el MOP, zonas de reserva militar del MD y zonas de interés turístico y pesquero/acuícola (MEFT).

Definición de criterios y rangos de aptitud por factor y fuentes bibliográficas

En base a la revisión bibliográfica que identifica las principales variables (legales/sociales y ambientales) que influyen en la aptitud de hábitat para la APE de algas en sistemas de cultivo long-line, se definieron los Rangos de Aptitud por Factor (RAF), valor del RAF y fuentes bibliográficas del RAF para evaluar la aptitud de las zonas costeras y seleccionar sitios para el desarrollo de APE de algas pardas en Chile. (Tabla 61). El análisis multicriterio para la selección de sitios aptos para la APE de algas pardas, se aplica considerando criterios de calidad de agua (Water Quality – WQ) y calidad ecológica (Ecological Quality – EQ), Calidad Socio-económica (Socio-ecological quality - SEQ) los cuales definen la aptitud y los factores que la constituyen (Tabla 61).

5.9.2.9. Definición de métodos de medición y fuentes de datos a utilizar posteriormente en la validación

Dependiendo del factor a estimar se pueden utilizar diversos métodos de medición y fuentes de los datos. En la Tabla 61 se definen los principales métodos de medición y fuentes de datos propuestos



para estimar los factores de aptitud de hábitat definidos para la selección de sitios aptos para el desarrollo de la APE de algas pardas en sistemas de cultivo long-line.

Tabla 61.

Principales métodos de medición y fuentes de datos propuestos para estimar los factores de aptitud de hábitat para la APE de algas pardas en sistemas de cultivo long-line.

Variable	Método de medición	Fuente datos
Factores de aptitud física		
Magnitud de corrientes ($m s^{-1}$)	Tecnología acústica Doppler (ADCP)	Instrumento Perfilador
Exposición al oleaje	índice Openness (Método vectores GIS)	ArcGIS
Batimetría (m)	Ecosonda mono/multihaz	Crucero oceanográfico
Factores de aptitud socio-económica		
Ubicación /accesibilidad OPA, CCAA Infraestructura (Muelles, botes, etc.) Acceso a internet/ servicios	Herramienta de evaluación participativa	Sitio-específica (<i>in situ</i>)
Número de socios involucrados (Interés relativo)	Multicriterio (Cuestionarios- -AHP - Método Delphi)	
Experiencia previa en cultivo (capacitaciones previas)		
Capacidad de comercialización de biomasa		
Factores de crecimiento y sobrevivencia		
Nitrato (μm)	Autoanalizador	Muestreo oceanográfico
Fosfato (μm)	Autoanalizador	Muestreo oceanográfico
Visibilidad del agua (m)	Disco Secchi	Muestreo oceanográfico
Concentración de clorofila ($mg m^{-3}$)	Optico multiespectral	Satelital
	Disco Secchi	Muestreo oceanográfico
Salinidad (psu)	Optico multiespectral	Satelital
	CTD	Muestreo oceanográfico
Temperatura ($^{\circ}C$)	CTD	Muestreo oceanográfico
	Multiespectral	Satelital
Oxígeno disuelto (%)	CTD	Muestreo oceanográfico
	Winkler	Muestreo oceanográfico
Radiación fotosintéticamente activa (Luz PAR)/Irradiancia	DIVING-PAM. Analizador sumergible de productividad fotosintética	Muestreo <i>in situ</i>
	Fotómetro	Muestreo <i>in situ</i>
Factores de aptitud ecológica		
Presencia stock natural algas	Evaluación comunidad bentónica	Muestreo <i>in situ</i>



5.10. Desarrollo de una herramienta para identificar sitios 3ptimos para APE de algas

5.10.1. Dise1o del modelo y metodolog1a

El dise1o metodol3gico de la herramienta para selecci3n de sitios aptos para la APE de algas est1 representado en el siguiente diagrama de flujo (Figura 134). La etapa de selecci3n de restricciones legales permite la generaci3n de un mapa inicial con restricciones geogr1ficas que advierte posibles conflictos de uso. Nuevas capas son generadas con informaci3n de los Rangos de Aptitud de Factores (Tabla RAF) f1sicos, de crecimiento, socioecon3micos y de aptitud ecol3gica. En esta etapa se incluyen sub-herramientas de evaluaci3n multicriterio, especialmente para determinar aptitud socioecon3mica/log1stica de las organizaciones involucradas. Finalmente, la superposici3n de las diversas capas de aptitud genera un mapa multicriterio de aptitud de sitio.

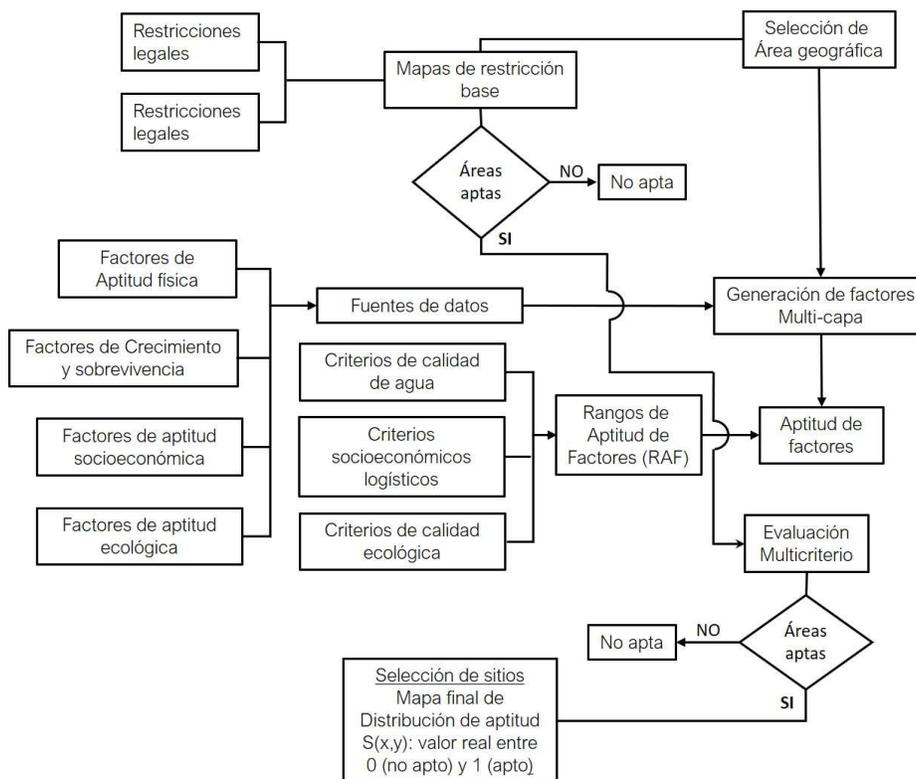


Figura 134. Diagrama de flujo de la herramienta de selecci3n de sitios para la APE de algas pardas en sistemas de cultivo long-line (Modificado de Silva *et al.* 2012).

5.10.2. Detalle de procesos SIG utilizados en herramienta de selecci3n de sitios

Los procesos incluyen: importaci3n de datos, generaci3n de mapas de restricciones y factores multicapa, evaluaci3n de la aptitud, evaluaci3n multicriterio, mapa final de aptitud.



5.10.2.1. Importación de datos, generación de mapas de restricciones y factores multicapa

Se requiere incorporar la información sobre las variables (restricciones y factores) a una base de datos espacial en un SIG (Inglis *et al.* 2000), para evaluar la aptitud de los sitios para la APE de algas pardas de un área costera específica. La información disponible sobre el área de estudio para cada variable definida debe ser identificada utilizando literatura, mapas temáticos y estadísticas como fuentes de datos para la construcción de una base de datos espacial SIG de múltiples capas. Con un SIG (e.g., ArcGIS, QGIS o Terrset) se generan mapas temáticos y se aplica un análisis de la aptitud de sitios para la APE de algas pardas en un área geográfica específica, por ejemplo, en la zona costera de la X Región.

Primero se debe generar un mapa base (e.g., digitalizado de línea de costa GEBSCO) de la zona en estudio, con una resolución espacial (e.g., 50 m x 50 m = 2500 m²) acorde al nivel de detalle de la información recopilada, el que representa una cuadrícula de un número determinado de celdas (e.g., 7.200 columnas por 7.200 fila que representen 51.840.000 celda) para un área específica en estudio (e.g., 75°-72°W; 44°-41°S).

Posteriormente, se deben importar al SIG las distintas capas (vectores e imágenes raster), tales como:

- Vectores de polígonos de máscara de tierra.
- Vectores de la línea de costa.
- Vectores (puntuales, líneas, polígonos) de las variables (restricciones y factores de aptitud).
- Imágenes raster de factores de aptitud (Ejemplo imágenes satelitales o de modelación).

Los datos puntuales de los factores de aptitud son interpolados mediante el algoritmo Kriging sobre una cuadrícula con las mismas dimensiones (e.g., 7.200 columnas por 7.200 filas para el área 75°-72°W; 44°-41°S) del mapa base. Este procesamiento se realiza mediante el uso de las herramientas de análisis y modelación geoestadística disponibles en los SIG (e.g., Geostatistical Wizard en ArcGIS, GSTAT en TerrSet), permitiendo construir una base de datos espacial de múltiples capas (Geodatabase) de una zona de estudio en específico.

Los vectores de polígonos y mapas digitalizados importados al SIG se convierten en imágenes raster con la misma resolución que el mapa base.

5.10.2.2. Modelación para la selección de sitios aptos para APE de algas pardas

Se aplican técnicas de Evaluación multicriterio (MCE) para agregar los factores en una variable de aptitud ($S_{(x,y)}$) espacial (coordenadas x e y que pertenecen al área de estudio), utilizando las funciones disponibles en el SIG. La MCE se utiliza para combinar los factores espaciales (físicos, crecimiento y supervivencia y calidad ecológica) e imágenes de restricciones legales/sociales que influyen en la aptitud para la APE de algas pardas para generar un mapa final de aptitud.

La aptitud $S_{(x,y)}$ de un sitio para el cultivo de algas pardas es calculada como la media geométrica de todos los factores, modificada por el peso y rango de aptitud del factor (RAF), convirtiendo los datos originales en valores estandarizados de aptitud acuícola (Arnold *et al.*, 2000; Vincenzi *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2016) limitados espacialmente por las restricciones legales y sociales:



$$S_{(x,y)} = \frac{\sum_{i=1}^n wRAF_{(x,y,i)} \times RAF_{(x,y,i)}}{n} \text{ Donde } C_{(x,y)} = 1 \text{ y } S_{(x,y)} = 0 \text{ donde } C_{(x,y)} = 0 \quad (1)$$

Donde $wRAF_{(x,y,i)}$ es el peso normalizado del factor, $RAF_{(x,y,i)}$ es el factor espacialmente variable modificado en niveles de aptitud; $i=1...n$ es un índice que identifica el número de parámetros de entrada correspondientes; y $C_{(x,y)}$ es la imagen de restricciones espacialmente variables. $S_{(x,y)}$ es un valor real entre 0 (no apto) y 1 (apto) y se expresa como la probabilidad de que un sitio sea apto para APE de algas pardas. Los RAF de la calidad del agua y calidad ecológica para la APE de algas pardas se obtienen de la literatura científica que describe la fisiología, crecimiento y tecnología de cultivo de las algas pardas actualmente cultivadas. Se aplicará la media geométrica ponderada (Silva *et al.* 1999, Vincenzi *et al.* 2006), donde se asigna una ponderación o peso a cada factor para indicar una importancia relativa, la cual es determinada subjetivamente por expertos.

El mapa final de distribución de aptitud generado con la MCE, está relacionado con el espacio físico disponible dentro del área de estudio, que limita el número y tamaño de las zonas donde se puede desarrollar la APE de algas pardas.

Análisis de aptitud

La Etapa 1 del desarrollo del modelo corresponde al análisis de aptitud, que utiliza las restricciones legales y sociales que han sido definidas para el desarrollo de la APE de algas pardas, para (mediante procesos SIG) limitar espacialmente el área geográfica de estudio en base al levantamiento y espacialización de la información de las restricciones de los sitios potenciales para APE de algas pardas. Para definir las áreas aptas se ha realizado una recolección de datos espaciales de restricciones provenientes de diferentes fuentes de información, luego se generan mapas temáticos para cada restricción mediante procesos de superposición. En el SIG se obtiene como resultado de esta etapa un mapa de restricciones que indica áreas aptas (valor 1) y no aptas (valor 0). Si el resultado de la superposición espacial de las restricciones identifica que *no existen áreas aptas* para la APE de algas pardas no se continua con la Etapa 2.

Evaluación multicriterio

En la Etapa 2, se aplica una MCE en un SIG como ArcGIS o QGIS, teniendo en cuenta los criterios que definen la aptitud para el cultivo de algas pardas y variables constitutivas.

Validación del modelo y metodología.

Durante la etapa 3, se debe aplicar, probar y validar el modelo y metodología SIG propuesta para la selección de sitios aptos para la APE de algas pardas. El modelo y propuesta metodológica para la evaluación de sitios aptos debe ser aplicada y probada en áreas de estudio específica utilizando la información de restricciones y factores disponibles. Los sitios seleccionados para validar el diseño metodológico comprenderán dos acciones de APE de algas desarrolladas en los sectores de Dalcahue y Auchac.

**Objetivo espec3fico 4:** Identificar parámetros ambientales óptimos para el cultivo de algas claves para el desarrollo de APE.**5.11. Evaluaci3n experimental de curvas de tolerancia a temperatura en esporas de algas**5.11.1. *Macrocystis pyrifera*

Despu3s de tres d3as de cultivo, la germinaci3n de meiosporas de *M. pyrifera* fue > 93% (Figura 135A), sin diferencias significativas entre temperaturas (ANOVA, $P > 0,05$). La tasa de crecimiento de gametofitos vari3 entre 26 y 35% d⁻¹ (Figura 135B) y significativamente m3s r3pida a 12°C (ANOVA, $P < 0,001$). La proporci3n sexual entre gametofitos masculinos y femeninos (d3a 11) vari3 entre 0,42 y 0,49 (Figura 135C), pero no se observaron diferencias significativas entre temperaturas de cultivo (ANOVA, $P > 0,05$). Luego de 20 d3as de cultivo se observaron juveniles en todos los cultivos (Figura 136), variando entre 1185 y 1795 juveniles cm⁻² (Figura 135D), pero sin diferencias significativas entre temperaturas (ANOVA, $P > 0,05$).

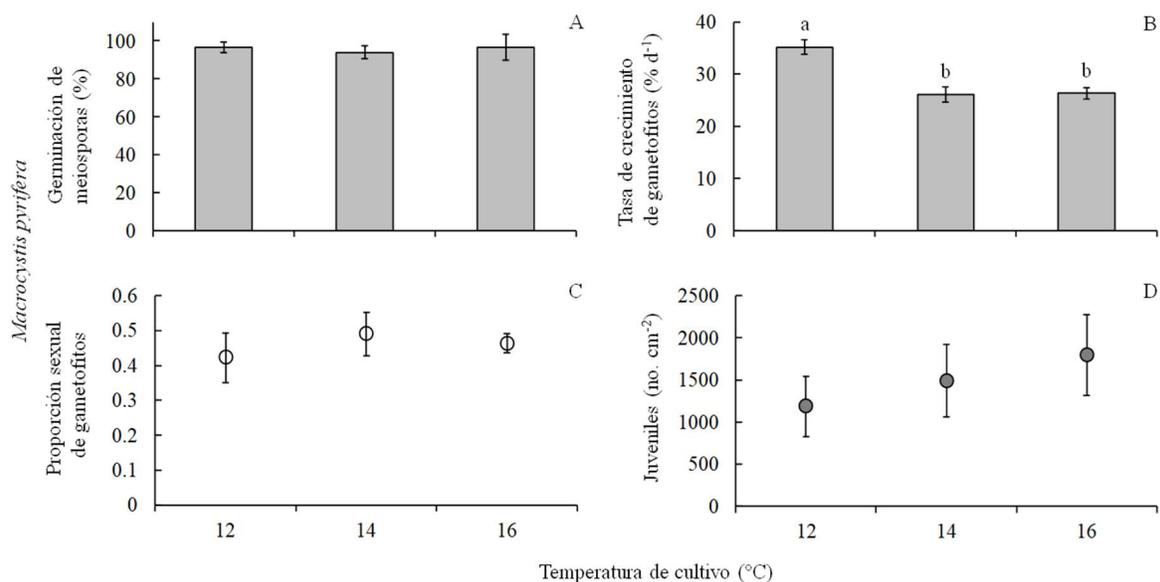


Figura 135. Desarrollo de estadios microsc3picos de *M. pyrifera* cultivada a tres temperaturas diferentes (12, 14 y 16°C). A) Porcentaje de germinaci3n de meiosporas (d3a 3); B) Tasa de crecimiento de gametofitos (d3a 11); C) proporci3n sexual entre gametofitos masculinos y femeninos (d3a 11) y D) N3mero de juveniles por unidad de 3rea (d3a 20). Barras y c3rculos representan promedio \pm desviaci3n est3ndar (n = 6). Subgrupos estad3sticos est3n agrupados por letras min3sculas (a > b; Tukey, $P < 0,05$).

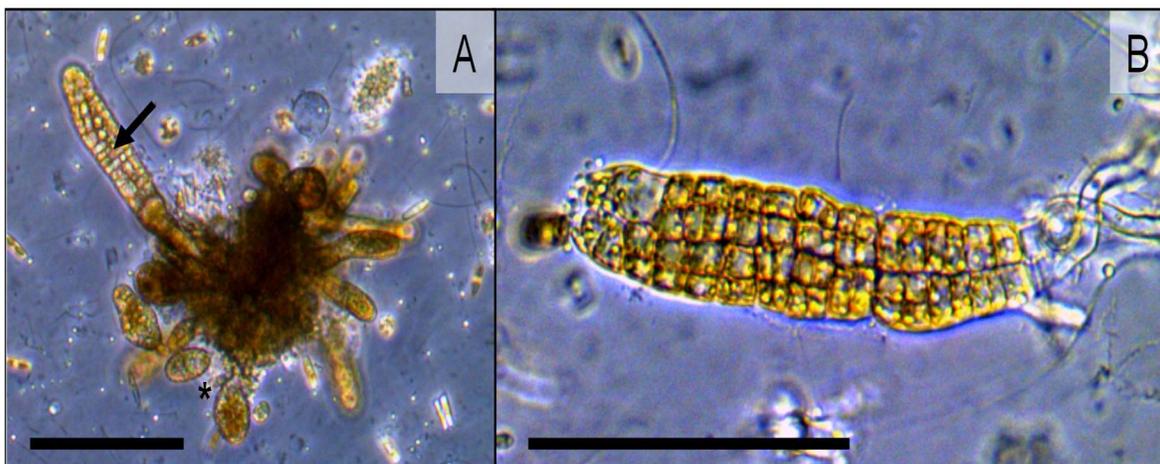


Figura 136. Estadios microscópicos de *M. pyrifera* después de 20 días de cultivo. A) esporofito juvenil (flecha) junto a embriones tempranos de dos células (asterisco), B) esporofito juvenil de 27 días de edad.

5.11.2. *Mazzaella laminarioides*

Después de tres días de cultivo, la germinación de esporas varió entre 92 y 94% en carposporas, y entre 87 y 90% en tetraesporas (Figura 137A), sin diferencias significativas entre temperaturas (ANOVA, $P > 0,05$). Además, la germinación de esporas fue estadísticamente mayor en carposporas que en tetraesporas (ANOVA de dos vías, $P = 0,002$). La tasa de crecimiento en carposporas varió entre 29 y 34% d^{-1} en carposporas, siendo estadísticamente más lenta a 12°C (ANOVA, $P < 0,001$). En tetraesporas, la tasa de crecimiento varió entre 27 y 30% d^{-1} (Figura 137B), con el crecimiento más rápido observado a 14°C (ANOVA, $P < 0,001$). Comparando entre tipos de esporas, las carposporas crecieron significativamente más rápido que las tetraesporas (ANOVA de dos vías, $P < 0,001$). La interacción entre factores (tipo de espora y temperatura) significativamente afectó la tasa de crecimiento (ANOVA de dos vías, $P = 0,002$). Después de 20 días de cultivo se observaron juveniles en todos los cultivos (Figura 139A y B), variando entre 45 y 68 juveniles cm^{-2} , y entre 58 y 77 juveniles cm^{-2} en cultivos de carposporas y tetraesporas (Figura 137C), respectivamente, pero sin diferencias significativas entre temperaturas (ANOVA de dos vías, $P > 0,05$).

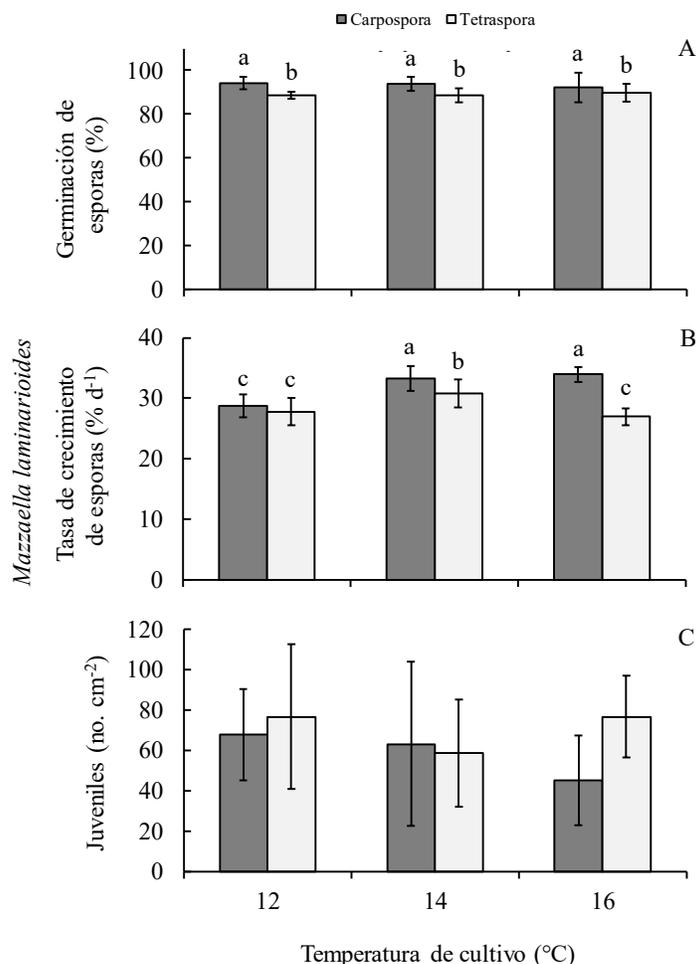


Figura 137. Desarrollo de estadios microsc3picos de *M. laminarioides* cultivada a tres temperaturas diferentes (12, 14 y 16°C). A) Porcentaje de germinaci3n de carposporas y tetrasporas (día 3); B) Tasa de crecimiento (día 11); C) y D) N3mero de juveniles por unidad de 3rea (día 20). Barras representan promedio \pm desviaci3n est3ndar (n = 6). Subgrupos estadísticos est3n agrupados por letras min3sculas (a > b > c; Tukey, P < 0,05).

5.11.3. *Sarcothalia crispata*

Despu3s de tres d3as de cultivo, la germinaci3n de esporas vari3 entre 72 y 85% en carposporas, y entre 70 y 81% en tetrasporas (Figura 138A), siendo significativamente mayor a 16°C para los dos tipos de esporas (ANOVA de dos v3as, P = 0,001). La tasa de crecimiento vari3 entre 24 y 27% d⁻¹ en carposporas, y entre 12 y 17% d⁻¹ en tetrasporas (Figura 138B), siendo estadisticamente m3s lenta a 12°C (ANOVA, P < 0,001). Comparando entre tipos de esporas, las carposporas crecieron significativamente m3s r3pido que las tetrasporas (ANOVA de dos v3as, P < 0,001). La interacci3n entre factores (tipo de espora y temperatura) significativamente afect3 la tasa de crecimiento (ANOVA de dos v3as, P = 0,006). Despu3s de 20 d3as de cultivo se observaron juveniles en todos los cultivos



(Figura 139C y D), variando entre 59 y 126 juveniles cm^{-2} , y entre 54 y 81 juveniles cm^{-2} en cultivos de carposporas y tetrasporas, respectivamente (Figura 138C). El mayor n3mero de juveniles se observ3 a 16°C (ANOVA de dos v3as, $P = 0,049$). La interacci3n entre factores (tipo de espora y temperatura) significativamente afect3 el n3mero de juveniles por 3rea (ANOVA de dos v3as, $P = 0,013$).

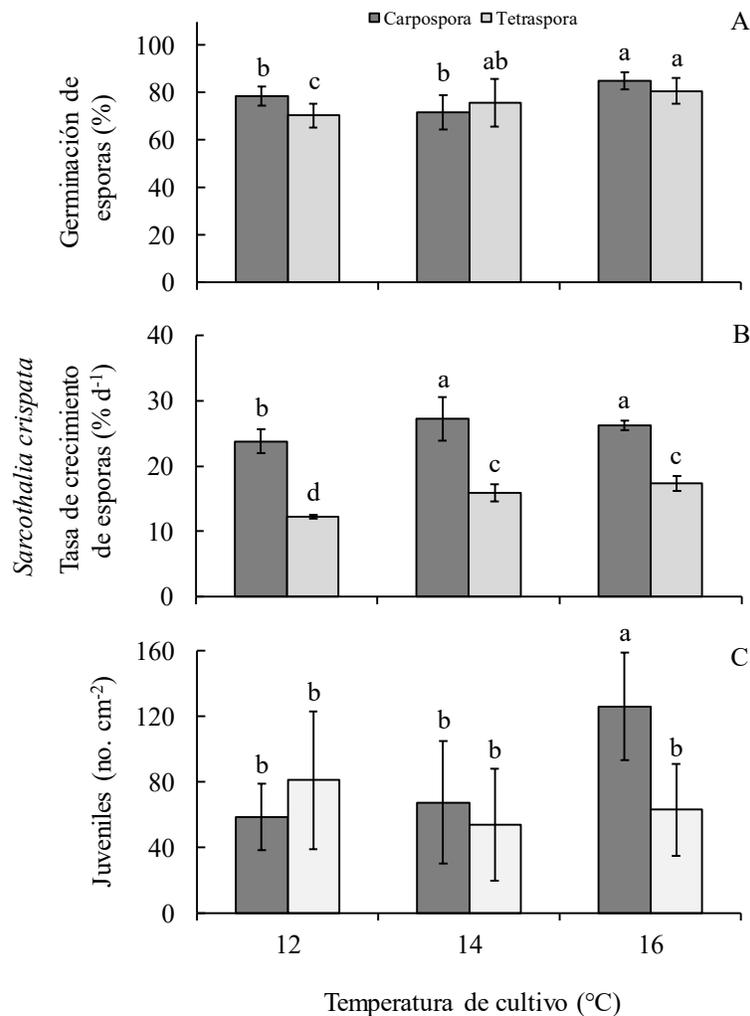


Figura 138. Desarrollo de estadios microsc3picos de *S. crispata* cultivada a tres temperaturas diferentes (12 , 14 y 16°C). A) Porcentaje de germinaci3n de carposporas y tetrasporas (d3a 3); B) Tasa de crecimiento (d3a 11); C) y D) N3mero de juveniles por unidad de 3rea (d3a 20). Barras representan promedio \pm desviaci3n est3ndar ($n = 6$). Subgrupos estad3sticos est3n agrupados por letras min3sculas ($a > b > c$; Tukey, $P < 0,05$).

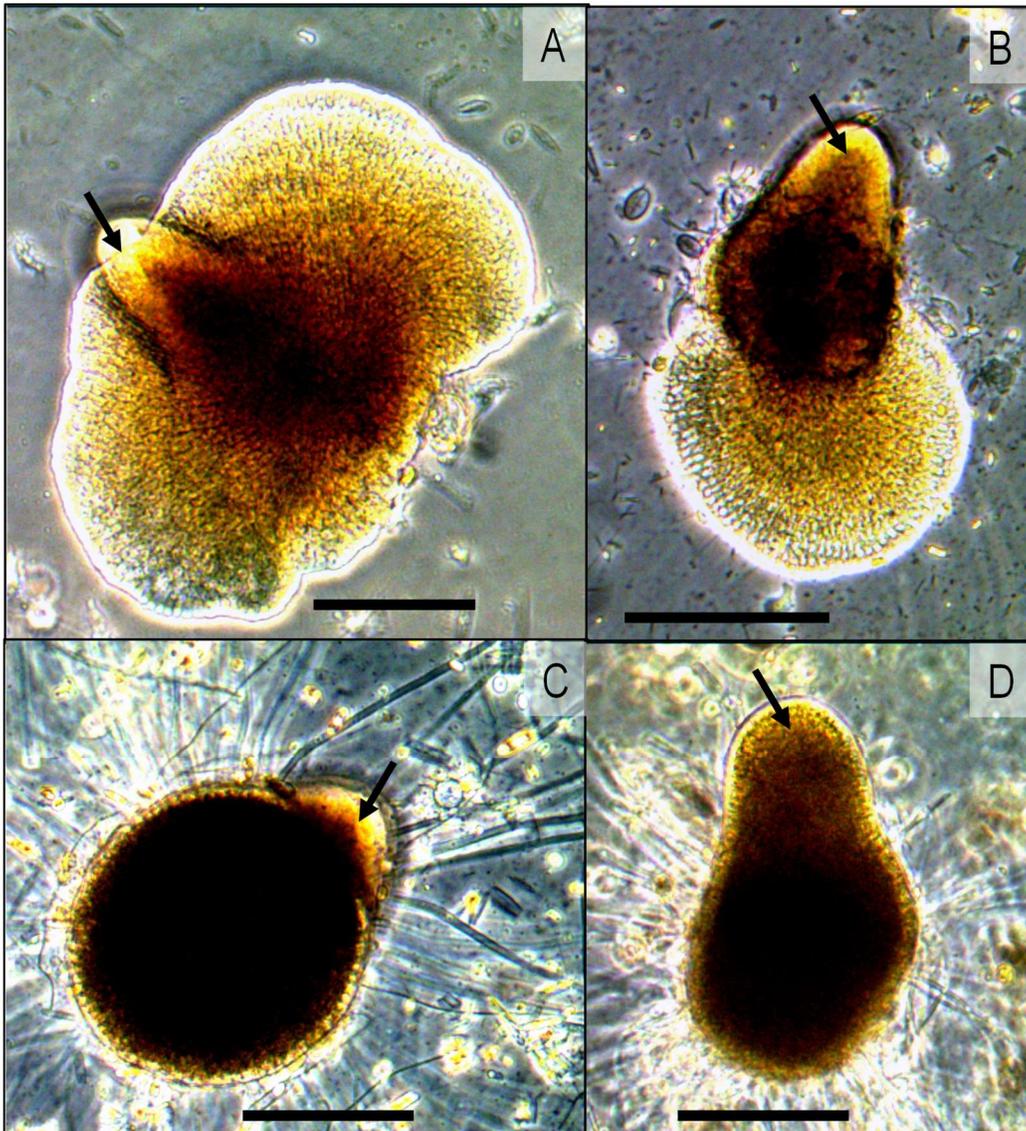


Figura 139. Estadios microsc3picos de las macroalgas rojas despu3s de 20 d3as de cultivo. Las im3genes muestran juveniles tempranos originados de A) carposporas y B) tetrasporas de *M. laminarioides* y C) carposporas y D) tetrasporas de *S. crispata*. La flecha indica el talo microsc3pico que brota desde el centro del disco de germinaci3n.



Objetivo específico 5: Realizar acciones de difusión, entrenamiento y transferencia asociadas al desarrollo de la acuicultura de algas.

5.12. Desarrollo de un manual de acuicultura de algas

El producto final obtenido es un Manual titulado “Cultivo de macroalgas: Diversificación de la Acuicultura de Pequeña Escala en Chile”. Consta de 108 páginas y está destinada a todo público, pero con énfasis a pescadores artesanales y acuicultores que pretendan diversificar sus actividades productivas con el cultivo de macroalgas.

La publicación reúne la información actualizada (informes, manuales, papers) de las técnicas de cultivo de 14 especies de macroalgas. Información que es resultado del trabajo realizado por investigadores de diferentes Universidades e Institutos de Investigación del país. Además, se realizaron encuestas y reuniones con expertos con el fin de conocer las experiencias de cultivo tanto en laboratorio, hatchery y agua de mar para homologar las dificultades o puntos críticos que existen al día de hoy al momento de comenzar con un cultivo de macroalgas.

El desarrollo del manual permitió gestar desde el punto de vista visual la elaboración de 18 ilustraciones, 14 ilustraciones que representan el hábito de cada macroalga y 4 ilustraciones que representan ciclos de vida. Además, se compiló fotografías de las macroalgas tanto del ambiente natural como de las etapas del cultivo descritas. El manual consta de tres secciones:

1. “Selección de macroalgas para el cultivo”.

Se presenta una herramienta llamada Matriz de Selección que permite escoger de acuerdo a puntuaciones la óptima especie de macroalga y el mejor método de cultivo, dando origen a un Ranking, el que permite identificar qué recurso y qué método de cultivo se encuentra más desarrollado. Orienta a las OPA al momento de decidir qué se cultiva. Los resultados de la matriz y el ranking son modificables en la medida que exista un mayor desarrollo de las tecnologías de cultivo de cada recurso, de las competencias de las organizaciones de pescadores artesanales, entre otros factores.

2. “Principales grupos de macroalgas: Alginófitas, Agarófitas, Carragenófitas y Comestibles”.

Se describen las características principales de cada grupo y se señalan las especies de macroalgas que integra cada uno, caracterizando los ciclos de vida. En algunos grupos se repiten las especies, en aquellos casos las especies se describen en el grupo comestibles.

- Alginófitas: *M. pyrifera* (Huiro), *L. berteroaana*- *L. spicata* (Huiro negro), *L. trabeculata* (Huiro palo) y *D. antarctica* (Cochayuyo).
- Agarófitas: *A. chilensis* (Pelillo), *Gelidium rex*-*Gelidium chilense*, *Gelidium lingulatum* (Chasca), *Ahnfeltia plicata* (Ahnfeltia).
- Carragenófitas: *G. skottsbergii* (Luga roja), *S. crispata* (Luga negra), *C. chamissoi* (Chicorea de mar), *M. laminarioides* (Luga cuchara), *Chondrus canaliculatus* (Chondrus) y *C. variegata* (Carola).
- Comestibles: *Pyropia spp* (Luche), *C. variegata* (Carola) *C. chamissoi* (Chicorea de mar) y *D. antarctica* (Cochayuyo).



3. “Cultivos de macroalgas”

Descripción general de las macroalgas más estudiadas, respecto a consideraciones biológicas, ecológicas y tecnológicas del cultivo a nivel de laboratorio, hatchery y en agua de mar (long-line u otro). Se exponen las producciones obtenidas en sistemas en agua de mar y los factores críticos para el éxito de cultivo. Las macroalgas se presentan agrupadas de manera funcional (Alginófitas, Agarófitas, Carragenófitas y Comestibles), de acuerdo a estructura señalada en punto 2.

Finalmente, se realiza una síntesis de la actualidad de la acuicultura de algas nacional, se presentan algunos casos de emprendimientos utilizando macroalgas y datos útiles para los potenciales cultivadores.

Se adjunta en Anexo 6, versión digital del manual para impresión, el cual ya cuenta con Registro de Propiedad Intelectual N° A-306969 y Registro de la Cámara Chilena del Libro ISBN: 978-956-7470-06-8.

5.13. Visita tecnológica de OPA a cultivos de algas en Centro Experimental Hueihue

Esta actividad se realizó el día viernes 8 marzo del 2019, en el Centro Experimental Hueihue de IFOP, ubicado en el Sector de Manao, Chiloé. Se realizaron invitaciones dirigidas a un total de 15 pescadores artesanales; a 10 pescadores del Sindicato de Trabajadores Independientes, Pescadores Artesanales, Acuicultores de mitílicos y comercialización de productos del mar de la localidad de Dalcahue y a 5 del Sindicato de Trabajadores Independientes, Pescadores Artesanales, Algueros, Buzos mariscadores y ramos afines de la localidad de Auchac, que han participado en la implementación y monitoreo de los cultivos de algas en sus respectivas CCAA o AMERB. Finalmente se contó solo con la participación 7 pescadores del Sindicato de Dalcahue.

El programa de actividades ejecutado en el marco de la visita tecnológica, incluyó para la mañana un ciclo de tres presentaciones.

-Presentación 1. “Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de algas para pescadores artesanales, a cargo del jefe de proyecto Francisco Cárcamo.

Esta presentación destaca la importancia de las algas en la cadena trófica y muestra como han aumentado los niveles de explotación de estos recursos, principalmente algas pardas, en el norte del país. Esta situación ha llevado a la Institucionalidad a planificar, elaborar y ejecutar programas y concursos en apoyo y fomento de las OPA. Dentro de los cuales se encuentra el presente Programa, se dan a conocer sus objetivos y alcances.

Presentación 2. “Modelamiento bio-económico escenario actual en relación a la acuicultura de pequeña escala de algas” a cargo de Francisco Galleguillos.

Se presenta la aplicación de un enfoque bio-económico a partir de información disponible en los ámbitos biológicos, tecnológico y económico de cuatro especies de macroalgas. Además, se entrega



información respecto a la Ley de bonificación al repoblamiento y cultivo de macroalgas. Se concluye que los resultados de este estudio tienen un carácter inicial y teórico principalmente porque los resultados que se obtienen son de corta data destacando que los escenarios económicamente rentables son fuertemente dependientes de la bonificación proporcionada por el Estado.

Presentación 3. “Experiencias de acuicultura de pequeña escala en Chile” a cargo de Sandra Saavedra.

Se presentan las metodologías y principales resultados de las experiencias de cultivo de dos especies de macroalgas (Huiro y Chicorea de mar) en dos ciclos productivos (2017-2018 y 2018-2019) realizadas en Dalcahue y Auchac. Los resultados muestran crecimientos significativos en biomasa por metro lineal. En Chicorea se observaron incrementos en biomasa por metro lineal de más de 15 veces respecto a la condición inicial del cultivo; en el caso de Huiro se observó un incremento en biomasa de más de 1000 veces respecto a la condición inicial. Las producciones obtenidas no dependen de la localidad, por ejemplo, Chicorea de mar obtuvo una producción mayor en Dalcahue durante el primer ciclo productivo y en Auchac durante el segundo. Se discute sobre las particularidades de cada sitio de cultivo y del tipo de alga que se escoge para su cultivo.

Durante la tarde, los pescadores recorrieron las instalaciones del Centro Experimental, conociendo las principales actividades que se realizan en un Hatchery, orientadas principalmente a la producción de semillas de algas. Luego, participaron de actividades tales como esporulación de algas, manejo de crecimiento en estanques y encordado de macroalgas para su posterior instalación en long-line. En Anexo 7, se adjuntan presentaciones, lista de asistencia y fotografías de la visita.

5.14. Actividades generales

5.14.1. Reuniones de Coordinación

Se realizó una reunión durante el mes de enero del 2018, en dependencias del Fondo de Administración Pesquero (FAP), Valparaíso, con la contraparte técnica SUBPESCA y otros invitados. Se presentaron las actividades y cronograma de la Etapa 2 del programa, y los principales resultados de la Etapa 1. Asisten:

- Sergio Mesa (APE, SUBPESCA)
- Danilo De La Rosa (APE, SUBPESCA)
- María Alejandra Pinto (Unidad de Recursos Bentónicos, SUBPESCA)
- Ricardo Radebach (Ley Bonificación, FAP)
- Tatiana Riquelme (Ley Bonificación, FAP)
- Ricardo Navarro (Fondo de Fomento para la Pesca Artesanal, SERNAPESCA)
- Luis Henríquez (IFOP)
- Francisco Galleguillos (IFOP)
- Francisco Cárcamo (IFOP)



Durante el mes de mayo del 2018, se mantuvo reunión en dependencias de la Dirección Zonal de Pesca y Acuicultura de la región de Los Lagos (mediante video-conferencia), con profesionales asociados a la implementación de la Ley Bonificación del FAP. Se presentaron y discutieron resultados de la Etapa 1 del programa. Asisten:

- Ricardo Radebach (Ley Bonificación, FAP)
- Tatiana Riquelme (Ley Bonificación, FAP)
- Andrea Zúñiga, (Ley Bonificación, FAP)
- Luis Henríquez (IFOP)
- Francisco Galleguillos (IFOP)

5.14.2. Difusión de Resultados

Durante el mes de mayo del 2018, se presentaron dos ponencias asociadas al desarrollo del programa:

- Análisis Bio-Económico aplicado a la Acuicultura de Pequeña Escala de Algas: una herramienta para la toma de decisiones. XXXVIII Congreso de Ciencias del Mar, Valdivia.
- Brechas para la implementación de nuevas políticas de financiamiento para la acuicultura de algas a pequeña escala: ¿Cuál es la perspectiva de los actores involucrados? XII Seminarios en Ciencia y Tecnología de Ambientes Acuáticos, Centro i-mar, Universidad de Los Lagos, Puerto Montt.

Durante el mes de septiembre del 2018, en el marco del VII Congreso Nacional de Acuicultura, se presentaron dos ponencias asociadas al desarrollo del programa:

- Chicorea de mar: Experiencia de acuicultura de pequeña escala (APE) en Chile.
- Acuicultura y repoblación marina en Chile. Identificación de brechas de investigación y desafíos de implementación bajo un enfoque ecosistémico.

En el marco de la Feria Internacional AQUASUR realizada en Puerto Montt durante octubre del 2018, se generaron diversos volantes y trípticos sobre acuicultura de algas (Figura 140 y 141, Anexo 8), los que fueron dispuestos para su distribución en el stand de SUBPESCA.

El día 4 de febrero del 2019 en la sede vecinal de Chungungo, se presentaron las actividades y resultados más relevantes obtenidos a la fecha (Etapa 2 del Programa) a la Organización comunitaria Los Castillo. Además, se les propuso la actividad de cultivo multi-especies de dos filtradores y dos especies de algas (Etapa 3 del Programa) y se les informó sobre los alcances y beneficios de la Ley de Bonificación al cultivo y repoblamiento de algas. En el Anexo 9 se presenta lista de asistentes y presentaciones.

El 4 de junio del 2019 y en la ciudad de Puerto Montt, se realizó el taller de difusión de resultados del Informe Final del "Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de Algas para Pescadores Artesanales. Etapa 2". En el Anexo 9 se presenta el programa, lista de asistentes, presentaciones y registro fotográfico del Taller.

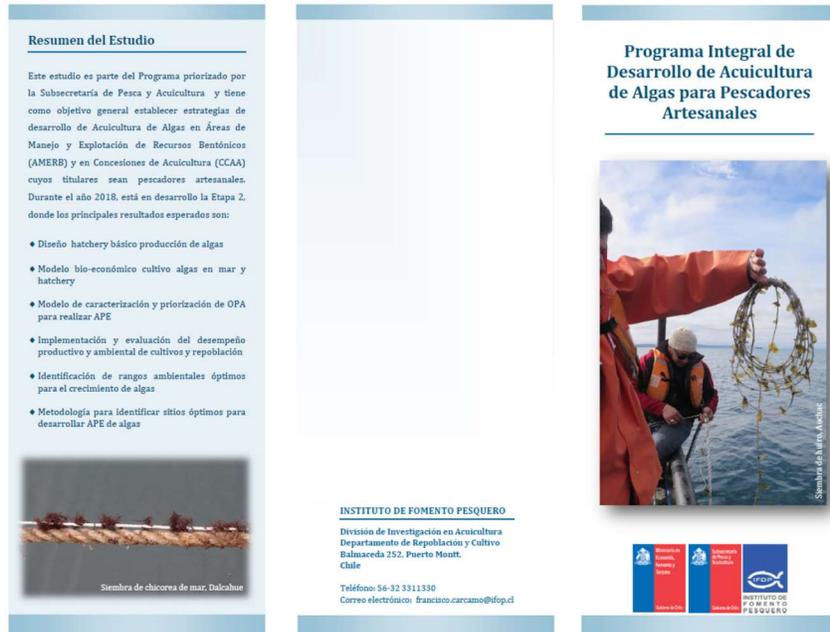


Figura 140. Tríptico de difusión del Programa de Acuicultura de Algas, distribuido en Feria AQUASUR 2018.

Chicorea de Mar

Un alga con potencial para consumo humano

Esta alga es conocida como Chicorea de Mar y puede ser incorporada a través del cultivo dentro de áreas de manejo o concesiones de acuicultura como una alternativa productiva para organizaciones de pescadores artesanales.



Cultivo en AMERB Nucleo, Chile



Chicorea de Mar es un alga roja, que habita en las costas de Perú y Chile, su nombre científico es *Chondracanthus chamossoi*, actualmente es explotada principalmente en las regiones de Atacama, coquimbo, Bío Bío y Los Lagos.

En los últimos años ha habido un creciente interés en desarrollar el cultivo de esta alga para consumo humano, ya que se requiere materia prima de alta calidad alimentaria. Los bancos naturales no son suficientes para satisfacer esta demanda en volumen ni calidad.

Se han desarrollado investigaciones para cultivar esta alga utilizando tres métodos: siembra por esporas, adhesión de fragmentos a través de discos de fijación secundarios y crecimiento vegetativo. La fase de mar se desarrolla en cultivos suspendidos tipo long line. El cultivo dentro de áreas de manejo podría ser desarrollado sin inconvenientes entre las regiones de Arica y Parícuta y Los Lagos.



Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de Algas para Pescadores Artesanales
Instituto de Fomento Pesquero - Departamento de Repoblación y Cultivo
Contacto: Dr. Francisco Cárcamo V. - email: francisco.carcamo@ifop.cl

Figura 141. Ejemplo de Volante o ficha de difusión del Programa de Acuicultura de Algas, distribuido en Feria AQUASUR 2018.



6. DISCUSIÓN

6.1. Diseño de hatchery básico para producción de algas

La mayor parte de los hatcheries visitados están orientados a la producción de algas pardas (*L. trabeculata*, *L. berteroa*, *M. pyrifera*) y rojas (*C. chamosoi*, *C. variegata*, *A. chilensis*, *S. crispata*). Se observó que desde la Región de Valparaíso al norte hay una mayor cantidad de especies que son objeto de interés para los productores de algas en hatchery, mientras que en la región de Los Lagos las especies son básicamente tres: *A. chilensis*, *M. pyrifera* y *S. crispata*. En tanto los métodos de producción son a través de la producción de plántulas mediante free floating o bien de cuerda inoculada.

La visita en terreno a los hatcheries permitió configurar y proponer un diseño de hatchery básico para la producción de macroalgas, basado en los requerimientos de infraestructura y equipamiento que los entrevistados indicaron durante el proceso de levantamiento de información. El presente estudio propone un hatchery de 100 m² (incluye oficina, lavadero, baño y un espacio exclusivo dedicado a la producción de semillas de algas), un espacio exterior de 100 m² para el crecimiento de las semillas en estanques en condiciones de temperatura y luz “ambiente” y el equipamiento necesario, asumiendo que se dispone de empalmes a red eléctrica, agua potable y alcantarillado. El costo total de este hatchery tipo es de ~3.400 UF (~MM\$95). El costo de este hatchery tipo es menor al descrito por Guisado *et al.* (2017), quienes valorizan un hatchery “modelo” para la producción de macroalgas en cerca de 8.000 UF, sin considerar costos de operación, lo que sumaría 3.000 a 3.400 UF. Los autores de este estudio indican que estos costos podrían bajarse en un 30% (por motivos no explicitados), los cuales siguen siendo mayores a los obtenidos en este estudio.

En cuanto al nivel de producción por hatchery visitado, este es variable. En algunos casos satisfacen plenamente los requerimientos de cultivo en fase de mar, como es el caso del hatchery de Algas Marinas S.A. que es capaz de producir 72.000 metros lineales de cuerda inoculada, que luego de un proceso de “pre cultivo” puede generar unos 340.000 metros lineales de cuerda para cultivo. En otros, la capacidad de producción es limitada por tratarse de cultivos más bien experimentales. Tal es el caso de la Unidad productiva de la Universidad Arturo Prat en Iquique. Esta unidad puede generar alrededor de 5.000 plántulas mensuales de *L. trabeculata*. Asumiendo una densidad de siembra de 20 plántulas por metro lineal esta producción podría generar sólo 250 m lineales de cuerda, claramente insuficientes para proveer semilla a un cultivo masivo. La misma situación se puede apreciar en la Unidad Productiva de la Universidad Católica del Norte (AquaPacífico) en la región de Coquimbo. Ahí la capacidad productiva anual alcanza a los 1.200 metros lineales de cuerda inoculada, lo que podría producir lo necesario para 12 long-lines de cultivo, equivalente a una superficie aproximada de 1 hectárea de cultivo.

Con relación a los precios de venta proyectados, este aspecto también presenta una alta variabilidad y tienden a ser altos. A modo de ejemplo, para el recurso *M. pyrifera* producido por free floating, las Unidades Productivas del CIC de la Universidad de Atacama y de la Empresa Cultivos Marinos San



Cristóbal, tienen un costo de producción por plántula de \$50 y \$ 150, respectivamente. Considerando 20 plántulas por metro lineal, el costo de producción sería de \$1.000 y \$3.000, más el costo de la cuerda, y este es el precio de producción. Si se vendiera al productor en fase de mar, su costo sería aún más alto. En todo caso, para la Empresa Cultivos Marinos San Cristóbal su unidad productiva no está orientada a la venta, sino que se mantiene como una unidad estratégica ante eventualidades. Si se toma de referencia \$1.000 por metro lineal como costo de producción, con un margen de 75%, el precio de venta de ese metro sería de \$1.750. lo necesario para un long-line de 100 metros sería equivalente a \$175.000 y en una hectárea con 13 long-lines sería de MM\$ 2,8 y de MM\$ 22,75 en 10 hectáreas. Para el mismo recurso, en el caso de la producción por cuerda inoculada en la región de Coquimbo, el precio estimado es de \$2.500, aumentando más el costo por hectárea sembrada. La misma situación se puede adelantar en el caso de la unidad productiva de la Universidad Andrés Bello, aquí el costo por plántula de *M. pyrifera* es de \$238, es decir, un metro lineal con 20 plántulas tendría un valor aprox. de \$4.760. esta proyección elevaría el costo de siembre de 10 hectáreas de superficie a MM\$ 61,9.

Respecto de las variables físico – químicas que se requieren para la producción, la mayor parte de los entrevistados declaró que desconoce cuál es el nivel o rango óptimo de las variables de control para el cultivo. Entre los investigadores nacionales sólo Camus y Buschmann (2017) parecen haber reparado, al menos lo hacen explícito, sobre la necesidad de conocer los niveles óptimos de cultivo en hatchery para las variables críticas del proceso, esto en orden a acotar el tiempo requerido para llegar al producto final (semilla competente para ser trasladada a cultivo en fase de mar) y así disminuir los altos costos de producción. Este factor, sumado a los bajos niveles producidos, lo que encarece el costo por plántula o por metro lineal inoculado, pueden explicar los altos precios que los productores en hatchery tienen para sus productos.

6.2. Análisis bio-económico de cultivos de algas en hatchery

Dos de los objetivos fundamentales del modelamiento del cultivo en hatchery fueron: i) estimar el costo medio por plántula (con el sistema de free floating) o por metro lineal inoculado, y ii) identificar qué ítem dentro de los costos son los que más aportan a este costo medio de producción, esto con el fin de sugerir la necesidad de tener mayor control sobre ellos.

Uno de los resultados más interesantes del proceso de modelamiento es la diferencia entre los costos estimados por los productores en hatchery y los estimados por el modelamiento de la producción. Ejemplo de ello lo constituye el recurso *M. pyrifera*. Mientras que el costo medio de producción más bajo declarado en las entrevistas a productores fue de \$50 por plántula y de \$ 1.923 por metro lineal, los resultados del modelamiento indican que estos serían de \$ 12 y \$217, respectivamente. Como se adelantó anteriormente, estas diferencias pueden tener su origen en al menos dos factores: a) la existencia de economías de escala, y b) los tiempos requeridos para llegar al producto final.

- a) El proceso de modelamiento se hizo sobre la base de ocupar a máxima capacidad un hatchery de 60 m² de superficie útil en la sala de incubación. Esto hace que costos fijos importantes, tales como sueldos fijos, costos de capital y depreciaciones sean divididos por una mayor



producción, lo que provoca una disminución en el costo medio de producción. Esta economía de escala no se produce cuando la producción es muy baja, que es lo que ocurre en el caso del metro lineal de cuerda inoculada con *M. pyrifera* en la región de Coquimbo, donde se producen sólo 1.200 metros lineales versus los 342 mil generados a máxima capacidad productiva.

- b) En cuanto a los tiempos requeridos para llegar al producto final existen al menos tres factores involucrados en este aspecto: i) los parámetros ambientales óptimos que maximizan el crecimiento y minimizan el tiempo de residencia en el hatchery; ii) el origen biológico del material reproductivo, y iii) la definición de “semilla competente”.
- i. Los parámetros ambientales óptimos para aumentar la tasa de crecimiento y en consecuencia disminuir el tiempo necesario para llegar a un estado donde la “semilla” pueda ser transferida a la fase de cultivo en mar, en muchos casos, es desconocida. Los autores de los reportes científicos o de recomendaciones para el cultivo, en ocasiones reportan las condiciones de cultivo, sin llegar a explicitar cómo se llegó a determinar que esas condiciones eran las más adecuadas. Una excepción a lo anterior lo constituye el trabajo de Camus y Buschmann (2017), quienes explícitamente desarrollan un experimento para encontrar la combinación de factores físico-químicos con el fin de obtener la mayor tasa de crecimiento, acortar los tiempos de crecimiento y disminuir costos asociados al cultivo de *M. pyrifera* en hatchery. Este enfoque es, sin duda, de principal relevancia para la viabilidad financiera del cultivo, no solo en esta fase, sino que además de poner en el mercado una semilla al menor costo posible para los cultivadores en fase de mar. Aquí hay un déficit importante a superar a futuro.
 - ii. Ha sido reportado que, bajo las mismas condiciones de cultivo, las plantas que se desarrollan en el hatchery difieren en su crecimiento dependiendo del origen biológico de las plantas reproductivas. Ejemplo de esto lo constituyen los aportes de Gutiérrez et al. (2006), para *M. pyrifera*, Bulboa et al. (2008), para *C. chamosoi*, entre otros. Este aspecto constituye todo un desafío futuro ya que se desconoce cuáles poblaciones geográficas tienen mayor aptitud, en cuanto al crecimiento y supervivencia para el cultivo.
 - iii. Del análisis de la literatura disponible no se desprende la existencia de algún criterio que defina cuándo una planta está en condiciones de ser transferida al cultivo en fase de mar. Tampoco es posible concluir que es un aspecto irrelevante por cuanto nada se dice en la literatura especializada. De existir algún criterio que defina cuándo la “semilla es competente” éste sería de gran utilidad para determinar el periodo de residencia de las semillas en el hatchery. A modo de ejemplo: Candia et al. (2013) sugieren que el para el caso de *S. crispata* el tiempo de cultivo en hatchery es de tres meses. Qué determina este tiempo es desconocido, al menos dentro del protocolo de cultivo. Si se observa la Figura 52 y se contrasta con lo sugerido por Candia et al. (2013), a los 90 días el diámetro sería de alrededor de 50 μm y debido al hecho que la diferencia en diámetro no es mucha ¿Habría alguna diferencia en términos de crecimiento y supervivencia en fase de mar si, digamos, se transfirieran las plantas al día 60 o 40? Habría un ahorro importante si el tiempo de permanencia en el hatchery



se reduce en 30 o 50 días, con la ventaja además que el ciclo de producción se acorta, permitiendo en los mismos 90 días producir un nuevo ciclo que esté disponible para los productores que cultivan en fase de mar. Por el momento, no hay respuesta concreta a estos aspectos.

El segundo objetivo del modelamiento de la producción en hatchery, fue establecer qué ítems de costos son los más relevantes en el costo medio. Los resultados indican que los ítems más importantes en el costo medio son los sueldos fijos, las depreciaciones, la energía eléctrica demandada por el blower y el precio de las cuerdas o cabos. Estos cuatro ítems son recurrentes, independiente de la especie cultivada y del tipo de cultivo (cuerda inoculada o free floating, en el caso de *M. pyrifera*). De estos ítems quizás el que tiene más margen de mejoramiento es el costo del metro lineal de cuerda, sobre todo en el caso del cultivo de *M. pyrifera*. Aquí el valor de la cuerda sigue siendo de \$169, mientras que en otros cultivos la compra a partir de otros proveedores y del tipo de cuerda misma disminuyó casi a \$44 por metro lineal.

La reducción del costo medio es de vital importancia para lograr la viabilidad del cultivo de semillas de algas en hatchery, como una alternativa a la explotación de praderas naturales. En la medida que sea más barato el obtener el recurso natural por sobre el producido bajo condiciones controladas el negocio de la producción en hatchery resultará no ser viable económicamente. Sólo Camus & Buschmann (2017) parecen reconocer explícitamente este aspecto y llaman la atención sobre la necesidad de lograr crecimientos más rápidos de manera de acortar el periodo de cultivo y reducir el costo medio a través de este mecanismo.

6.3. Evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de OPA titulares de AMERB en la región de Los Lagos

Uno de los desafíos declarados del Estado es mejorar el acceso a la APE y la acuicultura en AMERB, como una alternativa productiva de las comunidades costeras y de la actividad de la pesca artesanal (<http://www.subpesca.cl>). El diseño, promoción e implementación de una política de desarrollo (como la adopción de prácticas APE por parte de pescadores artesanales), junto con la asignación de recursos económicos para su puesta en marcha, presenta desafíos en diferentes ámbitos, siendo uno de ellos, la evaluación e incorporación de las aptitudes y capacidades de los actores llamados ejecutar las actividades planificadas: las personas que conforman las OPA (Diedrich *et al.* 2019). En los programas de APE que apuntan hacia el beneficio de comunidades costeras, las dinámicas socio-económicas moldean o determinan el potencial de desarrollo de la acuicultura para cumplir con los resultados de desarrollo prometidos (Morgan *et al.* 2017). Las dinámicas socio-económicas influyen, por ejemplo, qué tecnologías de acuicultura están disponibles, en qué comunidades y para quiénes (Belton & Little 2011), y cómo los procesos de toma de decisiones relacionados a la adopción de tecnologías se desarrollan dentro de las comunidades (Blythe *et al.* 2017). Cuando se implementan proyectos de acuicultura “estándar” o de “talla única”, sin una adecuada consideración de la complejidad de los contextos socio-económicos en los cuales las tecnologías son insertadas, la introducción de prácticas de acuicultura resulta por debajo de lo óptimo, conduciendo potencialmente a una distribución desigual de beneficios y una desconexión entre los beneficios y las necesidades



locales (HLPE 2014). A fin de maximizar los potenciales beneficios para las comunidades locales, las dinámicas socio-económicas deben convertirse en un componente central del desarrollo de la acuicultura (Diedrich *et al.* 2019). Los pescadores artesanales, en un contexto histórico, se han desarrollado como extractores (cazadores-recolectores), sin embargo, hoy son llamados a transformarse o al menos incorporar el cultivo como una alternativa productiva a sus actividades tradicionales. Entender y tratar de integrar estos contextos socio-económicos y bio-físicos tan diferentes es fundamental para poder conducir de manera exitosa la implementación de este tipo de políticas públicas.

El enfoque de medios de vida sostenible es una herramienta establecida que ofrece una forma matizada para entender las complejidades dinámicas socio-económicas en contextos rurales. Este enfoque sugiere que los medios de vida sostenibles son construidos a través de cinco capitales básicos (humano, social, natural, físico y financiero), los cuales son mediados por contextos de vulnerabilidad (catástrofes, estacionalidad, tendencias) y estructuras de transformación (leyes, cultura, instituciones)(Allison y Ellis 2001, Serrat 2017). Utilizando el enfoque de medios de vida sostenible como marco conceptual, se diseñó una herramienta de evaluación (encuesta semiestructurada) que fue aplicada a una muestra de OPA en la región de Los Lagos (con al menos un informe de seguimiento), para medir el grado de desarrollo de potencialidades organizaciones y biofísicas que les permitan implementar acciones de APE dentro de sus AMERB o CCAA.

Los resultados mostraron que un gran porcentaje de las OPA entrevistadas (70%) logran un desarrollo del factor potencialidades organizacionales por sobre un umbral mínimo, y que en relación al grado de desarrollo de los sub-factores que lo componen, el que estuvo más desarrollado dentro de la muestra fue el sub-factor relaciones verticales (96% de las OPA sobre el umbral mínimo), seguido por el sub-factor relaciones horizontales (67% de las OPA sobre el umbral mínimo), mientras que en último lugar se ubicó el sub-factor capital social – acción colectiva (56% de las OPA sobre el umbral mínimo). Sepúlveda *et al.* (2019) también investigaron las variables que explican el éxito en la implementación de módulos de APE (“plataformas de aprendizaje”) en 8 AMERB de la región de Coquimbo, determinando que para el éxito en la implementación de aquellos módulos fue determinante el desarrollo del sub-factor capital social, y específicamente de componentes de ese sub-factor, tales como resolución de conflictos y cooperación, mientras que los sub-factores relaciones horizontales y verticales, fueron removidos de los modelos construidos ya que no fueron estadísticamente significativos. Un estudio anterior, realizado por Sepúlveda (2016) sobre el mismo grupo de AMERB, indica que otro rasgo determinante dentro del capital social en las organizaciones que lograron implementar adecuadamente los módulos APE fue el liderazgo, constatándose la presencia de dirigentes en todos esos grupos. El liderazgo junto con niveles adecuados de desarrollo de capital social han sido identificados como factores determinantes en el éxito de pesquerías sustentables e iniciativas APE (Gutiérrez *et al.* 2011, Stanford *et al.* 2014, Blythe *et al.* 2017). Sin embargo, Diedrich *et al.* (2019) realizaron un estudio exploratorio para determinar los factores socioeconómicos que afectan la percepción de las personas en la adopción de nuevas prácticas de acuicultura para mejorar sus medios de vida, y determinaron que no solo los activos tradicionalmente evaluados (capital humano, social, natural, físico y financiero) fueron suficientes para predecir la capacidad de adopción de nuevas tecnologías, sino que otras variables de índole social (e.g., “agency”, entendida como la



habilidad de perseguir objetivos que uno valora; “equity”, entendida como la distribución y disposición de capacidades, acceso a recursos y poder, y “sensitivity”, entendida como la dependencia de los hogares de los recursos naturales) fueron variables más fuertemente relacionadas con la adopción de prácticas de APE para mejorar los medios de vida. La adopción de prácticas de acuicultura de algas como alternativa a la pesca también dependerá de cuán dependientes son los hogares a actividades pesqueras extractivas, del aislamiento geográfico de las localidades, el nivel de pobreza, la edad y nivel educacional, factores que influyen en hacer menos probable la adopción de este nuevo tipo de actividades (Crawford 2002).

Las mujeres vinculadas a los sectores pesquero y acuícola cumplen roles de suma importancia en ellos. En la actividad pesquera desempeñan diversos oficios a lo largo de la cadena de valor, al estar involucradas en la preparación de las artes, en las capturas, la recepción de productos, procesamiento, comercialización, etc. De igual forma, en la acuicultura realizan trabajos a lo largo de toda la cadena de valor. No es sino hasta décadas recientes que se ha empezado a recopilar información sobre el rol de las mujeres en estas actividades, por lo que todavía existen muchos vacíos de información, así como datos parciales, no comparables o desactualizados. En la actualidad se estima que, de los 200 millones de personas en el mundo con empleos directos en la pesca y la acuicultura, el 50 % son mujeres. Sin embargo, la pesca artesanal y los trabajos en la cadena de suministro, al margen de la producción, no se registran correctamente, por lo que el número real de mujeres podría ser mayor (FAO 2016). Las mujeres son más comunes en producción a pequeña escala, procesamiento postcosecha artesanal e industrial, adición de valor agregado, marketing y ventas, pero cuando la acuicultura se intensifica y escala, las mujeres tienden a ser desplazadas o relegadas a puestos de desempeño laboral con menor paga o trabajo de menor grado (Brugere & Williams 2017).

La historia de la pesca artesanal en Chile ha sido concebida como actividad marcadamente masculina, donde la participación de las mujeres es abiertamente considerada como un actor secundario y muchas veces invisibilizado (Álvarez et al. 2017).

En Chile operan más de 21.000 mujeres pescadoras, buzos, recolectoras y armadoras (según el Registro Pesquero Artesanal), y es la región de Los Lagos la que concentra el mayor número, con 11.300 inscritas de las cuales 5.500 son del Archipiélago de Chiloé. Las mujeres son parte fundamental en el futuro de la pesca artesanal. Ellas forman parte y también pueden ser agentes activas dentro de las organizaciones, promoviendo la innovación a la hora de procesar recursos o impulsar acuicultura de pequeña escala, entre otras áreas ⁷. Sin embargo, sólo un 40% de mujeres está vinculada a una OPA (Subpesca 2017) y 1.641 tienen participación con algún cargo en las organizaciones sindicales o gremiales identificadas, equivalente al 8% de participación (Álvarez et al. 2017). Los avances impulsados desde los organismos de Estado han sido en torno a la capacitación y el registro estadístico de actividades con enfoque de género (Álvarez et al. 2017). En términos de financiamiento, durante el año 2017, el Fondo de Fomento para la Pesca Artesanal (FFPA) aprobó la asignación de

⁷ <https://opinion.cooperativa.cl/opinion/economia/sabia-que-chile-tiene-21-mil-mujeres-pescadoras-buzos-recolectoras-y/2019-05-14/135425.html>



recursos para 87 proyectos, que beneficiaron a 633 organizaciones, de las cuales 32 son de mujeres (Subpesca 2017).

Los diagnósticos locales disponibles para el sector APE indican que el número de mujeres vinculadas a actividades de este tipo alcanza el 21,2% del total de trabajadores, siendo su participación mayor en el cultivo de ostra, pelillo y trucha. Como encargadas del cultivo son sólo el 16,8% del total de centros de cultivo que realizan APE (FIP 2004-26) y como titulares de concesiones son sólo el 6% (304 mujeres) (Álvarez et al. 2017; Subpesca 2017). En el año 2017 las mujeres presentaron exclusivamente solicitudes de acuicultura asociadas al cultivo de algas (específicamente pelillo), lo anterior probablemente debido a la menor inversión, menores costos de operación, menor tiempo de crecimiento de los ejemplares en cultivo, ubicación de los sectores más cercanos a la costa y mayor conocimiento del manejo de dicha especie (Subpesca 2017).

Los resultados obtenidos en el análisis *a posteriori* del presente estudio, respecto de la relación entre una condición de género (evaluada como el porcentaje de mujeres respecto del total de socios dentro de las OPA entrevistadas y participación en cargos de conducción de la OPA a la que pertenecen) versus el grado de desarrollo organizacional medido para las OPA analizadas no fue significativa. Sin embargo, es necesario identificar la proporción efectiva de mujeres que participan dentro de las organizaciones, así como su rol en la toma de decisiones e influencia en procesos de desarrollo y diversificación como la APE. En ese sentido, una línea de trabajo para etapas posteriores de este programa podría ser perfeccionar la encuesta de evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas, eventualmente ampliando el rango de cobertura territorial, permitiendo el levantamiento de información y estadísticas que permitan hacer inferencias desagregadas por sexo, y así trazar a las mujeres en actividades APE, permitiendo visibilizar de mejor forma su presencia, influencia e intereses (Brugere & Williams 2017). Este tipo de información (mujeres y acuicultura), no es recolectada en la mayoría de los países, incluso cuando podría dar luces sobre cuántas mujeres están empleadas o vinculadas, el tipo de labores que realizan y como esto cambia en el tiempo. Recíprocamente, la inequidad de género es reforzada y los progresos económicos y sociales de la acuicultura son obstaculizados por escasez de datos desagregados por sexo. Tal discriminación limita la protección de las mujeres en su trabajo y oportunidades de emprendimiento en un sector en expansión como la acuicultura (Brugere 2015).

La debilidad o inexistencia de este tipo de información es una de las razones del porque las mujeres son invisibles en las políticas de acuicultura. Los asuntos de género carecen de defensores fuertes, a pesar de algunos esfuerzos desarrollados por algunas agencias que promueven a las mujeres, particularmente dentro de APE. En contraste, las mujeres dentro del contexto de pesquerías de pequeña escala están levemente mejor reconocidas ya que ha existido más investigación que evidencia sus contribuciones (Brugere & Williams, 2017). El empoderamiento de la mujer implica más que solo mejoras económicas. Se requieren cambios más profundos de tipo social, institucional e individual, los cuales usualmente toman tiempo (Choo & Williams 2014). Brugere & Williams (2017), sugieren los siguientes canales para dar a las mujeres equidad y empoderamiento: i) recoger y diseminar datos desagregados por sexo y otro tipo de información relevante respecto de equidad de género usándolos sistemáticamente en la planificación y desarrollo de la acuicultura, ii) desarrollar la



acuicultura en respuesta al género, iii) incorporar al género en las políticas, instrumentos y guías para el desarrollo de la acuicultura y iv) desarrollar investigación necesaria para documentar y analizar las causas de la desigualdad de género y desarrollar soluciones transformadoras.

En relación al grado de desarrollo del factor potencialidades bio-físicas en las OPA evaluadas, se observó en general, que las organizaciones con AMERB emplazadas en sitios del mar interior de Chiloé o zona del estuario del Reloncaví fueron las que cumplieron con condiciones mínimas en el desarrollo del sub-factor condiciones naturales para la instalación y permanencia de módulos de APE, a diferencia de las organizaciones con AMERB emplazadas en zonas abiertas al océano Pacífico, donde en general se identificaron pocos sitios con condiciones mínimas para el desarrollo de actividades APE. Esto significa que se debe pensar en desarrollar nuevas tecnologías de cultivo o readecuar las existentes para que puedan ser implementadas en sitios de alta energía, o tal vez promover una diversificación de actividades productivas diferentes a la APE. Por otro lado, llama la atención el alto grado de desarrollo del sub-factor condiciones físicas dentro de las OPA entrevistadas, lo que podría motivar una revisión más exhaustiva respecto del nivel de infraestructura mínima requerido por una OPA para desarrollar actividades de APE.

En relación a las estrategias de trabajo para aquellas OPA que alcanzan un umbral de desarrollo tanto de potencialidades organizacionales como bio-físicas (Grupo C1, ver Resultados. Sección 5.3.5.), se sugiere que estas organizaciones participen en instancias directas de vinculación (e.g., mesas público-privadas o consejos estratégicos) con la Institucionalidad, a fin de que puedan encaminar de mejor forma sus requerimientos y potencialidades con los instrumentos de financiamiento disponibles en la región de Los Lagos. Este tipo de vinculación directa se ha desarrollado con éxito en la región de Coquimbo, en donde mediante consejos estratégicos entre distintos actores clave se ha logrado convocar voluntades políticas e institucionales en diferentes instancias de socialización (talleres, seminarios) donde se expone información clave para conectar los requerimientos de las OPA con las posibilidades de financiamiento de instrumentos públicos. Sin embargo, dados los bajos niveles de desarrollo alcanzados en el sub-factor capital social – acción colectiva, se sugiere un trabajo transversal en el fortalecimiento del capital social, dado que se reconoce este capital como crítico para la implementación de iniciativas de diversificación productiva. Algunas acciones a considerar podrían ser talleres de reconocimiento interno y pertenencia, funcionamiento interno (delegación de roles, cumplimiento de acuerdos, mecanismos de sanción, etc.) hasta talleres de gestión de proyectos para las OPA más avanzadas. A modo de resumen, se sugieren las siguientes acciones en función del desarrollo de las competencias organizacionales y biofísicas logradas dentro de cada grupo (Tabla 62).

**Tabla 62.**

Líneas de acción sugeridas en función del desarrollo de las competencias organizacionales y biofísicas logradas por las diferentes OPA (Según resultados Sección 5.3.5.)

Grupo	Grado de desarrollo Potencialidades Organizacionales y Biofísicas	Líneas de acción sugeridas dentro de cada grupo
C1	Desarrollo sobre umbral tanto de potencialidades organizacionales y bio-físicas	-Vinculación directa con mesas público-privadas
C2	Desarrollo bajo umbral de potencialidades organizacionales – Desarrollo sobre umbral de potencialidades bio-físicas	-Fortalecimiento organizacional (e.g., coaching de pertenencia al grupo, talleres de fortalecimiento interno, gestión de proyectos)
C3	Desarrollo bajo umbral tanto de potencialidades organizacionales y bio-físicas	-Fortalecimiento organizacional (e.g., coaching de pertenencia al grupo, talleres de fortalecimiento interno, gestión de proyectos) -Adecuación de tecnologías de cultivo para sitios de alta energía -Evaluar alternativas de diversificación productiva
C4	Desarrollo sobre umbral de potencialidades organizacionales – Desarrollo bajo umbral de potencialidades bio-físicas	-Adecuación de tecnologías de cultivo para sitios de alta energía -Evaluar alternativas de diversificación productiva

En términos generales, se sugiere que este tipo de evaluaciones, especialmente de tipo organizacional, sea realizada en forma sistemática antes o durante la implementación de políticas de fomento o diversificación de actividades productivas en comunidades costeras, a fin de poder orientar de manera efectiva la inversión y reducir incertidumbres en cuanto al impacto en la inversión de recursos que normalmente son limitantes.

Por otro lado, es importante hacer notar que en este ejercicio de evaluación de potencialidades organizacionales y bio-físicas, las ponderaciones de ambos factores fueron similares (i.e., es igual de importante según el panel de expertos lograr un umbral mínimo de desarrollo en ambos factores), sin embargo, una ponderación más orientada a la infraestructura (o por el contrario al desarrollo organizacional) podría determinar otras estrategias de intervención en función de los resultados obtenidos.

Finalmente, en este ejercicio de evaluación es importante hacer notar que no hay una intención de establecer organizaciones “mejores” o “peores”, ya que la historia de cada organización evaluada es particular, depende de un contexto histórico propio y a veces está fuertemente determinada por situaciones de ruralidad, es decir, un cambio en sus condiciones limitantes podría situar a organizaciones “mal posicionadas” para desarrollar APE en un sitio más favorable. En esa misma línea, dado que los territorios y sus organizaciones no son homogéneos, las “soluciones” (como la implementación de políticas de diversificación productiva vía implementación de APE) no serán aplicables en todos los casos, sino que habrá que buscar soluciones caso dependientes (Morgan *et al.* 2017).



6.4. Seguimiento de cultivos pilotos de algas en la región de Los Lagos

El cultivo vertical de *S. crispata* no mostró crecimiento significativo en ambos períodos de cultivo. Probablemente una baja densidad de asentamiento de esporas en hatchery facilitó el efecto negativo del rápido asentamiento de epibiontes durante el período de siembra (octubre) y la excesiva captación de algas a la deriva (principalmente *Ulva spp.*). Tales factores tienen la capacidad de perjudicar el crecimiento de aquellas esporas viables. Si bien en ambos lugares se registró epibiontes y captación de material a la deriva, esta tendencia fue particularmente marcada en Dalcahue.

Los resultados del primer ciclo de cultivo (2017) de *C. chamisoii*, mostraron que la biomasa producida en Dalcahue, triplicó la alcanzada en cultivos experimentales de gametofitos de otoño en la zona norte de Chile por Bulboa *et al.* (2013), en los cuales, luego de alrededor de 90 días de cultivo se alcanzó un máximo de 160 g m⁻¹ lineal. Esta diferencia latitudinal fue aún mayor durante verano para la biomasa de Dalcahue (alrededor de siete veces). Tal desempeño puede variar dependiendo de la susceptibilidad de proliferación de epibiontes sitio-específicas y variaciones interanuales de parámetros ambientales que afectan la tasa de crecimiento. Esto fue observado en el segundo mes de cultivo (día 41) durante segundo ciclo (2018), donde la biomasa de *C. chamisoii* en Dalcahue mostró una disminución en al menos un orden de magnitud comparada con el ciclo anterior. Estas variaciones fueron aún más acentuadas al comparar el crecimiento de *C. chamisoii* durante el mismo ciclo de cultivo en Auchac donde se alcanzó una biomasa alrededor de seis veces mayor comparada con Dalcahue.

Estas tendencias sugieren efectos que apuntarían al manejo tanto de la biomasa como de las estructuras de cultivo por parte de los cultivadores, más que a la calidad de semillas utilizadas, ya que ambos sitios utilizaron la misma fuente de semillas. Por otro lado, diferencias en la dinámica de los epibiontes, también sugieren cambios sitio-específicos en parámetros ambientales locales que influenciarían el crecimiento en cultivo. Sin embargo, cabe destacar que la biomasa de *C. chamisoii*, aunque sometida a altos niveles de epifitismo, especialmente a mediados de verano, no registró pérdida masiva de biomasa (i.e., SGR con valores positivos), especialmente en Auchac durante su segundo ciclo, lo cual sugiere que la especie es capaz de soportar condiciones de epifitismo conservando biomasa viable, y altas tasas de crecimiento.

El cultivo de *M. pyrifera* mostró variaciones similares a las observadas con *C. chamisoii*. El crecimiento máximo ocurrió a fines de noviembre, para luego disminuir hacia el verano. Este patrón concuerda con información previamente documentada para cultivos en mar de *M. pyrifera* en el sur de Chile (Gutierrez *et al.* 2006, Camus *et al.* 2016) con una dinámica de crecimiento positiva durante los primeros 80 días de cultivo de septiembre a diciembre. El segundo ciclo de cultivo mostró patrones diferentes de crecimiento. En Dalcahue, la biomasa final de *M. pyrifera* durante su segundo ciclo (2018) superó en alrededor de un orden de magnitud la alcanzada en el ciclo anterior (2017) durante el mismo período.

En ambos sitios, los resultados sugieren que durante el primer ciclo de cultivo la biomasa de epibiontes aumentó más tempranamente (i.e., día 36 y 32, respectivamente), comparado con el segundo ciclo (día 41 y 62, respectivamente). Esta tendencia fue claramente más marcada en Auchac, donde se



registró un crecimiento sustancialmente mayor de *C. chamissoi*. Adicionalmente, la biomasa total de epibiontes en Auchac fue menor comparado con Dalcahue, donde el epifitismo fue relativamente similar en ambos ciclos.

La abundancia de epibiontes, especialmente de algas oportunistas como *Polysiphonia* sp. (Rhodophyta), *Ulva* spp. (Chlorophyta) y *Desmarestia* sp. (Phaeophyta), puede explicar en parte las diferencias en crecimiento, también sugiere cambios en parámetros abióticos, que han demostrado estimular o incluso retrasar la aparición y abundancia de especies oportunistas (Krause-Jensen et al. 2007, Juanes et al. 2008, Alestra 2014). Esto también sugiere que el efecto neto de los cambios interanuales en parámetros abióticos sobre la interacción epibionte-alga pueden tener un fuerte componente local. Esto podrían explicar tanto las diferencias, inter-ciclos, así como entre sitios observadas con *C. chamissoi*.

Por otro lado, no se observaron diferencias significativas en la concentración relativa de nutrientes (nitritos y nitratos) entre sitios, de esta forma, no se puede explicar un mecanismo de facilitación a especies oportunistas. Dada las características de mayor potencial impacto antrópico del sitio Dalcahue (i.e., cercanía a ciudad, industria, acuicultura industrial) se hubiese esperado valores mayores de nutrientes respecto a Auchac. A pesar de esto, es probable que la topografía del canal, la cercanía de la ciudad y el puerto tengan un efecto acumulativo mayor al percibido con el actual monitoreo de nutrientes en este sitio. Además, otras variables (e.g., aguas de lastre, desagües, escurrimiento, contaminantes) también podrían facilitar el crecimiento no sólo de especies oportunistas. Esto podría explicar, por ejemplo, la aparición temprana y consistente (en ambos ciclos) de epibiontes, pero a su vez la gran biomasa alcanzada por ejemplares de *M. pyrifera*, una especie que se ve usualmente limitada si existen bajas concentraciones de nutrientes (Jackson 1977, Graham et al. 2007, Konotchick et al. 2012).

En resumen, si bien en ambas localidades el cultivo de algas se presenta viable, ya que se alcanzan biomazas similares (o mayores en el caso de *C. chamissoi*) a las registradas en experiencias anteriores (Gutierrez et al. 2006, Bulboa et al. 2013, Camus et al. 2016), ambos sitios presentarían amplia variabilidad espacial, indicando diferencias locales intrínsecas (variables ambientales y antrópicas) que pueden influir en el crecimiento. Tales diferencias finalmente sugieren que tanto el cultivo, así como el destino final de la biomasa (e.g., materia prima, alimento) requiere de una selección previa y completa para mejorar las oportunidades de crecimiento y diversificación de esta actividad a pequeña escala.

Similarmente, la procedencia de las semillas podría ser una variable que permita optimizar el desempeño del cultivo, sin embargo, se desconoce tal mecanismo. En el presente estudio, las plántulas de *M. pyrifera* fueron obtenidas desde material reproductivo de poblaciones naturales de Pargüa (primer ciclo) y Mar Brava, Chiloé (segundo ciclo), ambos hábitats con exposición al oleaje. Mientras, el material vegetativo de *C. chamissoi* fue obtenido desde praderas en Quetalmahue (Ancud). Dado los resultados, no podemos inferir una relación causal clara entre patrones disímiles de crecimiento y la ubicación de las poblaciones parentales. Mayor información del desempeño de cultivo a mediano plazo podría arrojar clarificar posibles tendencias de crecimiento diferenciado.



6.5. Implementación de cultivo y repoblación de huiro *L. trabeculata* en el norte de Chile

Lessonia trabeculata es la macroalga con el crecimiento más lento del norte de Chile, lo que implica un desafío para implementar programas de acuicultura y repoblación (Westermeyer *et al.* 2006). Respecto a su cultivo, Zuñiga & Soria (2018) señalan que se cuenta con el conocimiento suficiente para su escalamiento comercial. Westermeyer *et al.* (2017) señalan que desde un punto de vista comercial el cultivo es más productivo respecto a la explotación de las praderas naturales, pero sigue siendo demasiado lento para ser rentable. La ventaja de la especie es que todas las partes del alga tienen valor comercial, especialmente los estipes y las frondas. En este estudio no fue factible el cultivo de *L. trabeculata* en long-lines a partir de cabos inoculados y plántulas encordadas. Sin embargo, nuestros resultados indican que sería factible realizar repoblación a través de la adhesión de plántulas con cianoacrilato. La mortalidad de plántulas en el cultivo podría deberse a la estacionalidad de la siembra, tamaño de plántulas o que el AMERB de Chungungo no es apta para el cultivo de *L. trabeculata* debido a la alta exposición a las corrientes.

Originalmente, el periodo de siembra se había planificado en invierno. Sin embargo, la demora en la recopilación de documentos para la tramitación de la solicitud de permiso de acuicultura experimental en AMERB no permitió realizar la siembra en las fechas planificadas. Esto conllevó a que la siembra ocurriera en octubre, al inicio de la primavera. Respecto a la estacionalidad de la siembra, Zuñiga & Soria (2018), señalan que *L. trabeculata* puede ser sembrada durante todo el año, excepto en primavera, cuando el número de epifitos aumenta con la consecuente muerte de las plántulas. En este sentido, Edding & Tala (2003), señalan que el mayor problema de su cultivo en mar en bahía La Herradura fue la colonización de hidrozooos y ascidias. En nuestra experiencia no fue posible determinar si la mortalidad de plántulas se debió exclusivamente a ese factor, pero si se observó la colonización por hidrozooos.

Las variables físicas son factores gravitantes al momento de planificar un cultivo, especialmente cuando hablamos de especies submareales. La temperatura y luz letal para laminariales es alrededor de los 20°C y sobre los 150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (Lüning 1980; 1990; Lüning & Freshwater 1988). Múrua (2010), probó condiciones de temperatura e irradiancia en el desarrollo de estadios iniciales y en el crecimiento de esporofitos de *L. trabeculata* de localidades del sur y norte del país. Las mejores condiciones para el crecimiento de esporofitos fueron 15°C y 40-70 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, independiente de la localidad. Cualitativamente, esporofitos cultivados a 70 y 100 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mostraron una coloración más tenue respecto a los individuos de los tratamientos restantes, además de una morfología irregular. Respecto a la intensidad lumínica en el mar, Edding *et al.* (1990) señala que puede llegar a 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en mediciones en el aire en el mes de noviembre al medio día, esta se reduce al 35 % en el 1 m de profundidad, 65% a los 3 m de profundidad y hasta en un 90% a los 7 m de profundidad, es decir, 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En nuestros registros la temperatura promedio en el mes de diciembre fue de 15.9°C, sin embargo, en las fechas cercanas a la segunda siembra se registró un peak de temperatura de 19.2°C, lo que pudo influir en la mortalidad de las plántulas de cultivo. Otro factor preponderante en la factibilidad del cultivo es el tamaño de las plántulas al momento de cultivo. Westermeyer *et al.* (2006) sembraron plántulas de 82 mm ($\text{DE} \pm 27$) en el mes de junio en el



sur de Chile, llegando a medir 292 mm ($DE \pm 35$) en el mes de diciembre, siendo la tasa de crecimiento máxima de 3.9 mm día^{-1} en el mes de septiembre. En el norte del país, Edding *et al* (1990) registraron un crecimiento lento de 1 mm día^{-1} de juveniles de *L. trabeculata* transferidos en octubre y valores de 6 mm día^{-1} en plántulas transferidas al mar en marzo. Edding & Tala (2003) reportaron valores de crecimiento entre 2 y 6 mm día^{-1} en esporofitos cultivados en bahía La Herradura durante los meses de primavera. En los estudios antes descritos, el tamaño de siembra superó los 80 mm de longitud, lo que contrasta con nuestra experiencia, ya que el 91% de las plántulas transferidas al mar en la primera siembra media menos de 10 mm y en la segunda siembra, el promedio de siembra fue de 41.4 mm.

Según nuestros resultados la experiencia de adhesión con cianoacrilato permite la supervivencia de plántulas para repoblación, sin embargo, se aconseja realizar manejo de herbívoros para aumentar la supervivencia. En la región de Atacama, Westermeier *et al.* (2016) repoblaron con fragmentos de discos con estipes de *L. berteriana*, utilizando cianoacrilato para adherirlos a las rocas, que formaron rápidamente nuevos hapterios, colonizaron nuevos sustratos, y alcanzaron la madurez reproductiva, al igual que los resultados obtenidos en nuestro trabajo.

El principal factor de mortalidad de las plántulas adheridas fue la herbivoría. En la evaluación de comunidades queda claro que en el AMERB existe dominancia del erizo *T. niger*. Según Vásquez (1993), una densa población de esta especie impide el asentamiento de propágulos y mantiene la comunidad de fondos blanqueados. Se han informado varios factores para determinar la abundancia, distribución, fisiología y reproducción de algas marinas bentónicas. Entre los factores físicos, el movimiento del agua es de particular importancia en la expresión morfológica y distribución de macroalgas bentónicas. Por otro lado, la herbivoría es el principal factor biológico que afecta su abundancia y distribución (Vásquez & Buschmann 1997). Sin embargo, las algas supervivientes en esta experiencia llegaron a encontrarse reproductivas en el mes de marzo. Según Tala *et al.* (2004), la formación de frondas se produce en primavera y verano, pero la actividad reproductiva importante tiene lugar en otoño. Por el contrario, Murúa *et al.* (2013) encontraron que las esporas de otoño eran inviables, tanto en el norte y el sur de Chile, siendo más exitosas las esporulaciones de invierno y primavera. Por otro lado, Edding *et al.* (1993) señalan que individuos de *L. trabeculata* en áreas de fuerte movimiento del agua tienen mayor capacidad reproductiva que individuos de aguas tranquilas. Nuestros resultados coincidirían con lo expuesto por estos últimos autores, ya que la zona en la cual se encuentran los individuos adheridos presenta gran movimiento de agua al encontrarse relativamente expuesto a las corrientes.

Respecto a la experiencia de exclusión de herbívoros, al séptimo mes del experimento no se ha detectado asentamiento de *L. trabeculata* al interior de las UE, tanto del control como de los tratamientos. Por lo tanto, la ausencia de *L. trabeculata* en el área no se debería a la herbivoría por parte de especies bentónicas ni peces. En una experiencia similar Perrault *et al.* (2014), obtuvieron reclutamiento de *L. trabeculata* al segundo mes en las unidades con exclusión de herbívoros. La principal diferencia con nuestra experiencia, radica en la ausencia de *L. trabeculata* en el AMERB de estudio. Según Correa *et al.* (2006), la factibilidad de probar esta hipótesis se ve limitada cuando los organismos de estudio no se encuentran en el área de trabajo. Sin embargo, según Ruz *et al.* (2018), la presencia del pez herbívoro *A. punctatus* (jerguilla) podría servir como un mecanismo de dispersión



para *L. trabeculata*, ya que los autores reportaron zooesporas viables después de la digestión de tejido reproductivo por parte de peces adultos. Según el censo de peces realizado en el área, se registró la presencia de ejemplares adultos de *A. punctatus* en el polígono destinado a la repoblación, además, considerando la existencia de una pradera cercana de *L. trabeculata* podría existir la posibilidad de disponibilidad de propágulos en el área.

Con respecto a las comunidades encontradas al séptimo mes del experimento, las taxa dominantes para el sector de Chungungo, son concordante a las descritas por Stotz *et al.* (2016), lo que correspondería a fauna incrustante. Este tipo de comunidad es descrito como una fauna presente en sustratos mixtos de roca y arena, por lo tanto, se justificaría la presencia de crustosas calcáreas (*Lithophyllum sp.*), *Hildenbradia spp.*, y algas ceramiales como cobertura principal, además de los organismos sésiles *Balanoidea sp.*, *Phragmatopoma sp.*, por otro lado, los organismos móviles como *Turritella cingulata*, *Pagurus edwardsii*, *Alia unifasciata*, *Stichaster striatus* y *T. niger*, también fueron descrito por los autores. Uribe *et al.* (2015), realizaron en el norte de Chile un experimento para evaluar los patrones de sucesión de comunidades macrobentónicas, obteniendo resultados de la colonización y el asentamiento de macroalgas entre bosques de algas pardas y fondos estériles. Estos autores, encontraron que, a los siete meses de tratamiento, la cobertura de las algas crustosas (*Lithophyllum sp.*) logran un 20%, lo cual se corresponde con las UE control en el mismo tiempo y tipo de sustrato de fondo (fondos estériles).

Con los resultados obtenidos en esta etapa, se proyectan dos actividades a realizar en el AMERB Chungungo B, la primera es una repoblación de la pradera de plántulas de *L. trabeculata* a través de translocación de plántulas desde una AMERB donante, y la segunda, la ampliación del permiso de AEAMERB para un cultivo multi-especies que incluya 2 especies de algas.

6.6. Identificación de sitios óptimos para desarrollar APE de algas.

La herramienta desarrollada en este objetivo constituye la primera aproximación de este tipo para la acuicultura de macroalgas chilenas. La selección y clasificación previa de variables, así como, los rangos de aptitud, que componen la historia de vida de algas pardas siguiendo la metodología de Silva *et al.* (2012), difiere de la que estos autores utilizaron en la modelación previa para selección de sitio para acuicultura de mitílidos. La combinación de variables ambientales que definen tanto la supervivencia, reclutamiento y crecimiento de Phaeophytas (y aplicable a otras especies de macroalgas), representan factores fundamentales de la zona costera a lo largo de todo el país (i.e., niveles de Nutrientes, Luz, Temperatura, Oxígeno, etc.). Por otro lado, el manejo de etapas de desarrollo microscópico es usualmente llevadas a cabo en hatcheries y/o colectadas y manejadas de manera relativamente sencilla para especies como *M. pyrifera* u otras como *S. crispata* y *A. chilensis*. Sin embargo, la identificación sitio-específica de tales variables podrían influenciar la calidad y producción de biomasa. Esto debería ser tratado en objetivos futuros enfocados en calidad productiva sitio-específica. Por lo anterior, se sugiere que la importancia relativa de estas variables para la selección de sitios puede ser secundaria comparada con otros factores ambientales que interfieren directamente con la puesta en marcha y éxito del cultivo. Esto ha sido demostrado en estudios de selección de sitios para bivalvos, donde criterios logísticos han recibido mayor importancia relativa



(Buitrago et al. 2005). Sin embargo, la preponderancia de factores logísticos no deja de estar relacionada con variables ambientales capaces de garantizar la persistencia y productividad consistente en los sistemas de cultivo. Esta relación requiere información oceanográfica sitio-específica (e.g., correntimetría, oleaje, tipo y dinámica del fondo). En este sentido, la variabilidad espacial de rangos de exposición y oleaje parecen esenciales tanto para definir la permanencia de sistemas flotantes como la pérdida de biomasa. Por lo tanto, la definición de índices de esta índole (e.g., Openness) permitirá incluir en modelos GIS una planificación costera que sugiera, por ejemplo, la implementación de sistemas de cultivo de fondo (Westermeyer et al. 2012) especialmente en el norte de Chile.

Adicionalmente, la determinación de rangos de aptitud socio-económica de aquellas AMERB o CCAA interesadas en el cultivo de algas también aparece como primordial para asegurar el desarrollo de APE. La inclusión de esta información a través de índices cuantitativos de cada organización en términos de sus capacidades socio-económicas es de especial relevancia. La combinación entre valores de aptitud desarrollados con evaluación de expertos (Buitrago et al. 2005) y la planificación costera basada en mapas digitalizados permite la visualización de las capacidades sociales en cada área mapeada siguiendo modelos integrativos. Esta estrategia puede asegurar una planificación y manejo más realista de tipo *bottom-up*. De esta manera la integración y actualización de esta metodología multicriterio (Sensu Silva et al. 2011) puede facilitar la selección espacial para realizar experiencias de mayor escala o canalización de desarrollo local en aquellas organizaciones más preparadas, o bien, necesidades y perfeccionamiento de herramientas de manejo, acceso a beneficios o estudios de caso para organizaciones menos aventajadas.

Finalmente, la integración de índices de aptitud de cultivo por especies basado en sus características de desarrollo tecnológico, manejo, viabilidad de cultivo y expectativas de comercialización (i.e., índice de Cultivo Relativo - ICR, desarrollado en la Etapa 1 de este Programa) puede ayudar a entregar una visión más específica y cuantitativa de aptitudes de sitio a través de mapas temáticos que incluyan indicadores (e.g., porcentaje de idoneidad) de aquellos criterios demandados en una selección final de idoneidad. Esto facilitará la toma de decisiones coherente para el manejo adecuado tanto de las políticas de Estado, como aquellas iniciativas económicas en APE de algas a lo largo de Chile.

6.7. Evaluación experimental de curvas de tolerancia a temperatura en esporas de algas

Los resultados de este experimento mostraron que los estadios tempranos de macroalgas pardas y macroalgas rojas responden de manera distinta a diferentes temperaturas. En *M. pyrifera*, el único parámetro de desarrollo sensible a la temperatura de cultivo fue la tasa de crecimiento de gametofitos (i.e., > tasa de crecimiento a 12°C). *M. laminarioides* y *S. crispata* respondieron de manera similar, con la germinación de esporas y el número de juveniles por área siendo levemente afectada por la temperatura, y con tasas de crecimiento mayores a 14 y 16°C. Cuando se observaron diferencias significativas entre carposporas y tetraesporas, las primeras respondieron mejor que las segundas. Sin embargo, los tratamientos de temperatura usados en este experimento no tuvieron efectos deletéreos en ninguna de las 3 especies de macroalgas estudiadas.



Las diferentes temperaturas no afectaron sustancialmente el desarrollo de los estadios tempranos de las tres especies de macroalga. Posiblemente, esto se debe a que los tratamientos usados son comunes dentro del rango de temperaturas al que estas especies están adaptadas. Por ejemplo, en los sitios de estudio de Auchac y Dalcahue se han observado temperaturas que varían entre 10 y 16°C durante primavera-verano (Fig. 93D y 94D). Nuestros resultados indican que los gametofitos de la macroalga parda crecen mejor en el tratamiento de temperatura más baja (i.e., 12°C). Esto es comparable con lo descrito en la literatura, donde se indica que la temperatura óptima para el crecimiento de gametofitos de *M. pyrifera* es entre 12 y 17°C (Lüning & Neushul 1978). Sin embargo, no existe un conocimiento completo acerca de la tolerancia termal de los distintos procesos fisiológicos de los estadios microscópicos de *M. pyrifera* (Leal et al. 2017). Por otro lado, los estadios tempranos de las macroalgas rojas respondieron mejor a 14 y/o 16°C. Similarmente, no hay claridad sobre el óptimo termal para *M. laminarioides* y *S. crispata*, ya que existe un limitado número de estudios acerca de los efectos de la temperatura sobre estadios microscópicos de macroalgas rojas. Por ejemplo, Ávila et al. (2011) observaron que juveniles de *C. chamosoi* (colectada en el sur de Chile) crecieron más a 13°C que a 10°C. La macroalga tropical *Hidropuntia caudata* crece entre 20 y 30°C con una tasa de crecimiento óptima a 25°C (de Miranda et al. 2012). La germinación y el crecimiento de carposporas ocurre entre 10 y 25°C en la macroalga asiática *Ahnfeltiopsis flabelliformis* con el óptimo termal a 25°C (Zhao et al. 2014). El conocimiento y entendimiento de las distintas etapas del ciclo de vida de las macroalgas es importante para el éxito de la acuicultura de macroalgas (Henríquez-Antipa & Cárcamo 2019). Sin embargo, existen muy pocos estudios acerca del efecto de factores ambientales sobre la fisiología de estadios microscópicos de macroalgas de Chile. En este contexto, aún existe la necesidad de investigar la temperatura óptima para el crecimiento y otros procesos fisiológicos de estadios tempranos de macroalgas de importancia comercial en Chile.

En la siguiente etapa del programa, se incluirán temperaturas extremas (e.g., < 10°C y > 16°C) para caracterizar la curva de tolerancia termal para *M. pyrifera*, *M. laminarioides* y *S. crispata*.



7. CONCLUSIONES

Análisis bio-económico de cultivos de algas en hatchery

-A excepción del caso de *A. chilensis*, la producción de semillas es una actividad incierta, en el sentido de que se desconoce la real capacidad productora de estos hatcheries. Existe un potencial de producir, pero se desconocen aspectos claves: nivel de variables físico – químicas óptimas, nivel y costos de producción, requerimientos mínimos de personal, entre las más relevantes.

-En la actualidad, el precio estimado por metro lineal de cuerda inoculada o por semilla/plántula encordada es alto. Esto haría inviable un negocio de producción masiva de algas en fase de mar, o al menos introduce un elemento de incertidumbre muy alta al sistema.

-Existe expectativas de que sea el Estado el poder comprador, y que éste transfiera al productor en fase de mar (léase pescadores) las semillas producidas en hatchery.

-Existe incertidumbre en la cantidad de ciclos sobre las cuales se hacen las proyecciones de costos y producción de semillas. De la revisión de publicaciones científicas, informes o protocolos de cultivo, que han sido citados a lo largo de este Informe, da la impresión de que las extrapolaciones se hace sobre la base de uno o muy pocos (si los hay) ciclos productivos. Es cosa sabida que los resultados entre ciclos de producción suelen tener una alta dispersión, de modo tal que no se puede estar seguro de que los resultados reportados por diferentes autores citados en este Informe representan la tendencia central o están por sobre o por debajo el promedio. Así, cabe la posibilidad que la recomendación de cultivar, con la expectativa de buenos resultados económicos, o lo inverso, de no cultivar por una evaluación económica negativa, posean un alto nivel de incertidumbre por estar basada en una o muy pocas observaciones. En este momento no hay una respuesta adecuada para este escenario.

-Información robusta sobre ciclos de producción en hatchery, es extensible a la producción en fase de mar. Esto impidió llevar a cabo el análisis de riesgo, limitándose a mostrar su aplicación a través de ejemplos más bien académicos o exploratorios para el recurso *M. pyrifera* en fase de producción de hatchery y de mar.

Evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de OPA

-La incorporación de los contextos socio-económicos propios de cada grupo o territorio es necesario en el diseño e implementación de políticas orientadas a diversificar las alternativas productivas de comunidades costeras, tal como lo es la adopción de APE por parte de pescadores artesanales.

-Los resultados de la evaluación de potencialidades organizacionales y bio-físicas en una muestra de OPA de la región de Los Lagos indicaron que un porcentaje superior al 50% de las OPA evaluadas evidencian un desarrollo por sobre el umbral en ambos aspectos, sin embargo, es necesario un



reforzamiento permanente de capitales sociales básicos de las OPA (e.g., liderazgo, resolución de conflictos, cooperación, entre otros) para que puedan lograr implementar exitosamente iniciativas de diversificación como APE. Este trabajo es particularmente crítico en OPA que teniendo potencialidades bio-físicas no logran un adecuado desarrollo de potencialidades organizacionales.

-En el ámbito bio-físico, para la región de Los Lagos se hace necesario ajustar las tecnologías actualmente disponibles para implementar prácticas de APE, ya que los resultados indican que ellas solo son aplicables en sitios de baja energía, como el mar interior de Chiloé y la zona del estuario de Reloncaví. Un análisis más profundo podría poner énfasis en condiciones habilitantes mínimas más exigentes tanto en infraestructura como en condiciones naturales para el desarrollo de APE dentro de AMERB, tanto en zonas expuestas como protegidas de la región de Los Lagos.

-Se sugieren estrategias de acción particulares en función del desarrollo de las potencialidades organizacionales y/o bio-físicas alcanzadas. Estas acciones podrían orientar de mejor forma los recursos disponibles, orientando las acciones y recursos en función de las necesidades de cada grupo, y no aplicarlos de forma homogénea (pensando en que todas las organizaciones están igualmente habilitadas para implementar iniciativas APE).

Seguimiento de cultivos pilotos de algas en la región de Los Lagos

-Los resultados evidencian una realidad de APE realizada por pescadores artesanales en el sur de Chile.

-Si bien existe variabilidad intrínseca entre los patrones de crecimiento en ambos sitios de cultivo en ambas especies, el cultivo es realizable sin mayores diferencias por ambas OPA. Si bien el número de socios involucrados en las labores de manejo del cultivo varió de un lugar a otro (5 socios en Dalcahue, 2-3 socios en Auchac) las diferencias en la producción de biomasa parecen no ser un impedimento para la implementación de este tipo de acuicultura. Por otro lado, el desinterés del resto de la organización se debe, principalmente, a la falta de oportunidad de comercialización y bajo precio de la biomasa húmeda, una realidad que enfrentan hoy todos los productores algas.

-Las variaciones en los factores ambientales, especialmente la concentración de nutrientes no mostraron variaciones significativas en ambos sitios, a pesar de que ambos podrían presentar una influencia urbana muy diferente (Dalcahue: 13.276 habitantes; Auchac: 500 habitantes; SUBDERE, 2019), sin embargo, esto no parece ser un factor determinante durante los ciclos de cultivo. En resumen, ambos sitios de cultivo presentan características similares para el desarrollo cultivo a pequeña escala.

-Si bien el cultivo de *M. pyrifera*, ha sido llevado a cabo exitosamente a escalas comerciales en Chiloé, en la actualidad, existe una demanda limitada de materia prima en la zona (e.g., alimento de abalones).

-El comportamiento de *C. chamisoii*, alga de consumo directo y de menor tamaño, tendría un gran potencial de desarrollo a pequeña escala en Chiloé. Si bien la biomasa de cultivo persiste bajo epifitismo incluso durante el verano temprano, la biomasa producida en Dalcahue durante esta



experiencia fue utilizada para la producción de mermelada por los socios involucrados. Al parecer, algas comestibles podrían tener una mayor demanda local, facilitando un desarrollo incipiente de productos derivados de las algas.

Implementación de cultivo y repoblación de huiro *L. trabeculata* en el norte de Chile

-Obtención de permiso retrasado, no permitió la siembra en el período planificado (otoño-invierno).

-No fue factible el cultivo de *L. trabeculata* en el AMERB Chungungo B por la mortalidad total de plántulas. Esto pudo deberse a la estacionalidad en la fecha de siembra, ya que no solo se pudieron ver afectadas las plántulas por los epífitos, sino que también por la temperatura e intensidad lumínica registrada en las fechas de siembra (primavera). Además, el tamaño de las plántulas parece no ser el adecuado para el traspaso al medio marino.

-Adhesión con cianoacrilato permite supervivencia de plántulas hasta fase reproductiva, sin embargo, se aconseja realizar manejo de herbívoros para aumentar el porcentaje de supervivencia.

-La ausencia de *L. trabeculata* en el AMERB Chungungo B, no se debería a la presencia de herbívoros en el área.

Identificación de sitios óptimos para desarrollar APE de algas

-El uso combinado de herramientas de evaluación multicriterio y tecnología GIS permite sintetizar mapas temáticos multicapas que incluyen atributos críticos para evaluación de aptitud de sitios para acuicultura de algas.

-Se definieron 23 variables, distribuidos en 5 tipos de criterios, para evaluación de aptitud de sitios para acuicultura de algas pardas: Factores de crecimiento y supervivencia (9), Factores socio-económicos sitio-específicos (11), Factores de aptitud física (3), Factores de aptitud ecológica (1), y Restricciones legales (9). Para cada variable se definieron Rangos de Aptitud por Factor (RAF).

-Debido al amplio rango ambiental que permite el cultivo de algas a lo largo de Chile, las capacidades organizacionales inherentes y características oceanográficas como oleaje, parecen ser de mayor preponderancia para discriminar aptitud de sitio.

-Se requiere refinamiento de variables que incluyan aptitudes socioeconómicas sitio-específicas (e.g., Rangos de Aptitud de Factores logísticos), para maximizar el uso de la información, esto facilitaría la toma de decisiones tanto del Estado, como potenciales inversionistas.

-La propuesta metodológica de herramienta es capaz de seleccionar coherentemente a través de mapas temáticos multicapas, sin embargo, esta puede ser mejorada con indicadores cuantitativos para obtener ponderaciones específicas, e.g., porcentajes de aptitud, para una selección de sitios más realista y holísticas en términos socio-ecológicos de cada caso.



-Tanto el m3todo, como la herramienta de selecci3n desarrollada puede ser aplicada a toda la gama de algas comerciales y permite discriminar aptitudes sitio para acuicultura de algas en AMERB y CCAA del pa3s.

Evaluaci3n experimental de curvas de tolerancia a temperatura en esporas de algas

-A pesar que las especies de macroalgas rojas y la parda presentaron respuestas especie-especificas, los estadios tempranos de las tres macroalgas fueron tolerantes a las temperaturas de cultivo.

-Las tres especies alcanzaron altas densidades de juveniles bajo las tres temperaturas de cultivo. Esto indica que *M. pyrifera*, *M. laminarioides* y *S. crispata* pueden ser exitosamente cultivadas en condiciones controladas de laboratorio en un rango de 12 a 16°C.

-Es necesario incluir temperaturas extremas (e.g., < 10°C y > 16°C) para determinar la tolerancia termal de estas y otras especies de macroalgas.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Manjarrez J, Ross L (1995) GIS enhances aquaculture development. *GIS World* 8:52–56
- Alestra T, Schiel D R (2014) Effects of opportunistic algae on the early life history of a habitat-forming furoid: influence of temperature, nutrient enrichment and grazing pressure. *Mar Ecol Prog Ser* 508:105–115
- Allison E & Ellis F (2001) The livelihoods approach and management of small-scale fishery. *Marine Policy* 25: 377-388.
- Allison, E. H. & B. Horemans. 2006. Putting the principles of the Sustainable Livelihoods Approach into fisheries development policy and practice: *Marine Policy*, v. 30: 757-766.
- Álvarez, M. C., Stuardo Ruiz, G., Collao Navia, D., y Gajardo Cortes, C. 2017. La visualización femenina en la pesca artesanal: transformaciones culturales en el sur de Chile. *Polis (Santiago)*, 16(46), 175-191. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682017000100175>.
- Angel, A. & F.P. Ojeda. 2001. Structure and trophic organization of subtidal fish assemblages on the northern Chilean coast: the effect of hábitat complexity. *Marine Ecology Progress Series* 217: 81–91.
- Arnold WS, White MW, Norris HA, Berrigan ME (2000) Hard clam (*Mercenaria* spp.) aquaculture in Florida, USA: geographic information system applications to lease site selection. *Aquac Eng* 23:203–231
- Arntz, W.E. 1986. The two faces of El Niño. *ERFEN (Estudios Regionales del Fenómeno El Niño)* 18: 14-22.
- Avila, M., Piel, M.I., Caceres, J.H. & Alveal, K. 2011. Cultivation of the red alga *Chondracanthus chamissoi*: Sexual reproduction and seedling production in culture under controlled conditions. *J. Appl. Phycol.* 23:529–36.
- Belton, B. & Little, D.C. 2011. Immanent and Interventionist Inland Asian Aquaculture Development and its Outcomes. *Dev. Policy Rev.* 29:459–84.
- Blythe, J., Sulu, R., Harohau, D., Weeks, R., Schwarz, A.-M., Mills, D. & Phillips, M. 2017. Social Dynamics Shaping the Diffusion of Sustainable Aquaculture Innovations in the Solomon Islands. *Sustainability*. 9.
- Brigolin D, Lourguioui H, Taji MA, Venier C, Mangin A, Pastres R (2015) Space allocation for coastal aquaculture in North Africa: Data constraints, industry requirements and conservation issues. *Ocean Coast Manag* 116:89–97
- Brugere, C. 2015. Gender audit and recommendations for mainstreaming gender in the EAF-Nansen project. *FAO EAF-Nansen Project Report No. 24 (EAF-N/PR/24)*. FAO, Rome. ftp://ftp.fao.org/fi/DOCUMENT/eaf_nansen/Reports/EAF-NansenReportNo24_en.pdf
- Brugere, C. & M. Williams. 2017. Profile: Women in Aquaculture. <https://genderaquafish.org/portfolio/women-in-aquaculture/>.



- Buitrago J, Rada M, Hernández H, Buitrago E (2005) A Single-Use Site Selection Technique, Using GIS, for Aquaculture Planning: Choosing Locations for Mangrove Oyster Raft Culture in Margarita Island, Venezuela. *Environ Manage* 35:544–556
- 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.
- Bulboa C, Véliz K, Sáez F, Sepúlveda C, Vega L, Macchiavello J (2013) A new method for cultivation of the carragenophyte and edible red seaweed *Chondracanthus chamissoi* based on secondary attachment disc: Development in outdoor tanks. *Aquaculture* 410:86–94
- Buschmann, A. 2001. Impacto ambiental de la acuicultura. El estado de la investigación en Chile y el mundo. Terram publicaciones. 67 pp. En: www.terram.cl/docs/RPP_4ImpactosambientalesdelaacuiculturaelestadodelconocimientoenChileyelMundo.pdf
- Buschmann, A.H., López, D.A., Medina, A. 1996. A review of environmental effects and alternative production strategies of marina aquaculture in Chile. *Aquacult. Eng.* 15:397-421.
- Buschmann AH, Hernández-González M & Varela D (2008) Seaweed future cultivation in Chile: perspectives and challenges. *Int J Environ Pollut*, 33:432–456.
- Buschmann AH, Stead RA, Hernández-González MC & Pereda SV (2013) Un análisis crítico sobre el uso de macroalgas como base para una acuicultura sustentable. *Revista Chilena de Historia Natural*, 86: 251-264.
- Caillaux L. (2001) Informe técnico AMERB N°99/2001 ESBA Chungungo sector B. Universidad Católica del Norte.
- Camus, C., Infante, J. & Buschmann, A.H. (2016). Overview of 3 year precommercial seafarming of *Macrocystis pyrifera* along the Chilean coast. *Reviews in Aquaculture*. doi: 10.1111/raq.12185
- Camus, C. & A.H. Buschmann. 2017. *Macrocystis pyrifera* aquafarming: production optimization of roped – seeded juvenile sporophytes. *Aquaculture*. 468: 107 – 114.
- Camus, C., Infante, J. & Buschmann, A.H. 2019. Revisiting the economic profitability of giant kelp *Macrocystis pyrifera* (Ochrophyta) cultivation in Chile. *Aquaculture*. 502: 80-86.
- Cárcamo F, Henríquez L, Galleguillos F, Saavedra S, Torres D, Pérez H, Cook S, Leal P, Pérez E (2017) Informe Final: Programa Integral de desarrollo de acuicultura de algas para pescadores artesanales. Etapa 1. Convenio IFOP -SUBECON, Chile. 207 pp + Anexos.
- Cho Y, Lee W-C, Hong S, Kim H-C, Kim JB (2012) GIS-based suitable site selection using habitat suitability index for oyster farms in Geoje-Hansan Bay, Korea. *Ocean Coast Manag* 56:10–16
- Choo, P.S. and Williams, M.J. 2014. Avoiding pitfalls in development projects that aspire to empower women: A Review of the Asian Fisheries Society Gender and Fisheries Symposium Papers. *Asian Fisheries Science*,



Special Issue, 27S: 15-31.

- Correa, J., Lagos, N., Medina, M., Castilla, J., Cerda, M., Ramírez, M., Martínez, E., Faugeton, S., Andrade, S., Pinto R., y 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. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 335 (1): 13-18
- Collantes, G., Merino, A. y 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(1), 83-112.
- Coyer, J. A., Smith, G. J. & Andersen, R. A. 2001. Evolution of *Macrocystis* spp. (Phaeophyceae) as determined by ITS1 and ITS2 sequences. *J. Phycol.* 37:574–85.
- Crawford, B. 2002. Seaweed Farming: An Alternative Livelihood for Small-Scale Fishers?. Working Paper.
- Dapuzo G, Massa F, Costa S, Cimoli L, Olivari E, Chiantore M, Federici B, Povero P (2015) A spatial multi-criteria evaluation for site selection of offshore marine fish farm in the Ligurian Sea, Italy. *Ocean Coast Manag* 116:64–77
- Demes, K.W, Graham, M.H. & Suskiewicz, T.S. 2009. Phenotypic plasticity reconciles incongruous molecular and morphological taxonomies: the giant kelp, *Macrocystis* (Laminariales, Phaeophyceae), is a monospecific genus. *Journal of Phycology* 45(6): 1266-1269.
- de Miranda, G.E.C., Yokoya, N.S. & Fujii, M.T. 2012. Effects of temperature, salinity and irradiance on carposporeling development of *Hidropuntia caudata* (Gracilariales, Rhodophyta). *Brazilian J. Pharmacogn.* 22:818–24.
- Diedrich, A., Blythe, J., Petersen, E., Euriga, E., Fatchiya, A., Shimada, T. & Jones, C. 2019. Socio-Economic Drivers of Adoption of Small-Scale Aquaculture in Indonesia. *Sustainability*. 11.
- Edding M., Venegas M., Orrego P. & Fonck E. (1990) Culture and growth of *Lessonia trabeculata* juvenile sporophytes in northern Chile. *Hydrobiologia* 204/205,361-366.
- Edding M., Fonck E, Orrego P, Vanegas M, Macchiavello J (1993) A comparison between two populations of *Lessonia trabeculata* (Phaeophyta: Laminariales) microscopic stages. *Hydrobiologia* 260/261:231–237
- 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.
- Edding, M., Tala, F., Vásquez, J. 2006. Fotosíntesis, productividad y algas marinas. En: Squeo F.A. y Cardemil L. (Eds) *Fisiología Vegetal*. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile (2006)
- Edwards, P. 2000. *Aquaculture, Poverty Impact and Livelihoods: Natural Resource Perspectives*, v. 56: 4.
- Elith J, Leathwick JR (2009) *Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space*



- and Time. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 40:677–697
- Etcheverry, H., 1986. *Algas marinas bentónicas de Chile*. Instituto de Oceanología Universidad de Valparaíso, 365 pp.
- Falconer L, Telfer TC, Ross LG (2016) Investigation of a novel approach for aquaculture site selection. *J Environ Manage* 181:791–804
- FAO. 2016. *El rol de la mujer en la pesca y la acuicultura en Chile, Colombia, Paraguay y Perú Integración, sistematización y análisis de estudios nacionales Informe Final*. 38 pp.
- FIP 2013-24. 2015. *Estudios de emplazamiento de áreas de acuicultura de pequeña escala en la zona sur (VI a XIV regiones)*
- FIP 2014-25.2016. *Identificación, caracterización y vulnerabilidad al cambio climático de hábitat esenciales asociados a recursos hidrobiológicos de importancia económica en Chile*
- Flavin, K., N. Flavin, and B. Flahive. 2013. *Kelp Farming Manual. A guide to the processes, techniques, and equipment for farming kelp in New England Waters*. Ocean Approved.
- Gorsevski P, Donevska K, Mitrovski C, Frizado J (2012a) Integrating Multicriteria Evaluation Techniques with Geographic Information Systems for Landfill Site Selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Manag* 32:287–296
- Gorsevski P V, Donevska KR, Mitrovski CD, Frizado JP (2012b) Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Manag* 32:287–296
- Graham MH, Vásquez JA, Buschmann AH (2007) Global Ecology of the Giant Kelp *Macrocystis*: from ecotypes to ecosystems. *Oceanogr Mar Biol* 45:39–88
- Gross, M. G. 1982. *Oceanography: A View of the Earth*. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, NJ, 497 pp.
- 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.
- Gutiérrez, A., T. Correa, V. Muñoz, A. Santibáñez, R. Marcos, C. Cáceres y A. Buschmann (2006) Farming of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in southern Chile for development of novel food products. *J. Appl. Phycol.* 18: 259 – 267.
- Gutiérrez, N.L., Hilborn, R. & Defeo, O. 2011. Leadership, social capital and incentives promote successful fisheries. *Nature*. 470:386.
- 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.
- Henríquez-Antipa, L.A. & Cárcamo, F. 2019. Stakeholder's multidimensional perceptions on policy



- implementation gaps regarding the current status of Chilean small-scale seaweed aquaculture. *Mar. Policy*. 103:138–47.
- Hill N, AR P, ML P, MG H, GJ E, NS B, RD S-S, Leaper R (2010) Quantifying wave exposure in shallow temperate reef systems: applicability of fetch models for predicting algal biodiversity. *Mar Ecol Prog Ser* 417:83–95
- High Level Panel of Experts (HLPE). Sustainable Fisheries and Aquaculture for Food Security and Nutrition. A Report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security; Food and Agricultural Organization: Rome, Italy, 2014.
- Hoffmann, A. J., & Santelices, B. 1982. Effects of light intensity and nutrients on gametophytes and gametogenesis of *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyta). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 60(1), 77-89.
- Jackson GA (1977) Nutrients and production of giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, off southern California 1. *Limnol Oceanogr* 22:979–995
- Jofré C. (2017) Informe de seguimiento N°10 del Área de manejo y explotación de recursos bentónicos “Chungungo B”.
- Juanes JA, Guinda X, Puente A, Revilla JA (2008) Macroalgae, a suitable indicator of the ecological status of coastal rocky communities in the NE Atlantic. *Ecol Indic* 8:351–359
- Kapetsky JM, Hill JM, Worthy LD (1988) A geographical information system for catfish farming development. *Aquaculture* 68:311–320
- Karthik M, Suri J, Saharan N, Biradar RS (2005) Brackish water aquaculture site selection in Palghar Taluk, Thane district of Maharashtra, India, using the techniques of remote sensing and geographical information system. *Aquac Eng* 32:285–302
- Konotchick T, Parnell PE, Dayton PK, Leichter JJ (2012) Vertical distribution of *Macrocystis pyrifera* nutrient exposure in southern California. *Estuar Coast Shelf Sci* 106:85–92
- Krause-Jensen D, Carstensen J, Dahl K (2007) Total and opportunistic algal cover in relation to environmental variables. *Mar Pollut Bull* 55:114–125
- Krumhansl K (2012) Production and fate of kelp detritus. *Mar Ecol Prog Ser* 467:281–302.
- Kumar, M., Kumari, P., Reddy, C.R.K., & Jha, B. 2014. Salinity and Desiccation Induced Oxidative Stress Acclimation in Seaweeds. *Advances in Botanical Research*, 71, 91-123.
- Leal PP, Hurd CL, Fernández PA & Roleda MY (2017) Ocean acidification and kelp development: reduced pH has no negative effects on meiospore germination and gametophyte development of *Macrocystis pyrifera* and *Undaria pinnatifida*. *J. Phycol* 53: 557–566.
- Leal, P.P. & Roleda, M.Y. 2018. Heavy metal ecotoxicity on the early life history stages of macroalgae. In



- Charrier, B., Wichard, T. & Reddy, C. R. K. [Eds.] *Protocols for Macroalgae Research*. CRC Press, Florida, pp. 115–27.
- Liu Y, Saitoh S-I, Radiarta IN, Isada T, Hirawake T, Mizuta H, Yasui H (2013) Improvement of an aquaculture site-selection model for Japanese kelp (*Saccharinajaponica*) in southern Hokkaido, Japan: an application for the impacts of climate events. *ICES J Mar Sci* 70:1460–1470
- Longdill PC, Healy TR, Black KP (2008) An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection. *Ocean Coast Manag* 51:612–624
- Lüning, K. & Neushul, M. 1978. Light and temperature demands for growth and reproduction of laminarian gametophytes in southern and central California. *Mar. Biol.* 45:297–309.
- Lüning, K. (1980) Critical levels of light and temperature regulating the gametogenesis of three *Laminaria* species (Phaeophyceae). *J Phycol* 16, 1–15.
- Lüning, K. (1990) *Seaweeds: Their environment, biogeography and ecophysiology*. John Wiley & Sons, Inc. 527 p
- Lüning, K. & W. Freshwater. (1988) Temperature tolerance of northeast pacific marine algae. *J. Phycol.* 24, 310 – 315.
- Macaya, E.C. and G.C. Zuccarello (2010) DNA barcoding and genetic divergence in the Giant Kelp *Macrocystis* (Laminariales). *Journal of Phycology* 46(4): 736–742.
- Macchiavello JE, Bulboa CR & Edding ME (2003) Vegetative propagation and spore-based recruitment in the carrageenophyte *Chondracanthus chamissoi* (Gigartinales, Rhodophyta) in northern Chile. *Phycol. Res.* 51:45–50.
- Macchiavello, J. E. Araya & Cristian Bulboa. 2010. Production of *Macrocystis pyrifera* (Laminariales; Phaeophyceae) in northern Chile on spore-based culture. *J Appl Phycol*, 22:691–697.
- Macchiavello J., C. Sepúlveda, F. Sáez y N. Mendiz (2014) *Manual de Cultivo de Chondracanthus chamissoi* (Chicorea de mar). UCN – CORFO.
- Mansilla, A. & Alveal K. 2004. Generalidades sobre las macroalgas. En: Werlinger C (Ed.). 2004. *Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos (Marine Biology and Oceanography: Concepts and processes)*. Fondo Nacional del libro y la lectura. Editorial Trama. 650 pp.
- Marin A & Gelcich S (2012) Gobernanza y capital social en el comanejo de recursos bentónicos en Chile: aportes del análisis de redes al estudio de la pesca artesanal de pequeña escala. *CUHSO*. Vol. 22. Nro. 1 • 131-153.
- Molinet, C., Matamala, M., Arevalo, A., Almanza, V., Henríquez, J., Codjambassis, J., Niklischek, E. J., Zuleta, A., Gonzalez, T., Rosales, S., Muñoz, J., Diaz, P., Guerra, G., Avila, A., Gutierrez, J. C., Cortés, E., Llancaleguén, E., Diaz, S. 2005. Validación de la metodología de evaluación de bancos naturales de recursos hidrobiológicos y praderas de algas. Informe Final Proyecto FIP N° 2005-14.



- Moreira D & Pires JCM (2016) Atmospheric CO₂ capture by algae: negative carbon dioxide emission path. *Bioresour Technol.* 215: 371–379.
- Morgan, M., Terry, G., Rajaratnam, S. & Pant, J. 2017. Socio-cultural dynamics shaping the potential of aquaculture to deliver development outcomes. *Rev. Aquac.* 9:317–25.
- Moron, O. & Marquina, R. 1997. Peruvian sea oceanographical aspects during pelagic re-sources survey from Callao to Paita, Cr. RV Humboldt 9704, Informe Instituto del Mar del Perú, Callao, Perú 127: 31-39.
- Msuva, F.E., & Neori, A. (2008). Effect of water aeration and nutrient load level on biomass yield, N uptake and protein content of the seaweed *Ulva lactuca* cultured in seawater tanks. *Journal of Applied Phycology*, 20, 1021–1031.
- Murúa, P. (2010) Estudio de los requerimientos de irradiancia y temperatura para etapas microscópicas de *Lessonia trabeculata* (Phaeophyceae; Laminariales) de poblaciones del norte y sur de Chile: una variación estacional. Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero en Acuicultura. Universidad Austral de Chile. 56 pp
- Murúa P, Westermeier R, Patino DJ, Müller DG (2013) Culture studies on early development of *Lessonia trabeculata* (Phaeophyceae, Laminariales): seasonality and acclimation to light and temperature. *Phycol Res* 61:145–153
- Nath SS, Bolte JP, Ross LG, Aguilar-Manjarrez J (2000) Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. *Aquac Eng* 23:233–278
- Naylor RL, Goldburg RJ, Primavera JH, Kautsky N, Beveridge MC, Clay J, Folke C, Lubchenco J, Mooney H & Troell M (2000) Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405(6790): 1017-1024.
- 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.
- Novaes Vianna LF de, Filho JB (2018) Spatial analysis for site selection in marine aquaculture: An ecosystem approach applied to Baía Sul, Santa Catarina, Brazil. *Aquaculture* 489:162–174
- Olivari, R., Cerda, R. y Paredes, O., 1996. Pre-factibilidad de cultivo de algas nativas, a través de transferencia o adaptación de tecnologías. Informe Final FIP 1994-04, Subpesca. 258 pp. Subpesca, 2014. Especies hidrobiológicas Link: <http://www.subpesca.cl/institucional/602/w3-article-850.html>.
- Pérez OM, Ross LG, Telfer TC, Campo Barquin LM del (2003) Water quality requirements for marine fish cage site selection in Tenerife (Canary Islands): predictive modelling and analysis using GIS. *Aquaculture* 224:51–68



- Pérez, E.P. 2017. Análisis bioeconómico del cultivo de algas en áreas de manejo y concesiones de acuicultura bajo condiciones de riesgo e incertidumbre. Informe Final Consultoría para el Proyecto IFOP "Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de Algas Para Pescadores Artesanales". Valparaíso, Chile. Octubre de 2017. 67 pp.
- Pérez-Matus, A., S.A. Carrasco & A. Ospina-Alvarez. 2014. Length-weight relationships for 25 kelp forest-associated fishes of northern and central Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49:141–145.
- Pérez-Matus, A., S. Pledger, F.J. Díaz, L. A. Ferry & J.A. Vasquez. 2012. Plasticity in feeding selectivity and trophic structure of kelp forest associated fishes from northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 85:29–48.
- Perreault, M.C., I.A. Borgeaud & C.F. Gaymer. 2014. Impact of grazing by the sea urchin *Tetrapygus niger* on the kelp *Lessonia trabeculata* in Northern Chile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 453:22–27.
- Peteiro, C., Freire, O. 2012. Biomass yield and morphological features of the seaweed *Saccharina latissima* cultivated at two different sites in a coastal bay in the Atlantic coast of Spain. *Journal of Applied Phycology*, 25(1), 205-213.
- Peterson, A., Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)*. Princeton University Press. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/j.ctt7stnh>
- Radiarta IN, Saitoh S-I & Yasui H (2011) Aquaculture site selection for Japanese kelp (*Laminaria japonica*) in southern Hokkaido, Japan, using satellite remote sensing and GIS-based models. *ICES J Mar Sci* 68:773–780.
- 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.
- Rojas P, Espinoza C (2018) Habitat suitability for Chilean silverside (*Basilichthys microlepidotus*) in the Mataquito River, Maule Region: a geospatial approach.
- Romo H, Alveal K & Werlinger C (2001) Growth of the commercial carragenophyte *Sarcothalia crispata* (Rhodophyta, Gigartinales) on suspended culture in central Chile. *J. Appl. Phycol.* 13:229–34.
- Ross LG, Mendoza Q.M. EA & Beveridge MCM (1993) The application of geographical information systems to site selection for coastal aquaculture: an example based on salmonid cage culture. *Aquaculture* 112:165–178.



- Ruz C.S., A.F. Muth, F. Tala, y A. Pérez-Matus (2018). The herbivorous fish, *Aplodactylus punctatus*, as a potential facilitator of dispersal of kelp, *Lessonia trabeculata*, in Chile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 500 (2018) 112–119
- Ross LG, Telfer TC, Falconer L, Soto D, Aguilar-Majarrez J (ed) (2013) Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture. *FAO Fish Aquac Proc.*
- Saaty RW (1987) The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Math Model* 9:161–176
- Saaty T (2008) Decision making with the Analytic Hierarchy Process.
- Saavedra G & Macias A (2016) Collective action and symbolic capital in the artisanal fisheries: An analysis of the local food systems of Reloncaví Estuary (Los Lagos), Chile. *Culture & History Digital Journal*. Vol. 5, N° 1, 1-13 ISSN 2253-797X.
- Santelices, B. 1989. *Algas marinas de Chile. Distribución, ecología, utilización y diversidad*, 399pp. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Santelices, B. 2002. Recent advances in fertilization ecology of macroalgae. *Journal of Phycology* 38: 4-10.
- Schloeder C, Zimmermann N, J. Jacobs M (2001) Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data. *Soil Sci Soc Am J* 65
- Sepúlveda, C. 2016. *Acuicultura en áreas de manejo: desafíos para su implementación y desarrollo, utilizando el enfoque de medios de vida sostenibles*. Tesis de magister. 109 pp.
- Sepúlveda C, Stotz W, Gelcich S (2018) Política de fomento a la acuicultura en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB): ¿Business as usual? Propuesta de un enfoque metodológico que ayude a entender los factores que pueden facilitar o dificultar su implementación para orientar mejor los esfuerzos. Resúmen de Tesis de Magister. UCN.
- Sepúlveda, C., Rivera, A., Gelcich, S., Stotz, W. 2019. Exploring determinants for the implementation of mixed TURF-aquaculture systems. *Science of the total environment*. 682: 310-317.
- Serrat, O. 2017. The Sustainable Livelihoods Approach. In *Knowledge Solutions: Tools, Methods, and Approaches to Drive Organizational Performance*. Springer Singapore, Singapore, pp. 21–6.
- Silva C., Barbieri M, Yáñez J, Gutiérrez-Estrada E, DelValls T (2012) Using indicators and models for an ecosystem approach to fisheries and aquaculture management: the anchovy fishery and Pacific oyster culture in Chile: case studies. *Lat Am J Aquat Res* 40:955–969
- Silva C, Ferreira JG, Bricker SB, Valls TA Del, Martín-Díaz ML, Yáñez E (2011) Site selection for shellfish aquaculture by means of GIS and farm-scale models, with an emphasis on data-poor environments. *Aquaculture* 318:444–457
- Silva, C. E. Yáñez, M.L. Martín-Díaz, T.A. DelValls. 2012. Assessing a bioremediation strategy in a shallow coastal system affected by a fish farm culture – Application of GIS and shellfish dynamic models in the Rio



- San Pedro, SW Spain. Marine Pollution Bulletin, 64:751–765. doi:10.1016/j.marpolbul.2012.01.019.
- Silva C., E. Yáñez, M.L. Martín-Díaz, T.A. DelValls. 2016. GIS based ecological risk assessment for contaminated sites by fish farm effluents using a multicriteria weight of evidence approach. *Aquaculture Research* 47 (2): 524-539.
- Soto, R. 1985. Efectos del fenómeno El Niño 1982-83 en ecosistemas de la 1 Región. *Investigaciones Pesqueras (Chile)* 32: 199-206
- Stanford, R.J., Wiryawan, B., Bengen, D.G., Febriamansyah, R. & Haluan, J. 2014. Improving livelihoods in fishing communities of West Sumatra: More than just boats and machines. *Mar. Policy*. 45:16–25.
- Stotz W., J. Aburto, L. Caillaux y S. González (2016). Vertical distribution of rocky subtidal assemblages along the exposed coast of north-central Chile. *Journal of Sea Research* 107: 34-47.
- Subpesca. 2017. *Mujeres y Hombres en el Sector Pesquero y Acuicultor de Chile 2017*. 49 pp. <http://www.dop.cl/Documents/MujeresHombresSectorPesqueroAcuicultor.pdf>
- Tala, F., Edding, M., Vásquez, J., (2004). Aspects of the reproductive phenology of *Lessonia trabeculata* (Laminariales: Phaeophyceae) from three populations in northern Chile. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.* 38, 255–266
- Tala, F. & Edding M. 2005. Growth and loss of distal tissue in blades of *Lessonia nigrescens* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales). *Aquatic Botany* 82:39-54.
- Thurman, H.V. 1994. *Introductory Oceanography*. Seventh Edition. Macmillan Publishing Company. New York. 550 pp.
- Tomicic, J.J. 1985 Efectos del fenómeno El Niño 1982-83 en las comunidades litorales de la Península de Mejillones. *Investigaciones Pesqueras (Chile)* 32: 209-213
- 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.
- Vance, T. 2007. PhD. Thesis in Geography. *If You Build It, Will They Come? Evolution Towards the Application of Multi- Dimensional GIS to Fisheries-Oceanography*. Oregon State University.
- Vásquez, J.A. 1989. Estructura y organizacion de huirales submareales de *Lessonia trabeculata*. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Universidad de Chile: 261 pp.
- Vásquez, J.A. & Santelices B. 1990. Ecological effects of harvesting *Lessonia* (Laminariales, Phaeophyta) in central Chile. *Hydrobiologia* 204/205: 41-47.
- Vásquez J.A. (1993) Patrones de distribución de poblaciones submareales de *Lessonia trabeculata* (Laminariales, Phaeophyta) en el norte de Chile. *Serie Ocasional. Universidad Católica del Norte* 2:187-211.
- Vásquez, J.A. 1995. Ecological effects of brown seaweed harvesting. *Botanica Marina* 38: 251-257.



- Vásquez J.A. y A. H. Buschmann (1997). Herbivore-kelp interactions in Chilean subtidal communities: a review. *Revista Chilena de Historia Natural* 70: 41-52.
- Vásquez, J.A. 1999. The effects of harvesting of brown seaweeds: a social, ecological and economical important resource. *World Aquaculture* 30: 19-22.
- Vásquez, J.A. 2008. Production, use and fate of Chilean brown seaweeds: re-resources for a sustainable fishery. *Journal of Applied Phycology* 20: 457-467.
- Vásquez, J. A., Tala, F., Vega, A., Zuñiga, S., Edding, M., Piaget, N. 2008. Bases ecológicas y evaluación de usos alternativos para el manejo de praderas de algas pardas de la III y IV regiones. Informe Final Proyecto FIP N° 2005-22.
- Vásquez JA, Zuñiga S, Tala F, Piaget N, Rodríguez DC & Vega A (2014) Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *Journal of Applied Phycology*, 26:1081–1088.
- Vega, J.M.A. 2005. Dinámica poblacional de *Macrocystis integrifolia* (Laminariales, Phaeophyta) en el norte de Chile. Tesis Universidad Católica del Norte. Facultad de Ciencias del Mar. 211 pp.
- Vega, J.M.A., Vásquez J.A. & Buschmann A.H. 2005. Biology of the subtidal kelps *Macrocystis integrifolia* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales, Phaeophyceae) in an upwelling ecosystem of northern Chile: interannual variability and El Niño 1997-98. *Rev. Chile. Hist. Nat.* 78: 33-50.
- Vincenzi S, Caramori G, Rossi R, Leo GA De (2006) A GIS-based habitat suitability model for commercial yield estimation of *Tapes philippinarum* in a Mediterranean coastal lagoon (Sacca di Goro, Italy). *Ecol Modell* 193:90–104
- Warton, D.I.I. & Hui, F.K.C.K.C. 2011. The arcsine is asinine: the analysis of proportions in ecology. *Ecology*. 92:3–10.
- Westermeier, R., D. Patiño, M. I. Piel, I. Maier y D. Muller (2006) A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sporophyte seedlings from gametophyte cultures of *Lessonia trabeculata* and *Macrocystis pyrifera*. *Aquac. Res.* 37: 164 – 171.
- Westermeier R., P. Murúa, D.J. Patiño, L. Muñoz y D.G. Müller (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
- Westermeier R., P. Murúa, D.J. Patiño y D.G. Müller (2017). Population biology and long-term mariculture studies in the brown alga *Lessonia trabeculata* in Atacama, Chile. *J Appl Phycol* 29:2267–2275
- Wood D, Capuzzo E, Kirby D, Mooney-McAuley K & Kerrison P (2017) UK macroalgae aquaculture: What are the key environmental and licensing considerations? *Mar Policy* 83:29–39.
- Westermeier R, Murúa P, Patiño DJ, Muñoz L, Atero C & Müller DG (2014) Repopulation techniques for *Macrocystis integrifolia* (Phaeophyceae: Laminariales) in Atacama, Chile. *J Appl Phycol* 26:511–518.



- Yulianto et al. 2017. Spatial Analysis to Evaluate the Suitability of Seaweed Farming Site in Lampung Bay, Indonesia. *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* 17: 1253-1261.
- Zhao, F., Zhao, Z. & Liu, J. 2014. Effects of temperature on the early development of carpospores of *Ahnfeltiopsis flabelliformis* (Gigartinales, Rhodophyta). *Arch. Hydrobiol. Suppl. Algal. Stud.* 145/146:181–93.
- Zúñiga S, Marín MC, & Bulboa C (2016). Bioeconomic analysis of giant kelp *Macrocystis pyrifera* cultivation (Laminariales; Phaeophyceae) in northern Chile. *Journal of Applied Phycology*, 28(1), 405-416.
- Zúñiga S. & Soria K. (2018). Prospects for the commercial cultivation of macroalgae in northern Chile: the case of *Chondracanthus chamissoi* and *Lessonia trabeculata*. *J Appl Phycol* (2018) 30:1135–1147

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