INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2020:
Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de Algas para Pescadores Artesanales y Acuicultores de Pequeña Escala. IV Etapa.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Mayo 2021

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O

INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2020:
Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de Algas para Pescadores Artesanales y Acuicultores de Pequeña Escala. IV Etapa.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Mayo 2021

REQUIRENTE

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

Subsecretario de Economía y Empresas de Menor Tamaño
Esteban Carrasco Zambrano

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 Espinoza[1]
Claudio Silva Gallinato[1]

[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 al: i) análisis bio-económico de variantes de cultivos multi-especies, ii) estudio inicial de las dinámicas socio-organizacionales que determinan la adopción de prácticas APE por parte de pescadores, y iii) estudio de cadena productiva y de valor, y demanda de mercado nacional de algas comerciales y comestibles.

-El análisis bio-económico incluyó el estudio de 10 variantes de cultivos que incluyeron: 3 sitios de estudio (Pudeto, Quinchao y Dalcahue), 4 sistemas de cultivo (plansa, balsa, camillas y estacas), 2 especies de macroalgas (pelillo y chicorea) y 3 bivalvos (ostra japonesa, chorito y choro zapato): Se incluyó el análisis de riesgo bio-económico para todos los cultivos. Además, se desarrolló una propuesta de esquema de producción continuo tipo portafolio, usando combinaciones de especies cultivadas en el presente programa. En general, los resultados mostraron tendencias habituales en acuicultura, en el sentido de variaciones interanuales en el resultado económico de los cultivos. De las 10 variantes de cultivos modeladas, 4 mostraron ingresos netos mayores que cero (chicorea en sistema plansa, pelillo, ostra y choro zapato en co-cultivo en camillas).

-El diagnóstico de dinámicas socio-organizacionales, se construyó en base a la aplicación de un instrumento (cuestionario) validado, a un universo de 44 OPA distribuidas en 4 territorios del país (regiones de Atacama, Coquimbo, Los Ríos y Los Lagos) que son las que concentran el mayor número de iniciativas de APE. Los criterios y variables seleccionados, tanto del ámbito social como económico, permiten establecer una priorización de las OPA en relación a sus capacidades para implementar APE, pero también estos resultados pueden ser interpretados como áreas a abordar (e.g., en términos de fortalecimiento, promoción, acompañamiento) por parte del Estado.

-El estudio de cadena productiva y de valor, y demanda de mercado de macroalgas comerciales y comestibles indicó que la obtención de mejores precios de venta presenta una serie de limitaciones tanto en las desiguales condiciones de negociación como por las proyecciones futuras que presenta el crecimiento del sector productivo. Para pelillo, chicoria y cochayuyo se observa un complejo escenario para competir tanto a nivel nacional, con la extracción de praderas naturales, como internacional, con el crecimiento de la producción proveniente del continente asiático. Se recomienda la elaboración de un programa de fomento a la innovación dirigido directamente a la APE, que involucre desde el financiamiento de productos en su escala temprana (capitales semillas), su escalamiento productivo, así como la selección de mercados, estrategias comerciales y modelos de negocio que mejore la competitividad del sector.

Para el desarrollo del objetivo específico 2 **"Desarrollar cultivos pilotos de algas e invertebrados en AMERB y CCAA de diferentes zonas geográficas del país"**, se implementaron los siguientes cultivos multi-especies de macroalgas y/o bivalvos:

-Cultivo macroalgal en sistemas de plansas de chicorea y pelillo y co-cultivo en balsa de choritos y pelillo en CCAA Dalcahue, administrada por el Sindicato de Trabajadores Independientes, Pescadores Artesanales, Acuicultores de mitílidos y Comercialización de productos del mar de la localidad de Dalcahue, comuna de Dalcahue, Chiloé, región de Los Lagos.

-Co-cultivos en camillas de pelillo y ostra japonesa, y pelillo y choro zapato en CCAA rio Pudeto, administrada por Sindicato de Trabajadores Independientes Cultivadores y Explotadores de algas y recursos bentónicos Pupelde, Chiloé, región de Los Lagos.

-Cultivo macroalgal en sistemas de plansas de chicorea y pelillo en CCAA Quinchao, administrada por Corporación Municipal de Quinchao para la Educación, Salud y Atención al menor, Comuna de Quinchao, Chiloé, región de Los Lagos.

-Cultivo en long-line suspendido de ostra japonesa y ostión del norte en AMERB Chungungo B, administrada por la Organización Comunitaria de Buzos Mariscadores "Los Castillo", Caleta Chungungo, región de Coquimbo.

-Cultivo de fondo (repoblación) de huiro palo en AMERB Chungungo B, administrada por la Organización Comunitaria de Buzos Mariscadores "Los Castillo", Caleta Chungungo, región de Coquimbo.

-Cultivo de fondo (repoblación) de luga negra en AMERB Punta Cementerio, administrada por el S.T.I. Pescadores Artesanales y otras actividades del Mar, isla Tenglo, región de Los Lagos.

Los dos últimos cultivos se encuentran en su fase inicial de cultivo.

-Las diferencias de crecimiento de macroalgas en los distintos sitios obedecen a factores sitio específicos, sin embargo, mejoras en los sistemas de cultivo APE (i.e., mejoras en diseño e ingeniería para el cultivo) podrían reducir en gran parte esta variabilidad. En general, los resultados productivos mostraron variaciones interanuales en comparación con los obtenidos en el periodo 2018 – 2019 y 2019-20, encontrándose mejoras en la producción de algunas especies para este periodo, sin embargo, la determinación de tales diferencias necesita estudios a largo plazo que permitan determinar las causas de las diferencias intra e inter-sitios. Los co-cultivos de bivalvos y macroalgas, no presentaron un buen desempeño para las macroalgas, pero si para bivalvos, lo que permitiría la utilización de espacios y estructuras de cultivo existentes (e.g., pelillo) para la incorporación de otros organismos filtradores con un mayor valor económico para las OPA.

El objetivo específico 3: **"Desarrollar una metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies"**, se orientó a desarrollar y validar la propuesta de una herramienta de caracterización de sitio (MAPEAME) que mide la aptitud para realizar APE de macroalgas y bivalvos y permitió identificar sitios óptimos en las regiones de Coquimbo y Los Lagos. MAPEAME 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. Incluye 23 variables con sus respectivos Rangos de Aptitud por Factor

(RAF) y distribuidas en 5 tipos de criterios o factores para evaluación de aptitud: Crecimiento y supervivencia (9), Socio-económicos sitio-específicos (11), Aptitud física (3), Aptitud ecológica (1), y Restricciones legales (9).
Si bien existen sitios con mejor aptitud para el cultivo que pueden ser moduladas por el comportamiento de las variables ambientales dadas ciertas características de la morfología litoral (e.g., depresión costera del Equi, Golfo de Ancud, estuarios), en términos generales, los rangos de aptitud se mantuvieron alrededor de valores medios (0,46 – 0,61) en gran parte del área costera de ambas regiones. Esto sugiere el potencial intrínseco de cada región y también futuros focos de atención para mejorar áreas con índices medios-bajos (e.g., Costa de la provincia de Choapa y Limarí).
Los índices de aptitud obtenidos son consistentes con los resultados productivos obtenidos en los sitios de estudio del presente estudio .

El desarrollo del objetivo específico 4: **"Identificar condiciones abióticas óptimas para el cultivo de especies claves para el desarrollo de APE"**, en esta etapa del programa, incluyó la: i) evaluación del desempeño fisiológico-productivo de algas y bivalvos co-cultivados, y ii) determinación del efecto del origen sobre la calidad de la macroalga.
-Los resultados obtenidos aceptan la hipótesis de investigación, ya que los tratamientos de biomasa inicial de co-cultivo influenciaron estadísticamente la tasa de crecimiento de chicorea *C. chamissoi* y ostra japonesa *C. gigas*, y luga roja S. skottsbergii y C. gigas, mostrando un mayor crecimiento en co-cultivos. El análisis de series de reemplazo demostró que el crecimiento fue maximizado cuando las dos especies fueron cultivadas juntas, lo que sugiere que el co-cultivo de macroalgas y bivalvos podría aumentar la producción de biomasa en APE.
-Respecto al efecto del origen sobre la calidad del alga, los resultados iniciales rechazan la hipótesis de investigación, ya que individuos de *C. chamissoi* provenientes de distintos sitios respondieron de manera similar a los tratamientos de temperatura. Aunque, los análisis de carragenanos podrían mostrar diferencias entre sitios de origen.

En el marco del desarrollo del objetivo específico 5 **"Evaluar interacciones ambientales de acuicultura de algas e invertebrados",** se presentan: i) propuesta de protocolo de buenas prácticas para la producción de macroalgas en hatchery, ii) 3 modelos semi-cuantitativos base que representan las diversas interacciones ambientales y flujos tróficos que ocurren en 3 casos: cultivo de macroalgas, co-cultivo de mitílidos y macroalgas, y repoblación de huiro palo, iii) y las primeras 2 campañas de monitoreo y evaluación del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas.
-El análisis de modelación de redes entregó respuestas sobre impactos de la APE sobre los sistemas de cultivo y la comunidad ecológica considerando de forma holística el estado y principales componentes en diferentes etapas de cultivo, permitiendo sugerir respuestas para el manejo.
Para el cultivo de macroalgas, la modelación indica como estrategia fundamental, para lograr un desarrollo sostenible, mantener durante todas las etapas del cultivo (representada por todos los modelos desarrollados) la limpieza del sistema de cultivo que se utilice, es decir, un sistema de manejo continuo.

Para el co-cultivo, las medidas de manejo y explotación apuntan al uso coherente y la conservación tanto de hábitats biogénicos subsidiados con el desprendimiento de semillas y adultos desde cultivos de mitílidos, como de grupos de especies con funciones clave (e.g., detritívoros, suspensívoros y consumidores) como estrategia para mantener la actividad dentro de márgenes ambientalmente sostenibles.
Para la repoblación, el monitoreo de la estabilidad local del sistema de fondos blanqueados permite determinar las condiciones en la que es factible realizar ciertas acciones de manejo para cambiar la trayectoria ecológica a un sistema de bosque de macroalgas. Es por ello que la acción de repoblación no solo debe consistir en incorporar macroalgas al sistema, sino que considerar otros elementos del ambiente de manera de tener una visión holística de los cambios en la comunidad del sector.
-Respecto a la evaluación del efecto de la APE, se observa que la mitilicultura tiene la capacidad de generar hábitats biogénicos de estructura comunitaria variable. A nivel APE muestra efectos más beneficiosos presentando una comunidad más diversa en términos específicos y funcionales que en cultivos de mayor envergadura. Los bancos emergentes de cultivos de mayor escala pueden promover mayor riqueza funcional de invertebrados generalistas, detritívoros y herbívoros/ generalistas, algunos de ellos de importancia comercial, pero, disminuyendo la riqueza funcional de otras especies clave dentro del ecosistema.

El desarrollo del objetivo específico 6: **"Realizar acciones de difusión, entrenamiento y transferencia asociadas al desarrollo de la acuicultura de algas e invertebrados"**, fue abordado principalmente a través de: i) la producción de un Manual de Sistemas de Cultivo para Acuicultores de Pequeña Escala", donde se presentan 10 sistemas de cultivo que pueden implementarse para la APE en Chile., ii) el desarrollo de una página web sobre acuicultura de algas y APE (www.sembrandoelmar.cl), y iii) taller de difusión de resultados del Informe Final, realizada en modalidad on-line vía Google Meet, con asistencia de aproximadamente 75 personas.

Es importante indicar que la presente etapa del Programa fue afectada por las restricciones de movimiento y agrupación derivadas de la Pandemia COVID-19. Diversas actividades fueron interrumpidas en su desarrollo y otras se iniciaron con retraso. Sin embargo, se logró que casi la totalidad de las actividades comprometidas se ejecutarán de manera satisfactoria, aunque existen 2 actividades que si bien se iniciaron, no lograron su ejecución total, por las razones antes indicadas, y porque hubo retrasos en la entrega de los permisos sectoriales correspondientes. Estas corresponden a las actividades de cultivo de fondo o repoblación en AMERB Chungungo y Punta Cementerio, las que se informan parcialmente en este informe (etapa inicial, Mes 1-2) y cuyos avances posteriores serán presentados en el siguiente informe de la Etapa V del Programa.

En resumen, el presente informe final da cuenta de las actividades desarrolladas y los resultados obtenidos desde enero del 2020 a mayo del 2021.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO ..... **I**
ÍNDICE GENERAL ..... **V**
1. ANTECEDENTES **1**
2. OBJETIVO GENERAL **4**
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS **4**
4. METODOLOGÍA **5**
4.1. Análisis bio-económico de cultivos multi-especies (Fase 2) 5
4.2. Diagnóstico de dinámicas socio-organizacionales que determinan la adopción de prácticas APE por parte de OPA 5
4.3. Estudio de cadena productiva y de valor, y demanda de mercado nacional de algas comerciales y comestibles 7
4.4. Obtención de semillas/plántulas de algas e invertebrados para cultivos multi-especies 9
4.5. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos de algas y multi-especies en el norte y sur de Chile 9
4.6. Seguimiento y evaluación de experiencias de cultivo de fondo de algas pardas y rojas en el norte y sur de Chile 12
4.7. Validación de metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies 14
4.8. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de algas y bivalvos co-cultivados (Fase 2) 16
4.9. Determinación del efecto del origen sobre la calidad del alga 17
4.10. Desarrollo de un protocolo de buenas prácticas de producción de algas en hatchery 17
4.11. Construcción de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de algas e invertebrados (Fase 2) 18
4.12. Evaluación del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas 18
4.13. Desarrollo de protocolos de implementación de sistemas de cultivo para desarrollar APE .. 20
4.14. Desarrollo de página web sobre acuicultura de algas 21
4.15. Visita tecnológica de OPA y Capacitación en materias vinculadas a la postulación en el marco de la Ley de Bonificación al repoblamiento y cultivo de algas 21
5. RESULTADOS **23**
5.1. Análisis bio-económico de cultivos multi-especies (Fase 2) 23
5.2. Diagnóstico de dinámicas socio-organizacionales que determinan la adopción de prácticas APE por parte de OPA 74
5.3. Estudio de cadena productiva y de valor, y demanda de mercado nacional de algas comerciales y comestibles 96
5.4. Obtención de semillas/plántulas de algas e invertebrados para cultivos multi-especies 111
5.5. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos de algas y multi-especies en el norte y sur de Chile 111

5.6. Seguimiento y evaluación de experiencias de cultivo de fondo de algas pardas y rojas en el norte y sur de Chile 152
5.7. Validación de metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies 167
5.8. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de algas y bivalvos co-cultivados (Fase 2) 186
5.9. Determinación del efecto del origen sobre la calidad del alga 196
5.10. Desarrollo de un protocolo de buenas prácticas de producción de algas en hatchery 199
5.11. Construcción de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de algas e invertebrados (Fase 2) 216
5.12. Evaluación del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas 247
5.13. Desarrollo de protocolos de implementación de sistemas de cultivo para desarrollar APE 269
5.14. Desarrollo de página web sobre acuicultura de algas 269
5.15. Visita tecnológica de OPA y Capacitación en materias vinculadas a la postulación en el marco de la Ley de Bonificación al repoblamiento y cultivo de algas 270
5.16. Actividades generales 270
6. DISCUSIÓN 271
6.1. Análisis bio-económico de cultivos multi-especies (Fase 2) 271
6.2. Diagnóstico de dinámicas socio-organizacionales que determinan la adopción de prácticas APE por parte de OPA 273
6.3. Estudio de cadena productiva y de valor, y demanda de mercado nacional de algas comerciales y comestibles 275
6.4. Desempeño productivo y ambiental de los cultivos 277
6.5. Seguimiento y evaluación de experiencias de cultivo de fondo de algas pardas y rojas en el norte y sur de Chile 280
6.6. Validación de metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies 280
6.7. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de algas y bivalvos co-cultivados (Fase 2) 281
6.8. Determinación del efecto del origen sobre la calidad del alga 282
6.9. Construcción de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de algas e invertebrados (Fase 2) 283
6.10. Evaluación del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas 286
7. CONCLUSIONES 289
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 295

ANEXOS

Anexo 1. Informe Consultoría "Bio-economia Cultivos APE"
Anexo 2. Bibliografía revisada y Cuestionario Aplicado en Diagnóstico de Dinámicas Socio-organizacionales
Anexo 3. Informe Consultoría "Diagnóstico de dinámicas socio-organizacionales"
Anexo 4. Norma Técnica Elaboración Algas destinadas a Consumo Humano Directo
Anexo 5. Documentos asociados a gestión de permisos de acuicultura en sitios de estudio
Anexo 6. Metodología MAPEAME Selección de Sitios de cultivos APE
Anexo 7. Actividades de difusión y divulgación del Programa
Anexo 8. Contenido Base de Datos

.

1.ANTECEDENTES

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 diferentes para balancear el flujo de materia y energía en sistemas costeros (Naylor et al. 2000; Buschmann et al 2013) y diferentes sistemas de cultivos y especies para dar mayor resiliencia al sistema de 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 alimento de otras especies en 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, 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 de diversificación de la acuicultura chilena, y también como una alternativa o complemento al desarrollo económico de comunidades de pescadores artesanales en un escenario de sobre–explotación o agotamiento de las praderas naturales. A pesar de ello, solo el alga pelillo (*Agarophyton chilense*, antes *Gracilaria chilensis*) es la que ha sido cultivada comercialmente (Buschmann et al. 2008). A mediano plazo se espera que su impacto productivo aumente significativamente. Desde el punto de vista normativo existen dos instrumentos aprobados que regulan y promueven su desarrollo: el Decreto N°96 que regula las actividades de acuicultura en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), y la Ley de Bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas. Otras normativas se encuentran en preparación y desarrollo y también contribuirían al desarrollo, tanto de la acuicultura de algas como de la APE, entre ellas podemos nombrar: la Política Nacional de Algas (PNAL), marco que fortalecería el crecimiento y emprendimiento del sector artesanal e industrial a través de redes de apoyo gubernamentales que promuevan proyectos, principalmente, de diversificación productiva; el estatuto APE, y la reciente creación del Instituto Nacional de Desarrollo Sustentable de la Pesca Artesanal y de la Acuicultura de Pequeña Escala (INDESPA).

Por otro lado, para diversas especies de algas nativas se han desarrollo tecnologías de cultivo (e.g. pelillo *A. chilense*, las lugas *Sarcothalia crispata* y *Sarcopeltis skottsbergii (ex Gigartina skottsbergii)*, los huiros *Lessonia trabeculata* y *Macrocystis pyrifera*, luche *Porphyra columbina*, chicorea de mar

Chondracanthus chamissoi) que permiten 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, otorgando 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 es dependiente de la especie a cultivar y de las características ambientales que imponen diversas zonas geográficas.
-Se debe evaluar el escalamiento a nivel masivo de la producción de plántulas en invernadero o hatchery.
-Realizar estudios que integren aspectos biológicos, tecnológicos, sociales y económicos para evaluar factibilidad de cultivos de algas a escalas comerciales, dado que éstos son escasos para especies chilenas lo que dificulta la decisión respecto a la inversión (Zuñiga et al. 2016)
-Práctica de la acuicultura requiere de procesos de aprendizaje, capacitación y apropiación tecnológica de parte de los pescadores artesanales que posibiliten su desarrollo como actividad productiva (Rebours et al. 2014).
-Acuicultura de algas por parte de pescadores podrá abarcar todas o alguna(s) fases del cultivo (e.g. producción en hatchery hasta crecimiento en mar) lo que estará asociado a factibilidad técnico-económica y a ciertos niveles de aprendizaje y apropiación tecnológica por parte de las organizaciones de pescadores.
-Desarrollo de la acuicultura debe considerar el capital humano (e.g. trabajo colaborativo, asociatividad, redes) y conocimiento tradicional existente en las organizaciones que administran las AMERB y CCAA.
-Acuicultura de algas debe dar valor agregado a sus productos o explorar nuevos nichos de mercado (Hafting et al. 2015).
-Algas pueden ser cultivadas junto a otras especies de distintos niveles tróficos (e.g. cultivos integrados, cultivos multi-especies, policultivos, co-cultivos) como una aproximación para rentabilizar cultivos y/o mitigación ambiental (Chopin 2006; Yu et al. 2017).
-El desarrollo de la acuicultura de algas será un proceso de mediano a largo plazo que requerirá seguimiento y apoyo estatal para transformarse en una actividad de relevancia para acuicultores en AMERB y CCAA.

Dado el contexto anterior, es de alta relevancia contar con experiencias pilotos que permitan implementar, evaluar y corregir el desarrollo de la acuicultura de algas e invertebrados en Chile.

La acuicultura de algas no existe como una actividad consolidada que permita diversificar la acuicultura nacional e incorporar al sector pesquero artesanal y pequeños acuicultores. El Decreto N°96 que regula las actividades de acuicultura en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y la Ley de Bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas constituyen dos instancias para promover su desarrollo. Es importante destacar que para los tres primeros años de funcionamiento de la Ley de Bonificación (i.e., 2017-2019), se han presentado y aprobado principalmente iniciativas para cultivo de fondo de pelillo *A. chilense* (http://www.subpesca.cl).

El presente programa en su Etapa IV, se desarrolla orientado por el marco que otorgan ambas instancias, y corresponde a una continuación y consolidación del Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de Algas para Pescadores Artesanales. Etapa III. Adicionalmente, se agregan nuevos objetivos y actividades en los ámbitos de la caracterización productiva y de sitios, cultivos multi-especies, incorporación de moluscos filtradores en cultivos, caracterización de la cadena productiva y demanda de algas, interacciones ecológicas, entre otros, que permiten una mejor comprensión y proyección del desarrollo de la acuicultura de algas y de pequeña escala en el país.

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 y acuicultores de pequeña escala.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Proponer modelos de gestión y producción asociados al desarrollo de la acuicultura de algas e invertebrados en AMERB y CCAA.

2. Desarrollar cultivos pilotos de algas e invertebrados en AMERB y CCAA de diferentes zonas geográficas del país.

3. Desarrollar una metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies.

4. Identificar condiciones abióticas óptimas para el cultivo de especies claves para el desarrollo de APE.

5. Evaluar interacciones ambientales de acuicultura de algas e invertebrados.

6. Realizar acciones de difusión, entrenamiento y transferencia asociadas al desarrollo de la acuicultura de algas e invertebrados.

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 e invertebrados en AMERB y CCAA.*

4.1. Análisis bio-económico de cultivos multi-especies (Fase 2)

Considerando que la incorporación de otros niveles tróficos (e.g., filtradores), sería una alternativa para mejorar el desempeño económico y productivo de la APE, se realizará un análisis bio-económico dinámico de cultivos multi-especies a escala piloto y a través de modelación para evaluar la factibilidad económica en escenarios de producción asociados a AMERB y CCAA con diferentes combinaciones de algas y bivalvos filtradores. El desarrollo de esta actividad incluirá 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 de los escenarios de cultivo multi-específico analizados. Dado que no existe mayor información de desempeño productivo de este tipo de cultivos, se realizará una aproximación inicial construyendo un modelo conceptual, para luego pasar a un modelo cuantitativo construido con datos levantados en terreno (ver actividades objetivo 2) y datos originados en otras experiencias disponibles, ya sea en publicaciones científicas e informes. Con la información recopilada se construirán los sub-modelos: biológico, tecnológico, económico y ambiental para la posterior modelación de cultivos multi-especies a escala APE. Modelos bio-económicos desarrollados en etapas anteriores del programa, y que incluyen las fases de cultivo en fito–hatchery y mar, serán utilizados para evaluar qué combinación de especies puede optimizar el rendimiento económico de un sistema multi-especies. La modelación incluirá un enfoque tipo portafolio, constituido por distintas combinaciones de especies a cultivar y cuyo producto final será proponer una estrategia productiva de desempeño de cultivos multi-específicos.

Esta actividad se ha iniciado en la tercera etapa del programa (2019-20) y se consolida en la presente etapa (2020-21), incorporando los datos resultantes de los diversos cultivos pilotos implementados (objetivo 2). De esta forma, se evaluaron bio-económicamente los diversos modelos de cultivos que se implementaron en las etapas III y IV del programa (ver **Tabla 1**).

4.2. Diagnóstico de dinámicas socio-organizacionales que determinan la adopción de prácticas APE por parte de OPA

La APE (de algas en particular) es vista como una buena alternativa o complemento para el desarrollo de comunidades de pescadores. Los espacios productivos con mayor potencialidad para desarrollar APE son las AMERB y las CCAA otorgadas a OPA. No obstante lo anterior, para transitar de lo potencial a lo factible, hay que identificar y profundizar en el conocimiento de las dimensiones y variables socio-organizacionales que contribuyan al éxito en la adopción de prácticas de acuicultura por parte de las OPA. A fin de identificar aquellas dimensiones y variables (en adelante "factores")

socio-organizacionales que determinan la factibilidad en la adopción de prácticas APE en diferentes territorios del país, la ejecución de esta actividad se realizará en 6 etapas. En términos generales, se utilizará una metodología mixta de investigación (Creswell & Plano Clark 2018)[2]. Las etapas y acciones que se abordaron para dar cumplimiento a esta actividad son las siguientes:

i. *Elaboración de un marco conceptual para la comprensión de los factores sociales y organizacionales que determinan el éxito en la implementación de sistemas productivos basados en la acuicultura de algas por parte de pequeños productores*: se desarrollará una revisión de la literatura disponible hasta 2019, usando la herramienta ISI Web of Science, sistematizando y analizando los trabajos publicados a la fecha, para analizar la información en una matriz y confeccionar un marco conceptual en base a los principales resultados, relevando aquellas dimensiones y variables de interés.

ii. *Confección de un modelo analítico que contenga las dimensiones y las variables socio-organizacionales de éxito*: se confeccionará un esquema o modelo jerárquico que permita entender de manera global la relación de causa-efecto, así como de complementariedad de las dimensiones y las variables socio-organizacionales que juegan un rol importante en la adopción de prácticas asociadas al cultivo de algas en pequeños productores. Para ello, en base al marco conceptual previamente elaborado, se realizará un análisis de las principales dimensiones y variables identificadas, buscando establecer sus relaciones de dependencia y de complementariedad para finalmente confeccionar el modelo analítico o árbol de variables.

iii. *Diseño de un instrumento o cuestionario tendiente a testear las dimensiones y variables socio-organizacionales identificadas*: en base al modelo o esquema analítico confeccionado en la etapa anterior (modelo que informará de las principales dimensiones y variables a medir durante el trabajo de campo), se diseñó un cuestionario con preguntas numéricas y categóricas, así como de un set de preguntas abiertas. Dicho cuestionario fue validado en un panel de expertos.

iv. Implementación de un piloto del instrumento o cuestionario: el cuestionario, diseñado en la etapa anterior, se aplicó a fin de testear su pertinencia y consistencia en 4 OPA administradoras de AMERB o con CCAA vigentes, de la zona norte, centro y sur del país.

v. Aplicación de instrumento validado a OPA del territorio nacional: el cuestionario validado fue aplicado a un universo de 44 OPA distribuidas en 4 territorios del país (regiones de Atacama, Coquimbo, Los Ríos y Los Lagos) que son las que concentran el mayor número de iniciativas de APE. El número de cuestionarios a aplicar por región se estimó de manera proporcional al número de solicitudes (en trámite o plenamente autorizadas) de acuicultura en AMERB ingresadas en aquellos territorios, hasta completar un total de 44 encuestas.

[2] En un enfoque mixto los investigadores 1) levantan y analizan información cualitativa y cuantitativa en respuesta a sus preguntas de investigación o hipótesis; 2) integran estas dos formas de información y resultados; 3) organizan estos procedimientos en un diseño de investigación.

vi. *Procesamiento de la información e identificación de factores socio-organizacionales claves:* una vez levantada la información, se contrastará el modelo analítico definido en la fase ii) con los resultados del análisis de las encuestas aplicadas en la fase v), a fin de identificar y caracterizar los factores socio-organizacionales que determinan la factibilidad en la adopción de prácticas APE en diferentes.

4.3. Estudio de cadena productiva y de valor, y demanda de mercado nacional de algas comerciales y comestibles

El diagnóstico se define como un proceso de recolección, procesamiento e interpretación de la información de un espacio territorial determinado (por condiciones no sólo político administrativas, sino también sociales, culturales y ambientales) con el fin de evaluar y promover su capacidad de desarrollo. Dado lo anterior, los métodos utilizados para la descripción de la dinámica económica productiva deben conducir a la elaboración de un diagnóstico. Para ello se contempla la descripción las dimensiones o ámbitos que condicionan el desarrollo económico y productivo de una actividad, dichos ámbitos van desde la presión ejercida por el mercado, hasta la condición socio-económica de sus usuarios, conformando un conjunto de variables de interés las cuales requieren ser caracterizadas determinando las forzantes y evaluando diversos supuestos vinculados al impacto que puede tener sobre una decisión comercial.

La caracterización de la cadena productiva y de valor, y demanda de mercado nacional de algas comerciales y comestibles se realizó por medio del Enfoque de la Cadena Productiva, que describe de manera consecutiva las etapas asociadas a la transformación de los recursos, desde su extracción y desembarque, hasta la elaboración de un producto final y su inserción en el mercado. Se trata, por tanto, de una sucesión de acciones asociadas a la operación, producción y distribución integradas, realizadas por diversas unidades interconectadas, involucrando una serie de recursos físicos, tecnológicos y humanos (Pendón *et al*. 2013). La caracterización bajo este enfoque, considerará cuatro fases: i) extracción de materia prima, ii) proceso de transformación, iii) medios de comercialización, y iv) mercados de destino (**Figura 1**). Tomta & Chiatchoua (2009), definen el Enfoque de la Cadena Productiva como "todas las etapas comprendidas en la elaboración, distribución y comercialización de un bien o servicio hasta su consumo final". En otras palabras, se puede analizar una cadena productiva desde una perspectiva de los factores de producción. Es un conjunto de agentes económicos que participan directamente en la producción, transformación y el traslado hacia el mercado de un mismo producto. Tiene como principal objetivo localizar las empresas, las instituciones, las operaciones, las dimensiones y capacidades de negociación, las tecnologías, las relaciones de producción y las relaciones de poder en la determinación de los precios. Como herramienta de análisis, el conocimiento de las Cadenas Productivas, permite conocer a los actores involucrados en la sucesión de operaciones de extracción/producción, transformación, y comercialización de un producto o grupo de productos determinados. Con ello es posible determinar desde una mirada sistémica, los puntos críticos de la cadena y generar un diagnóstico asociado al modelo económico productivo, así como del entorno en cual éste se desarrolla.

Cuando se aplica esta aproximación metodológica, orientada a pequeños productores que desarrollan economías de escala o subsistencia explotando recursos naturales, se deben considerar elementos particulares del territorio, con el fin de contar con herramientas de relevamiento de información, análisis y descripción final de sistemas y subsistemas, que describan y cuantifiquen aspectos formales e informales que estructuran la comercialización de algas manera adecuada.

De esta forma, la cadena productiva que sustenta la actividad pesquera de las algas de interés comercial consta de cuatro etapas principales. Las dos primeras son componentes de la etapa productiva propiamente tal, centradas en diferentes operadores. La etapa extractiva es desarrollada por un gran número de operadores independientes (pescadores artesanales); mientras que la etapa de manufactura se localiza en un número significativamente menor de plantas de proceso. La etapa de comercialización, es transversal al desarrollo de cada una de las diferentes funciones y sigue un orden lógico de ocurrencia conforme al avance en la generación de un producto final.

I. *Etapa extractiva:* la descripción y cuantificación de la etapa extractiva, se realizará mediante el análisis de elementos como: niveles de desembarque, recursos principales, dependencia económica de los pescadores respecto de la actividad, puntos de desembarque, estacionalidad y cantidad de pescadores. El levantamiento de información de estos aspectos se realizará a partir de fuentes de información secundaria.

II. *Etapa de procesamiento o transformación (manufactura):* la fase de transformación de la materia prima en producto final será descrita en función de la cantidad y tamaño de las plantas que manufacturan los recursos objeto de este estudio, cantidad y líneas de productos, número de operarios y otras variables de interés que surjan. El levantamiento de información de estos aspectos se realizará a partir de fuentes de información secundaria.

III. *Etapa de comercialización:* se entiende como medios de comercialización a todos aquellos elementos utilizados en el proceso de intercambio comercial entre pescadores (oferentes) y compradores (demandantes). Los canales de comercialización serán descritos a través de los siguientes elementos: principales recursos distribuidos por cada canal; puntos de abastecimiento, número de agentes comercializadores, temporalidad de la actividad, cantidades comercializadas, precios y mercados de destino. El levantamiento de información de estos aspectos se realizará a partir de fuentes de información secundaria.

IV. *Mercados de destino:* La identificación de nichos y tendencias de mercado tanto nacionales y/o internacionales se efectuará para los bio-productos o usos alimenticios que se identifiquen. Para ello se efectuará un estudio completo del mercado de alimentos de consumo humano directo a partir de algas, con las técnicas tradicionales para este tipo de análisis, para luego identificar y priorizar los nichos de mercado, mediante factores previamente establecidos. Luego, se definirán los requerimientos y condicionantes que deben considerar los productos para incorporarse a los nichos determinados.

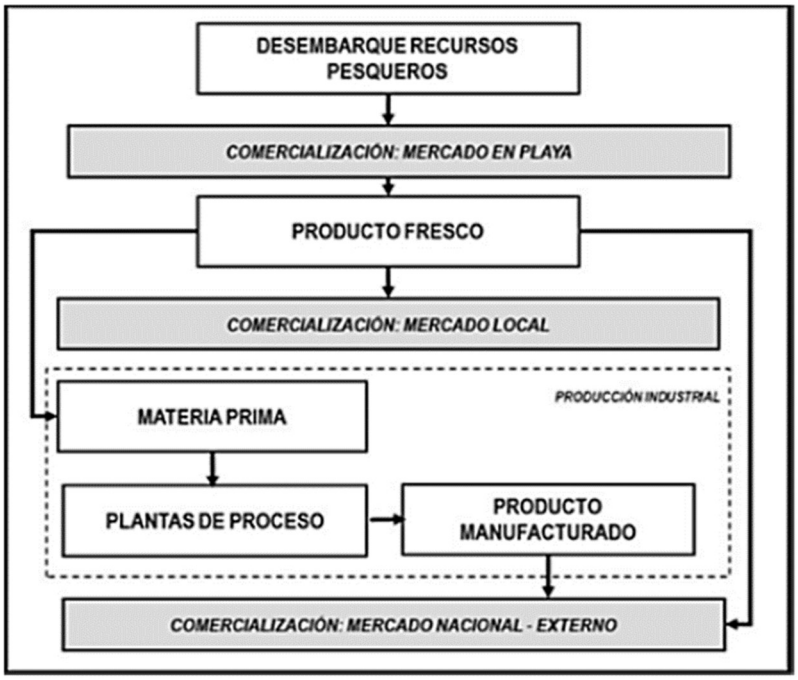


Figura 1. Esquema de la cadena productiva.

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

4.4. Obtención de semillas/plántulas de algas e invertebrados para cultivos multi-especies

Plántulas de algas y semillas de invertebrados fueron obtenidas desde cultivo en hatchery mediante producción propia (Centro Experimental Hueihue del Instituto de Fomento Pesquero) 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 de fondo (ver actividades siguientes).

4.5. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos de algas y multi-especies en el norte y sur de Chile

Considerando que el cultivo simultáneo de especies de distintos niveles tróficos puede mejorar el desempeño de la APE, en esta etapa se continuó evaluando el desempeño productivo de diversas configuraciones de co-cultivos y cultivos multi-especies. Cultivos experimentales que se implementaron durante el año 2019, se continuaron evaluando en un segundo ciclo productivo en los

siguientes 4 sitios pilotos (previa obtención/actualización de los permisos sectoriales correspondientes).

-CCAA (agua y fondo) en el canal Dalcahue, administrada por el Sindicato de Trabajadores Independientes, Pescadores Artesanales, Acuicultores de mitílidos y Comercialización de productos del mar de la localidad de Dalcahue, comuna de Dalcahue, Chiloé, región de Los Lagos.

-AMERB Chungungo B, administrada por la Organización Comunitaria de Buzos Mariscadores "Los Castillo", Caleta Chungungo, comuna de La Higuera, región de Coquimbo.

-CCAA (agua y fondo) en rio Pudeto, administrada por Sindicato de Trabajadores Independientes Cultivadores y Explotadores de algas y recursos bentónicos Pupelde, Chiloé, región de Los Lagos.

-CCAA (agua y fondo) en estero Quinchao, administrada por Corporación Municipal de Quinchao para la Educación, Salud y Atención al menor, Comuna de Quinchao, Chiloé, región de Los Lagos.

4.5.1. Configuración de co-cultivos y cultivos multi-especies

En la **Tabla 1** se presentan las configuraciones de cultivo que se implementaron durante el año 2020. Para la presente etapa del programa, la selección de especies a cultivar y sus proporciones (i.e., configuración del cultivo) fue discutida y definida junto a las OPA o acuicultores, considerando como portafolio de especies a seleccionar, las que en la actualidad cuentan con un desarrollo tecnológico-productivo que permite una certeza relativa de suministro de semillas o plántulas (**Tabla 2**). A modo general, en esta etapa, se evaluaron dos tipos de cultivos multi-especies: i) cultivo multi-especies (algas, y algas y bivalvos) en sistemas suspendidos (i.e., long-lines) y ii) co-cultivo de alga y bivalvo, donde se evaluó el desempeño productivo de especies cultivadas en conjunto respecto a cultivos mono-específicos de las especies consideradas.

Tabla 1.
Configuraciones de co-cultivos y cultivos multi-especies según sitio de estudio.

Sitio Estudio	Tipo Cultivo	Algas	Invertebrados
CCAA Dalcahue	-Multi-especies suspendido en long-lines	Chicorea, pelillo	
	-Co-cultivo suspendido en balsa	Chicorea	Chorito
AMERB Chungungo	-Multi-especies suspendido en long-lines	Huiro	Ostión, ostra japonesa
CCAA rio Pudeto*	-Co-cultivo de fondo en camillas	Pelillo	Choro zapato, Ostra japonesa
CCAA Quinchao*	-Multi-especies suspendido en long-lines	Chicorea, pelillo	

Tabla 2.
Listado de especies potenciales de incorporar en cultivos multi-especies.

Grupo	Especie (nombre común)	Tipo especie
Mitílidos	*Aulacomya atra* (Cholga)	extractiva orgánica
Mitílidos	*Mytilus chilensis* (Chorito)	extractiva orgánica
Mitílidos	*Choromytilus chorus* (Choro zapato)	extractiva orgánica
Pectínidos	*Argopecten purpuratus* (Ostión del Norte)	extractiva orgánica
Ostreidos	*Tiostrea chilensis* (Ostra chilena)	extractiva orgánica
Ostreidos	*Crassostrea gigas* (Ostra japonesa o del pacífico)	extractiva orgánica
Tunicados	*Pyura chilensis* (Piure)	extractiva orgánica
Equinodermos	*Loxechinus albus* (Erizo)	extractiva orgánica
Algas	*Macrocystis pyrifera* (Huiro flotador)	extractiva inorgánica
Algas	*Lessonia trabeculata (Huiro palo)*	extractiva inorgánica
Algas	*Sarcothalia crispata* (Luga negra)	extractiva inorgánica
Algas	*Sarcopeltis skottsbergii (ex Gigartina*) (Luga roja)	extractiva inorgánica
Algas	*Agarophyton chilensis* (Pelillo)	extractiva inorgánica
Algas	*Chondracanthus chamissoi* (Chicorea de mar)	extractiva inorgánica

4.5.2. Monitoreo del desempeño productivo y ambiental

El crecimiento de algas e invertebrados en cultivos fue monitoreado mensualmente y hasta alcanzar talla comercial según la especie. Muestras representativas fueron obtenidas desde cada uno de los cultivos y de cada una de las especies cultivadas. Para algas, muestras fueron extraídas para calcular biomasa m^{-1} lineal (e.g., cultivo en long-lines). Se estimó la tasa de crecimiento standard relativa (i.e., $rSGR= ((Ln\ peso_{final} — Ln\ peso_{inicial}) / (t_{inicial} — t_{final}))$ y cuantificación de epibiontes (g peso húmedo m^{-1} lineal o por m^{-2}). Para invertebrados, se estimó crecimiento en longitud y peso, índice de condición como: K = Pfc/Pv x 100, donde Pfc es el peso fresco de la carne y Pv es el peso de las valvas. Además, se determinó el índice de rendimiento productivo como: R = (Pfc/Pt) x 100, donde Pt es el peso total del individuo. Para el caso de ostra japonesa y ostiones se estimó mortalidad. En el caso de los bivalvos cultivados en el AMERB Chungungo B, se realizará un seguimiento mensual de 6 pisos, 3 de ellos a 1,5 m de profundidad y los otros 3 a 3,5m de profundidad por especie, con el fin de determinar el crecimiento en longitud de las valvas, biomasa total y mortalidad del piso.

En todos los sitios de cultivo, se instalaron data loggers para realizar mediciones continuas de luz y temperatura superficial (HOBO Onset Pendant Temp/light, 64k), conductividad (HOBO Onset U24-002-C) y oxígeno disuelto (HOBO Onset U26-001).

Adicionalmente, en el sitio Dalcahue y durante cada monitoreo, se tomaron mediciones con CTD (luz PAR, clorofila a, oxígeno disuelto y densidad en la columna de agua), y se obtuvieron muestras de agua para el análisis de nutrientes (nitratos totales y fosfatos).

Periódicamente y junto a pescadores y/o acuicultores se realizó acompañamiento y supervisión en la mantención y manejo de los cultivos.

Datos obtenidos desde los cultivos pilotos permitirán:

-Proporcionar datos para corregir/ajustar modelos bio-económicos
-Medir potenciales efectos sinérgicos de diferentes especies y sitios de cultivo
-Identificar relaciones estadísticas entre variables ambientales y productivas

4.6. Seguimiento y evaluación de experiencias de cultivo de fondo de algas pardas y rojas en el norte y sur de Chile

En la cuarta etapa del programa se iniciaron dos actividades de repoblación o cultivo de fondo:

-Cultivo de fondo o repoblación de huiro palo en AMERB de Chungungo B, administrada por la Organización Comunitaria de Buzos Mariscadores "Los Castillo", Caleta Chungungo, comuna de La Higuera, región de Coquimbo.

-Cultivo de fondo o repoblación de luga negra en AMERB Punta Cementerio, administrada por el S.T.I. Pescadores Artesanales y otras actividades del Mar, isla Tenglo, comuna de Puerto Montt, región de Los Lagos.

4.6.1. Cultivo de fondo de huiro palo en AMERB Chungungo

Huiro palo (*L. trabeculata*) ha sido una de las especies objetivo más estudiadas por su importancia ecológica y económica en Chile. Sus características únicas (plantas de aproximadamente 2 m que forman poblaciones perennes en el submareal, crecimiento lento y larga vida útil) lo han convertido en una de las algas más explotadas en el país para la producción de alginatos (Westermeier *et al*. 2017) y alimento para cultivos de abalón (Westermeier *et al*. 2011). Su importancia ecológica no solo radica en que puede constituir la base de cadenas tróficas bentónicas, sino porque además constituyen hábitat y refugio, zonas de reproducción, asentamiento larval y reclutamiento de juveniles de numerosas especies de invertebrados y peces (Edding *et al*. 1994, Vásquez *et al*. 2005, Villegas *et al*. 2008; Uribe *et al*. 2015; Stotz *et al*. 2016), albergando otras especies de importancia económica y social (e.g., lapas, loco, erizos, peces de roca) (Vásquez *et al*. 2008). Huiro palo, en conjunto con otras especies de algas pardas forman parte clave de las economías costeras de la zona norte de Chile (Vásquez *et al*. 2005). En el informe del Estudio de Situación Base realizado en el año 2000 del área de manejo Chungungo B, se señala la presencia de una comunidad bentónica de *L. trabeculata* que hoy ya no existe por efectos antrópicos.

Se realizó una experiencia de adhesión de plántulas de *L. trabeculata* utilizando metodología de cultivo de fondo mediante translocación de plántulas desde la AMERB Chañaral de aceituno. Esta actividad consistió en la selección de 5 sectores en los cuales se sembraron 20 plántulas. Posteriormente, se

realizará el seguimiento, lo que consistirá en el conteo y tamaño de esporofitos presentes, así como, su fenología reproductiva (% de plantas fértiles) con una frecuencia mensual. Adicionalmente, se evaluará la recuperación de hábitat, midiendo cobertura de algas bajo el dosel (%) y evaluación de comunidades del sitio antes y después de la acción de siembra.

4.6.2. Cultivo de fondo de luga negra en AMERB Punta Cementerio

Entre las acciones de manejo tendientes a mantener o incrementar el stock de recursos algales de interés comercial que pudieran ser desarrolladas por OPA, el cultivo de fondo de luga negra es una actividad de fácil implementación, baja complejidad técnica y costos de implementación reducidos. En una muestra de 264 AMERB ubicadas en las regiones de Los Ríos y Los Lagos, analizadas en el contexto de la implementación y seguimiento de acciones de manejo, la repoblación y cultivo de luga negra fue la que se realizó con más frecuencia (n = 21) (IFOP 2016). Los métodos usados para llevar a cabo estas acciones de manejo son dos: a) inoculación directa de esporas sobre sustrato primario, técnica que consiste en cortar trozos de material reproductivo y fijarlo temporalmente por medio de mallas biodegradables a rocas o bolones de 10 a 15 cm de diámetro, y b) método de "siembra en altura", técnica que se basa en la utilización de material reproductivo dispuesto en redes o sistemas flotantes a media agua, de manera que el material reproductivo disperse esporas sobre un área apta para el crecimiento del recurso. La elección entre ambos métodos dependerá del oleaje y exposición del sitio a sembrar, sin embargo, la técnica de inoculación directa requiere de mayor rigurosidad en la disposición final de los sustratos a inocular con esporas.

La técnica de cultivo mediante el método de "siembra en altura", dirigida a la obtención de una fase específica del ciclo de vida de esta alga (fase tetraespórica) fue puesta a prueba en términos metodológicos dentro de una AMERB de la provincia de Chiloé. Los resultados mostraron que se obtuvo más biomasa en la zona sembrada en comparación a la zona control. Sin embargo, el resultado más interesante fue que se obtuvo casi tres veces más biomasa de la fase tetraespórica desde la zona sembrada en comparación a la zona control (IFOP 2013). Sin embargo, se desconoce si estos resultados son consistentes en el tiempo, y si por otro lado el establecimiento de un plantel de algas reproductivas (fase tetraespórica) produce un efecto de retroalimentación positiva de la zona en el mediano plazo (incremento de la densidad y/o biomasa).

Se evaluó el desempeño de la técnica de cultivo de luga negra utilizando el método de siembra en altura en el AMERB de Punta Cementerio. Se definió una zona experimental (con cultivo) y una zona control (sin cultivo). En la zona experimental, se utilizaron redes especialmente confeccionadas para disponer material reproductivo, de manera que se produzca desde las redes la dispersión de esporas (carpoesporas). Se utilizó un número suficiente de redes para cubrir una superficie de 2.500 m^2. Se instalaron 225 rocas testigo (marcadas con masilla epóxica) al inicio de la experiencia tanto en la zona experimental como control de cada sector. Con una frecuencia mensual se extraerán desde cada zona (tratamiento y control) 10 rocas elegidas al azar, las cuales serán controladas *in situ* y devueltas a su zona de origen. En cada una de ellas se determinará la superficie de los sustratos donde crecen los reclutas de luga negra y se contará el número de discos o plántulas (dependiendo del grado de crecimiento de los

nuevos ejemplares reclutados). Posteriormente, se evaluará con una frecuencia estacional, sobre el mismo número de rocas testigo y con la misma metodología, las mismas variables descritas para los primeros 12 meses de monitoreo. En períodos de cosecha de biomasa, tanto en zonas experimentales como control, se determinará la proporción de individuos tetraespóricos a través de la prueba de resorcinol (Garbary & DeWreede 1988), determinando en 100 individuos al azar si es un gametofito o pertenece a la fase tetraespórica.
Con el desarrollo de esta experiencia, se espera conocer los efectos a mediano y largo plazo de la implementación de técnicas de cultivo de luga negra basadas en dispersión de esporas. En la sección 5.6.2. se presenta el ajuste metodológico que finalmente se implementó para esta actividad.

Objetivo específico 3: *Desarrollar una metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies.*

4.7. Validación de metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies

En la tercera etapa del programa se desarrolló una metodología y modelo general de selección de sitios para APE de algas en sistemas suspendidos, siguiendo el enfoque integrativo de selección de sitios desarrollado por Silva *et al*. (2011; 2012) basado en acuicultura de *C. gigas*. Esta aproximación utiliza información geográfica, ambiental y de uso de áreas costeras considerando las siguientes etapas:

1. Definición de restricciones, conflictos sociales por usos del espacio, factores de aptitud física, de crecimiento y supervivencia, aptitud ecológica, u otros que serán considerados en la validación.
2. Definición de criterios utilizados.
3. Definición de rangos de aptitud y fuentes bibliográficas.
4. Definición de métodos de medición y fuentes de datos a utilizar posteriormente en la validación.
5. Detalle de los procesos SIG que son utilizados para la importación de datos, generación de mapas de restricciones y factores multicapa, evaluación de aptitud (fuzzy-logic), evaluación multicriterio, mapa final de aptitud.
6. Diseño del modelo y metodología.
7. Validación del modelo y metodología.

El diseño metodológico de la herramienta para selección de sitios se representa en el siguiente diagrama de flujo (**Figura 2**).

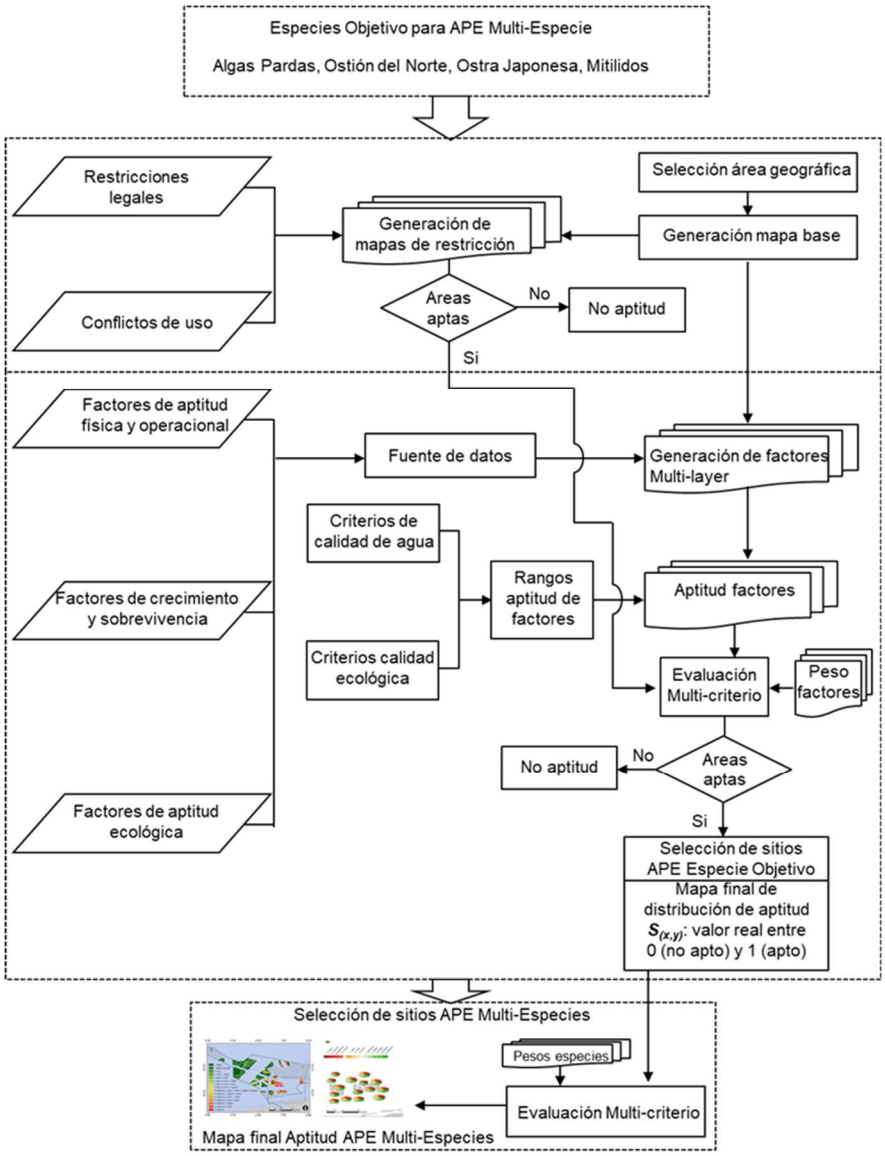


Figura 2. Diagrama metodológico para la selección de sitios APE de multi-especies.

La etapa de selección de restricciones legales permite la generación de un mapa inicial con restricciones geográficas que advierte posibles conflictos de uso. Nuevas capas son generadas con información de los Rangos de Aptitud de Factores (Tabla RAF) físicos, de crecimiento, socioeconómicos y de aptitud ecológica. En esta etapa se incluyen sub-herramientas de evaluación multicriterio, especialmente para determinar aptitud socioeconómica/ logística de las organizaciones involucradas. Finalmente, la superposición de las diversas capas de aptitud genera un mapa multicriterio de aptitud de sitio.

En la cuarta etapa del programa, dicho modelo o metodología fue ampliado y validado para APE de otras algas y cultivos multi-especies en sistemas suspendidos (e.g., algas e invertebrados). Se identificaron sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies considerando la metodología anteriormente propuesta, tanto para el mar interior de Chiloé como para la zona norte de región de Coquimbo.

Para la validación, el modelo fue evaluado contra producción real usando las tasas de crecimiento *in situ* de especies de algas cultivadas en Chiloé (Dalcahue y Quinchao) y la región de Coquimbo (Chungungo). La comparación permitirá corroborar la idoneidad espacial que sugiere la herramienta de selección (i.e., en términos de sus indicadores sociales, uso del espacio, indicadores físicos) con el crecimiento en biomasa de los sectores de cultivo.

Para la determinación de sitios nuevos para desarrollar acuicultura, o puntos de muestreo obtenidos de los centros de cultivo o identificación de zonas de susceptibilidad, la información fue georreferenciada y levantada en los formatos shapefile (.shp) o archivo de geodatabase (.gdb), compatible con el Sistema de Información Geográfica (SIG) de la Subsecretaría, según lo establecido en las Resoluciones Exentas N° 932 y 934 del año 2018. (http://www.subpesca.cl/portal/619/w3-article-100081.html).

Objetivo específico 4: *Identificar condiciones abióticas óptimas para el cultivo de especies claves para el desarrollo de APE.*

4.8. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de algas y bivalvos co-cultivados (Fase 2)

Algas y bivalvos podrían beneficiarse mutuamente al ser co-cultivadas (Abreu et al. 2009). Algas podrían beneficiar a los bivalvos ya que utilizan CO^2 y liberan O^2 al medio durante la fotosíntesis (Krause-Jensen & Duarte 2016). Además, al utilizar CO^2, las algas aumentan el pH del agua de mar, generando un refugio de protección para organismos calcificadores expuestos a reducciones de pH del agua de mar (Hofmann et al. 2011, Cornwall et al. 2013). Además de liberar CO^2 durante la respiración, los bivalvos excretan nitrógeno durante el proceso de alimentación, generando condiciones favorables (aumento de CO^2 y nutrientes) para el crecimiento de las algas (Buschmann et al. 2001; Xiao et al. 2017). Sin embargo, esta posible relación beneficiosa entre estos organismos es necesaria evaluarla en laboratorio para determinar su existencia.

En la segunda fase de esta actividad, se evaluó el desempeño fisiológico de algas (*C. chamissoi* y *S. skottsbergii*) y moluscos bivalvos (*C. gigas*) co-cultivados en distintas proporciones de biomasa por un periodo de ≥ 30 días, teniendo como referencia las configuraciones de cultivos implementadas en el objetivo 2. Las proporciones de cultivo entre macroalga y bivalvo fueron 1:0 (10:0 g), 2:1 (6,7:3,3 g), 1:1 (5:5 g), 1:2 (3,3:6,7) y 0:1 (0:10 g). Se monitorearon procesos fisiológicos (e.g., crecimiento,

fotosíntesis, respiración) bajo las distintas proporciones de cultivo bajo condiciones estándar de cultivo en laboratorio.

Con el desarrollo de estos experimentos, se espera identificar la proporción optima de co-cultivo entre algas y bivalvos para ser aplicada en el desarrollo de cultivos multi-especies a pequeña escala.

4.9. Determinación del efecto del origen sobre la calidad del alga

A nivel mundial, la industria de ficocoloides, en especial los carragenanos, está en constante crecimiento (Buschmann et al. 2008). Los carragenanos son altamente requeridos por la industria de alimentos debido a sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes. Los carragenanos son extraídos desde algas rojas y el creciente interés por estos ficocoloides ha llevado la búsqueda de especies y/o cepas que contengan carragenanos de alta calidad. Las macroalgas, incluyendo a las rojas, están adaptadas a las condiciones ambientales del lugar en el que habitan (Buschmann et al. 2004, 2006). En este contexto, distintas poblaciones de una misma especie pueden presentar diferencias genéticas en algún proceso fisiológico relacionado a producción (e.g., crecimiento, composición química). Por lo tanto, es esperable que diferentes poblaciones de una misma especie de macroalga roja contengan carragenanos que difieren en calidad.

En esta actividad, se evaluó la calidad de carragenanos de *C. chamissoi* provenientes de diferentes poblaciones. Para esto se realizó un experimento de trasplante (De Villemereuil et al. 2016), en el cual, individuos ($n \geq 5$) de *C. chamissoi* de diferentes poblaciones serán cultivados, de forma separada, en condiciones comunes de laboratorio. El contenido de carragenanos será determinado usando la metodología descrita en la literatura (Pereira 2013, Neill et al. 2018).También se monitorearon procesos fisiológicos (e.g., crecimiento, fotosíntesis, respiración) bajo las condiciones de laboratorio.

Objetivo específico 5: *Evaluar interacciones ambientales de acuicultura de algas e invertebrados.*

4.10. Desarrollo de un protocolo de buenas prácticas de producción de algas en hatchery

Impactos genéticos de la acuicultura pueden incluir, entre otros, pérdida de diversidad genética, pérdida de adecuación (fitness) y cambios en la estructura poblacional (Laikre *et al*. 2010). En el marco del desarrollo de la acuicultura de algas a nivel nacional, no existen mayores estudios y consideraciones respecto de sus potenciales impactos genéticos en stocks cultivados y poblaciones naturales. De manera preliminar, solo podemos destacar el trabajo de Guillemin *et al*. (2008), donde se reporta una reducción en la diversidad genotípica de poblaciones cultivadas de pelillo.

A partir de una revisión bibliográfica y de entrevista a expertos de la academia y productores, se desarrolló una propuesta de protocolo para orientar la producción de algas en hatchery. Dicha

propuesta se realizó bajo el enfoque de un manejo responsable de los recursos genéticos para un desarrollo sostenible de la acuicultura de algas e invertebrados.

4.11. Construcción de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de algas e invertebrados (Fase 2)

En la tercera etapa del programa se construyeron modelos cualitativos que representan las relaciones e interacciones ecológicas y ecosistémicas de la APE de algas e invertebrados (e.g., biomasa, tasas de producción, tasas de consumo, asimilación, mortalidad, eficiencia ecotrófica, tasas de asimilación y cosecha). En base a datos levantados en sitios de estudio del presente estudio (Objetivo 2), conocimiento experto y revisión de información científica, se construyeron tres casos o modelos ecosistémicos de estudio: i) cultivo de algas, ii) cultivo multi-especies, y iii) cultivo de fondo de huiro palo (i.e., repoblación). En la cuarta etapa del programa y con apoyo de herramientas de modelación y simulación (Análisis de Loop), los modelos cualitativos serán desarrollados a una versión cuantitativa o semi-cuantitativa permitiendo simular y evaluar su desempeño económico, productivo y ambiental.

4.12. Evaluación del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas

La acuicultura a micro y pequeña escala en Chile está representada por la producción de bivalvos, principalmente chorito (*M. chilensis*) y secundariamente por el ostión del norte (*A. purpuratus*) y ostras (*C. gigas* y *T. chilensis*). Para evaluar el efecto de cultivos o granjas APE sobre las comunidades bentónicas, se determinaron diferencias en la estructura comunitaria epibentónica, macroinfauna y carga de materia orgánica del sedimento del fondo inmediatamente bajo módulos de cultivo que representen distintos niveles productivos.

Se utilizó una aproximación metodológica comparativa (Norling & Kautsky 2008), que se orienta a determinar cambios en la abundancia y riqueza de especies en parches de distinto tamaño de *Mytilus edulis* sobre fondos blandos. Ésta fue complementada con la metodología de Henríquez *et al*. (en preparación) que compara indicadores de diversidad y abundancia de la comunidad epibentónica en sitios con y sin APE de bivalvos.

El estudio se realizó en el mar interior de Chiloé durante dos períodos (primavera y otoño) con diferente productividad. Las fuerzas físicas predominantes en este sistema corresponden al movimiento de agua debido a fluctuación de las mareas y el viento (Castillo y Valenzuela 2008, Häussermann y Försterra 2009). Como consecuencia de la presencia de gran número de canales estuarinos estrechos y poco profundos, fiordos y bahías protegidas, la región es un sistema macromareal (aproximadamente 6 m de amplitud) con una salinidad que fluctúa entre 29-33 PSU (Sievers & Silva 2008).
Los sitios de estudios fueron. (1) Canal de Quihua (-41.738707; -73.20487199) ubicado en el archipiélago de Calbuco, (2) La bahía Hueihue (-41.89594396; -73.50698101), bahía protegida en el noreste de la isla de Chiloé como sitios con acuicultura a pequeña escala (Figura 1), (3) el estero Molulco (-42.85916504 -73.72114803) y (4) el borde costero de Aldachildo (-42.57602904; -73.58587098) como sitios de meso-escala, (5) y la costa de Lingue (-42.55090504; 73.73632296) y

(6) La Estancia (-42.56876403; -73.71210102) en el sector de Rilán. Todos los sitios de cultivo tienen tiempos de operación continuo mayor a 13 años. La selección del rango de escalas de cultivo fue definida siguiendo la caracterización de González-Poblete (2018) como sigue:

- Microescala: producciones que alcanzan alrededor de las 200 toneladas año-1 e ingresos ~ 100.000 USD año-1 y con un área total de concesión de menos de cuatro há de cultivo administrada por un solo acuicultor.
- Meso-escala: ~ 370 – 500 toneladas año-1 e ingresos 1.000.000 – 4.200.000 USD año-1, un área entre 8 y 30 há. y administrada por uno o más acuicultores.
- Gran escala: 1.000 - 2.000 toneladas año-1 e ingresos ~ >>4.200.000 USD año-1 y un área > 30 há de cultivo, en muchos casos administrada por una compañía.

Para cada sitio de cultivo, se seleccionaron dos sitios dependientes dentro del perímetro de extensión del cultivo y dos “sitios de referencia” aproximadamente a 200 m de distancia de los cultivos. Esta distancia se estableció en base a la "huella" de las granjas de mitílidos en ambientes bentónicos indicada en estudios similares (Inglis & Gust 2003, Hartstein & Rowden 2004, D’Amours et al. 2008, Wong & O’Shea 2011). La profundidad de los sitios de estudio varió entre 12 y 26 m. Dentro de cada sitio de cultivo y de referencia, se establecieron tres transectos aleatorios de 30 m utilizando una cinta métrica. Cada cinco metros se ubicó un cuadrante reticulado de 0,25 m-2 (100 puntos de contacto aleatorio) para determinar el porcentaje de cobertura del sustrato primario. De manera similar, los invertebrados coloniales/ agregados (e.g, esponjas, tunicados) y macroalgas fueron evaluados como porcentaje de cobertura. Las macroalgas foliosas fueron apartadas para contar con la biota bentónica subyacente. Además, se evaluó el número de invertebrados móviles contando el número de individuos dentro de cada cuadrante. Como excepción, pequeños invertebrados sésiles bentónicos que pueden contarse individualmente (e.g., *Anthothoe chilensis, Chaetopterus pediceatus*) se incluyeron dentro de este grupo con fines analíticos. Los peces crípticos también fueron incluidos cuando fueron detectados dentro del cuadrante.

Para determinar la abundancia y distribución de la infauna en cada condición de estudio, en cada transecto usado para la evaluación de organismos epibentónicos, se obtuvieron 5 cores (Ø 41,8 cm2, V = 600 cm3). Las muestras de fondo fueron fijadas con alcohol al 70% para detener cualquier actividad biológica y descomposición y analizadas en el laboratorio. La epifauna e infauna fue identificada, al menos, a nivel de género *in situ* y en laboratorio, respectivamente. Cuando la identificación no fue posible, se tomaron muestras y fotografías de alta resolución para generar un registro para identificación posterior más completa.

Una pregunta clave de la investigación fue medir las diferencias en la estructura de la comunidad en los cultivos y su comparación con sitios de referencia. Por lo tanto, este factor de dos niveles (en adelante denominado "Tratamiento") fue tratado como factor fijo. Si bien, el efecto espacial adicional de diferentes sitios replicados se incluyó como un factor anidado dentro del factor principal de interés, fué tratado como aleatorio. Los invertebrados sésiles/ coloniales y móviles/ individuales y la Infauna se trataron por separado basándose en la Disimilaridad de Bray-Curtis. Para el análisis multivariado los datos fueron transformados con raíz cuadrada para reducir el efecto de especies muy dominantes (Clarke 1993). Las especies que aparecieron solo una vez durante el censo de especies fueron

eliminadas del análisis. Los patrones en la estructura de la comunidad se analizaron gráficamente utilizando una ordenación de componentes principales (PCO). Las diferencias de la estructura de la comunidad bajo las granjas y en los sitios referencia fueron calculadas con un análisis permutacional basado en distancia (PERMANOVA). Se realizó un análisis de porcentaje de similitud (SIMPER, Clarke 1993) para determinar la contribución relativa de cada especie a la disimilitud promedio entre los sitios de cultivo y de referencia. Los análisis multivariados se realizaron con el paquete Primer 6.0 (Clarke 1993). La riqueza de especies y las diferencias en el número de individuos por especie entre sitios, fue expresadas como número de especies y con el índice de Uniformidad de Pielou (J'), respectivamente. Además, la abundancia de grandes grupos de invertebrados como erizos, decápodos, gastrópodos, estrellas de mar, bivalvos, macroalgas y esponjas fueron calculadas con un ANOVA (Modelo Generalizado Lineal) asumiendo una distribución de Poisson. Los supuestos de normalidad se probaron visualmente con un análisis de gráficos de residuos. La homocedasticidad se evaluó mediante una prueba de Levene. Cuando los datos no cumplieron con estos supuestos, el análisis se llevó a cabo en datos transformados con raíz cuadrada para los conteos y para porcentajes de cobertura, los datos fueron transformados con Arcosin para ajustar las distribuciones. Además, para determinar los efectos particulares entre los sitios replicados, se realizó un ANOVA unidireccional del (Modelo Generalizado Lineal) para determinar las diferencias estadísticas individuales de estos grupos para cada sitio. Para determinar las diferencias particulares entre los grupos se realizaron pruebas a posteriori de Tukey.

Se realizó una clasificación mecanicista sobre la estrategia de alimentación y la función en bentos de las especies más conspicuas determinadas previamente con la rutina SIMPER basada en las características del ciclo de vida descritas en la literatura disponible. Según su estrategia de alimentación, los grupos fueron: autótrofos (A), depredadores/ carnívoros (P), omnívoros (O), herbívoros (H), detritívoros (DF) y suspensívoros (SF). Las funciones generales de organismos asociado sal sedimento fueron: estabilizador de sedimentos (SE), desestabilizador de sedimentos (SD) y especies formadoras de hábitat (HF).

Se determinaron parámetros hidrodinámicos sitio-específicos (e.g., velocidad promedio de corrientes) durante los días muestreo con ayuda del sistema de información oceanográfica CHONOS del IFOP (www.chonos.ifop.cl). Esta variable ha demostrado influir significativamente en la biodeposición, así como, correlación con el impacto sobre comunidades bentónicas (Gutiérrez et al. 2003, Keeley 2009, Keeley et al. 2013).

Objetivo específico 6: *Realizar acciones de difusión, entrenamiento y transferencia asociadas al desarrollo de la acuicultura de algas e invertebrados.*

4.13. Desarrollo de protocolos de implementación de sistemas de cultivo para desarrollar APE

Mejorar u optimizar los modelos de gestión asociados al desarrollo de la APE de algas e invertebrados en AMERB y CCAA, requiere que los actores llamados a su implementación (OPA y/o pequeños acuicultores) adopten tecnologías más eficientes, innovadoras e idealmente de bajo de costo para mejorar el desempeño productivo. En paralelo, se deben desarrollar procesos de transferencia amigables y efectivos de aquellas tecnologías que sean de fácil adopción. Un aspecto que se ha detectado a lo largo de la ejecución de este Programa es que los sistemas de cultivo utilizados en la implementación de experiencias de cultivo piloto son más bien tradicionales (i.e., long-lines de 100 m), no siendo siempre los más idóneos para avanzar en términos de eficiencia productiva y que permitan mejorar los modelos de gestión y producción de la APE de algas e invertebrados.

Para abordar esta brecha, se elaboró un documento de lenguaje sencillo y simple (tipo "manual cortapalos") con las indicaciones para que OPA y pequeños acuicultores puedan elaborar e implementar sistemas de cultivo que optimicen el desempeño productivo de la APE de algas e invertebrados (idealmente pensando en sistemas de co-cultivo). Este documento sistematizó aspectos como requerimiento de materiales, costo de materiales, cuantía de mano de obra, equipamiento mínimo e infraestructura, competencias o habilidades mínimas de los equipos de trabajo, entre otras variables críticas, que permitan la implementación de sistemas de cultivo más eficientes.

El desarrollo de este documento requirió de una fase previa de levantamiento de información disponible que sea relevante para el cumplimiento de esta actividad. Esa información fue sistematizada desde fuentes de información primarias, secundarias y entrevistas a expertos. La información fue categorizada por sistemas de cultivo.

Se generó una versión impresa del documento (al menos 200 ejemplares), la que será distribuida a pescadores y pequeños acuicultores, y una versión digital de acceso y distribución libre.

4.14. Desarrollo de página web sobre acuicultura de algas

Se diseñó e implementó un sitio web para difundir y promover el desarrollo de la acuicultura de algas y la APE en Chile. Dicho sitio contiene información multidimensional (e.g., legal, económica, productiva, científica) y multimedia (e.g., videos, ilustraciones, publicaciones, manuales, fotografías, links de utilidad) de apoyo al cultivador y/o emprendedor. Además, será un repositorio de la información generada en el programa.

4.15. Visita tecnológica de OPA y Capacitación en materias vinculadas a la postulación en el marco de la Ley de Bonificación al repoblamiento y cultivo de algas

Pescadores pertenecientes a las OPA de la Región de Los Lagos y que participan en el programa (y eventualmente otras seleccionadas) visitarán las instalaciones del Centro Experimental Hueihue (IFOP) en Chiloé. Se preparará un programa intensivo para introducirlos en la acuicultura de algas e invertebrados, considerando las fases de hatchery y cultivo en mar. Para ello, se combinarán

actividades que incluirán exposiciones de investigadores, trabajo práctico en el hatchery incluyendo obtención, observación y siembra de esporas de algas, desoves de bivalvos, entre otros. Además, se conocerá el laboratorio experimental de IFOP orientado a conocer respuestas de algas a condiciones de cambio climático. Con el desarrollo de estas actividades se entregará una idea general del funcionamiento de un centro productor de pequeña escala de semillas de algas e invertebrados. Adicionalmente, se realizará una visita al Centro de Cultivo Cholche, ubicado en Hueihue, el que ha desarrollado por más de 10 años experiencias exitosas en policultivos.

Las OPA con las que se han implementado cultivos de algas durante el desarrollo del programa serán capacitadas para posibilitar la continuidad de los cultivos, a través de fuentes de financiamiento alternativas como la Ley de Bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas, el Fondo de Fomento a la Pesca Artesanal (FFPA) o Fondo de Administración Pesquera (FAP). Dicha capacitación será realizada preferentemente en la sede de cada OPA, y consistirá en un taller de mediodía donde los profesionales del IFOP orientarán la capacitación en contenidos como: presentación de las alternativas de financiamiento, hoja de ruta e hitos claves de postulación, requerimientos organizacionales y legales, importancia de la autogestión, entre otros. La idea es fomentar la participación en los concursos disponibles.

De esta forma, durante la cuarta etapa del programa se capacitarán al menos a las OPA y acuicultores de Chungungo, Dalcahue, Quinchao y Punta Cementerio.

5.RESULTADOS

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

5.1. Análisis bio-económico de cultivos multi-especies (Fase 2)

5.1.1 Diseños experimentales implementados.

La descripción de los diseños experimentales que soportaron cada uno de los modelos conceptuales y sus análisis bio-económicos posteriores se describen a continuación. Mayor detalle sobre la implementación de los cultivos se puede obtener en la Sección 5.5.

5.1.1.1. Dalcahue.

Consideró la instalación de "plansas" para el cultivo de chicoria y pelillo (**Figura 3**).

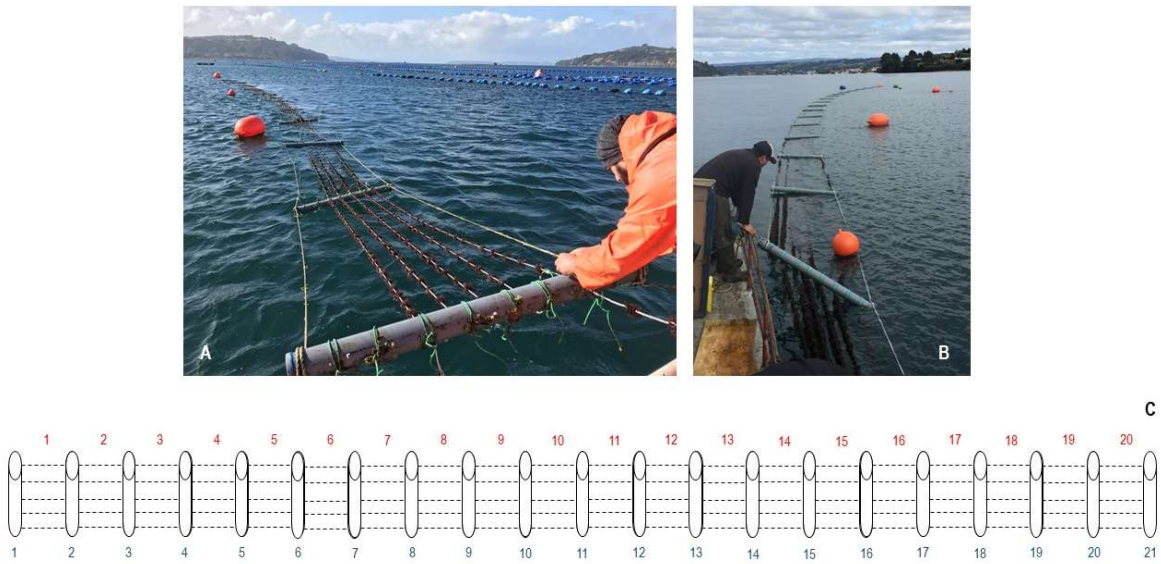


Figura 3. Implementación de sistema "plansa" en Dalcahue (A y B). Representación esquemática del sistema plansa en vista superficial (C). El sistema de cultivo experimental total estuvo compuesto por 4 grupos de cuerdas: 25 cuerdas de chicoria de mar con un inóculo de 0,25 kg de biomasa inicial, 25 cuerdas de chicoria de mar con un inóculo de 0,5 kg de biomasa inicial, 25 cuerdas de pelillo con un inóculo de 0,5 kg de biomasa inicial y 25 cuerdas de pelillo con un inóculo de 0,25 kg de biomasa inicial. De cada grupo de cuerdas se marcó y monitoreó en forma permanente 9 cuerdas. Todas las cuerdas se ubicaron de manera aleatoria. Números azules representan los tubos de PVC sanitarios donde se amarran las cuerdas. Números rojos representan los grupos de cuerdas con los diferentes recursos y densidades.

El sistema de “balsa gallega” (**Figura 4**) fue empleado para el cultivo bi –específico chorito – pelillo, con 8 cuerdas de chorito y 40 de pelillo.

Figura 4. Implementación de sistema “balsa gallega” en Dalcahue (A y B). Este diseño experimental considero la instalación de 8 cuelgas de chorito en el centro de la balsa (cada cuerda de 5 m de longitud) y 40 cuerdas de pelillo de 5 m de longitud (cada cuerda con biomasa inicial 1 kg).

5.1.1.2 Pudeto.

En este sitio, se incorporó en el cultivo, el recurso choro zapato (tratamientos “Choro con pelillo” y “Choro sin pelillo) en un sistema de “camilla”, manteniendo el sistema de cultivo en camilla para las ostras (tratamientos “Ostras sin pelillo” y “Ostras con pelillo”) y el de “estacas” para el caso del tratamiento control de pelillo (**Figura 5**), sistemas que fueron descritos en la Etapa III (2020) y que no fueron modificados para esta Etapa. En el caso de las ostras, al inicio del experimento, en cada camilla (n=3 por tratamiento) se dispusieron bolsas, cada una con 200 unidades de 35 mm aproximadamente, las que pesaron entre 1,36 y 0,6 kg cada una. El cultivo experimental se dividió en dos: un grupo de ostras que crecen con pelillo y otro grupo sin pelillo. Este pelillo se instaló longitudinalmente entre las patas de la “camilla”, donde se instalaron cinco cuerdas de 4 m de longitud con pelillo. Idéntico esquema se instaló en el caso del cultivo de choro zapato (con y sin pelillo). En este caso, las cajas pesaban alrededor de 4 kg y en su interior había 300 individuos. El número de bolsas o cajas que fueron controladas a lo largo de todo el experimento fueron de seis (las mismas durante todo el transcurso del experimento), tanto para ostras como para choro zapato. El control de crecimiento de pelillo consistió en marcar y seguir a través del tiempo cinco cuerdas de 4 m de longitud con un peso inicial de entre 1,25 y 1,85 kg, tanto en los tratamientos “Choro con pelillo”, “Ostras con pelillo” y “Control”.

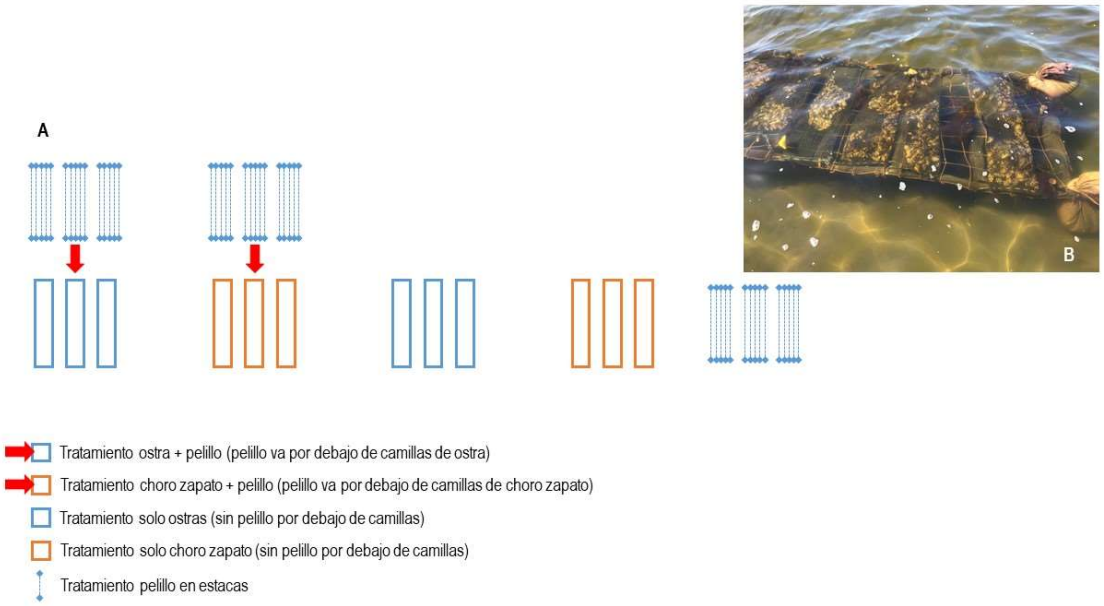


Figura 5. Implementación de sistema "camilla" en Pudeto. (A) Set up inicial de diseño experimental en el sitio de estudio. (B) Disposición final de una camilla con bolsas de ostras en el sitio Pudeto. Cuerdas de pelillo pueden ir o no bajo la camilla, dependiendo del tratamiento.

5.1.1.3 Quinchao.

En este sitio se implementó un sistema de plansa. Se marcaron y siguieron a través de toda la duración del experimento nueve cuerdas de 5 m de longitud con 1 y 0,5 Kg (tratamientos de alta y baja densidad) para el caso de pelillo y de 0,5 y 0,25 Kg de chicoria como tratamientos de alta y baja densidad, respectivamente. Las condiciones de implementación del sistema son similares a las descritas para Dalcahue (**Figura 4**).

5.1.2. Contexto del Análisis.

En etapas anteriores, esta actividad se enfocó en distintos aspectos relativos a la modelación bio-económica, y en cada una de ellas el conocimiento se ha ido desarrollando de manera de profundizar cada vez más en el tema. El avance puede ser descrito así:
Etapa 1 : análisis teórico del contexto general de la APE, especies involucradas, costos y financiamiento, tamaño del área, producción biológica y rendimiento económico esperado dado el contexto teórico.
Etapa 2 : análisis de las capacidades productivas reales y esperadas a nivel de hatcheries productores de semilla de algas entre Iquique y Castro y análisis bio-económico del comportamiento de los cultivos en fase de mar.

Etapa 3 : análisis bio-económico de cultivos reales en fase de mar en distintas localidades, probando distintas instalaciones de cultivo y especies, incluyendo cultivos mixtos de algas y alga – moluscos.

En la Etapa 3 se desarrollaron modelos bio-económicos *ad hoc,* en los cuales se incorporó la componente ambiental de modo tal que la producción biológica local pudiera ser explicada por factores locales tales como temperatura, oxígeno disuelto, intensidad de luz. Posteriormente, se hizo un análisis de costos, calculando el costo medio como un indicador bio-económico en dichos cultivos. Aunque se trata aun de cultivos más bien experimentales, con un nivel de producción acotado, los resultados mostraron ser promisorios.
En la presente Etapa (Etapa 4), se realizó un análisis bio-económico dinámico de cultivos multi-especies a escala piloto y a través de modelación para evaluar la factibilidad económica en escenarios de producción asociados a AMERB y CCAA con diferentes combinaciones de algas y bivalvos filtradores. El desarrollo de esta actividad 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 de los escenarios de cultivo multi-específico considerados. Para ello se usó como base la infraestructura instalada previamente en los sitios de estudio y modelos desarrollados en la Etapa 3. Fueron usados también los datos ambientales y productivos anteriores y los que se generaron en esta nueva Etapa, esto con el fin de ampliar la base de datos disponibles para el análisis, estimar intervalos de confianza para los parámetros y conducir análisis de riesgo para los cultivos, los que se detallarán en este reporte.
El informe final (en extenso) desarrollado para esta actividad sirve de insumo base para la descripción de los resultados, y será referido en todos los casos como **Anexo 1** (incluyendo sus Tablas y Figuras).

5.1.3. Sitios de estudio y análisis desarrollados.

La **Tabla 3** resume la información de los sitios de estudio, los recursos involucrados y los análisis desarrollados.

Tabla 3.
Síntesis de sitios en donde se implementaron experiencias productivas APE, recursos involucrados y análisis desarrollados.

Localidad	Recursos y sistemas de cultivo	Análisis desarrollados
Dalcahue	• Chicoria y pelillo en sistema plansa. • Chorito y pelillo en sistema balsa gallega*.	• Modelo conceptual • Análisis bio-económico • Análisis de riesgo
Pudeto	• Ostra japonesa + pelillo en sistema camilla*. • Choro zapato + pelillo en sistema camilla*. • Pelillo en sistema estacas.	• Modelo conceptual • Análisis bio-económico • Análisis de riesgo
Quinchao	• Chicoria y pelillo en sistema plansa.	• Modelo conceptual • Análisis bio-económico • Análisis de riesgo

* = co-cultivo

Además, en la presente etapa se profundiza en el desarrollo de un análisis de riesgo para un esquema de producción continuo tipo portafolio, usando combinaciones de recursos y cultivos implementados en esta Etapa, así como, información disponible que fue utilizada en etapas anteriores.

5.1.4. Modelos conceptuales.

Se procedió a realizar una actualización de los modelos conceptuales generados en la Etapa 3. Como ejemplo se presenta el modelo para cultivo en Dalcahue (**Figura 6**). Los demás modelos conceptuales son presentados en las Figuras 2 (Pudeto) y 3 (Quinchao) del **Anexo 1**.

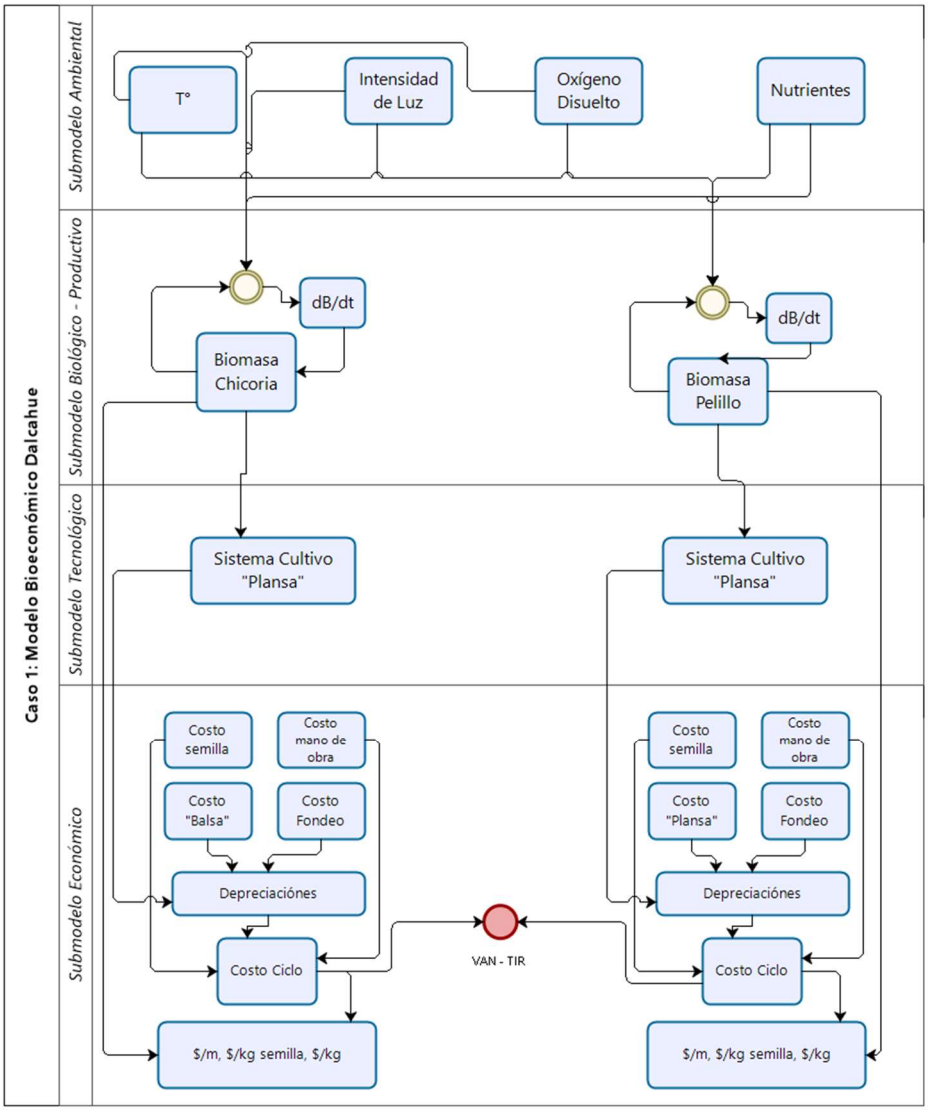


Figura 6. Modelo bio-económico conceptual actualizado para el cultivo en la localidad de Dalcahue.

En los modelos se introdujo una actualización del submodelo económico. Aquí se incorporó la etapa de cálculo de indicadores de desempeño tales como el costo medio de producción ($ kg $^{-1}$) y el VAN (Sapag y Sapag, 2008). Esta modificación está pensada en evaluar el efecto económico de escalar el cultivo a un tamaño mayor. En la etapa anterior se evaluó el desempeño económico en términos de la cantidad de medios de cultivo efectivamente instalados. Se detectó que el costo medio, esto es el costo de producción por kilo cosechado, fue bastante alto en la mayoría de los casos producto del aporte que significa el costo de mano de obra (vigilancia y mantenimiento). Es esperable que este aporte al costo medio ($ kg $^{-1}$) se reduzca dado que la misma mano de obra puede hacerse cargo de un mayor número de sistemas de cultivo instalados, disminuyendo así el aporte de este ítem al costo medio, debido a que el mismo costo fijo es dividido por un mayor nivel de producción.

5.1.5. Modelamiento Biológico – Productivo.

Para modelar el comportamiento de la biomasa a través del tiempo se utilizó la ecuación de Gompertz (Domínguez-May et al., 2015), la cual describe la relación entre la tasa decrecimiento (g, medido en kg día $^{-1}$) con variables predictoras que en este caso fueron: el peso al inicio de cada periodo (w al tiempo de muestreo), la temperatura (T°), el oxígeno disuelto (OD), la intensidad de luz (IL) y la carga de epífitos (wep) (Ecuación 1)

$$g\{w, T°, OD, wep\} = a \cdot f_1(T) \cdot f_2(OD) \cdot f_3(IL) \cdot f_4(wep) \cdot w - b \cdot w \cdot ln(w)$$ (Ecuación 1)

Donde a, b son parámetros relacionados al anabolismo y al catabolismo, respectivamente.

Alternativamente, en casos donde la ecuación anterior no ajustó adecuadamente se usó el modelo (Ecuación 2)

$$g\{w, T°, wep\} = a \cdot w^b \cdot T^c - w \cdot d \cdot wep^e$$ (Ecuación 2)

Donde a, b, c, d y e son parámetros a estimar.

La dinámica de la biomasa en el tiempo fue modelada usando la expresión (Ecuación 3)

$$B_{t+1} = B_t + g\{w, T°, OD, wep\}$$ (Ecuación 3)

.

5.1.6. Información económica.

Para la modelación productivo–económica se utilizó la información obtenida en la Etapa 3 para cada localidad y método de cultivo. En el análisis no se consideraron las inversiones asumiendo que éstas ya están realizadas, y se contempla en el flujo de costos sólo las depreciaciones de los sistemas de cultivo y los costos operativos. La información económica de base para los análisis del cultivo de algas (chicoria de mar y pelillo) en Dalcahue se presenta en la Tabla 1 del **Anexo 1**. Para fines de

modelamiento productivo, se consideró una concesión de acuicultura de 10 hectáreas[3] donde pueden ser instaladas 20 plansas[4]. Las Tablas 5 y 6 del **Anexo 1** representan los costos asociados al cultivo en balsa gallega para el caso de los recursos pelillo y chorito en la localidad de Dalcahue. En este caso se simuló una concesión de 10 hectáreas con 20 balsas.

La información económica utilizada para el cultivo de pelillo en cuerdas de fondo en la localidad de Pudeto se presenta en la Tabla 2 del **Anexo 1** En este caso no se considera el costo ni las depreciaciones de la camilla puesto que estos son incluidos en el cultivo de ostras y choro zapato, esto debido a que el cultivo de pelillo aprovecha dichas instalaciones. Las Tablas 3 y 4 del **Anexo 1** describen la información utilizada para el caso del cultivo de ostra japonesa y choro zapato en la localidad de Pudeto. En este caso, por la cantidad de sistemas instalados se consideró la contratación de cuatro operarios de mantenimiento. Además, en el costo de la camilla está internalizado el costo de instalación de la misma. El precio de venta por kilo fue estimado considerando un precio de venta de $140 por individuo de 8,4 cm de longitud vendido en planta conservera. El precio reflejado en la tabla refleja el precio por kilo de ejemplares de estas características. El mismo ejemplar vendido al detalle podría llegar a alcanzar un valor de $ 350 la unidad.

A diferencia de lo realizado en la Etapa anterior, en esta Etapa se incorporó una evaluación económica de los cultivos experimentales cuyos costos medios fueran menores que el precio de venta del recurso. Desde un punto de vista económico esto resulta obvio, dado que el producir un kilo de alga es más costoso que su valor comercial, y así, necesariamente los indicadores económicos tradicionales de una evaluación económica, por ejemplo, el Valor Actual Neto (VAN) serán negativos. Así, el análisis de la estructura de costos y del costo medio realizado en la Etapa 3, en esta ocasión incluyó una evaluación de cada proyecto productivo en términos de poder establecer el VAN (Sapag y Sapag, 2008; Ecuación 4), el cual fue utilizado como indicador global de desempeño para el proyecto.

$$VAN = I_0 - K_t - cMAT_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{IT_y - CTOp_y}{(1+r)^t}$$

Finalmente, hay que consignar que los resultados de los cultivos experimentales fueron extrapolados a un cultivo intensivo que ocupa una superficie de 10 hectáreas, límite para considerar a un cultivo como de pequeña escala[5]. Además, se asumió que los costos de inversión ya están realizados, de modo que en el análisis financiero solo se consideran gastos operativos, costos de la semilla y depreciaciones, además de un capital de trabajo equivalente al monto necesario para cubrir los sueldos del primer año de operación. El horizonte de tiempo para la evaluación económica fue de cinco años.

[3] Esta superficie fue tomada como referencia en base a Propuesta de Reglamento de Acuicultura de Pequeña Escala.

[4] El número de sistemas plansa definido para una superficie de 10 ha podría ser mayor, dependiendo de la incorporación de otros costos operativos, como mano de obra, inversión inicial en sistemas, vigilancia, etc.

[5]Está en proceso un nuevo reglamento para la APE que podría ampliar los límites de superficie como de producción.

5.1.7. Análisis de Riesgo.

Se desarrolló un análisis de riesgo basado en la probabilidad de alcanzar un punto de referencia (PR). En este sentido la variable de desempeño fue el costo medio, esto es el costo que significa para el productor generar un kilo de producto ($ kg^{-1}). El PR fue el precio de venta del recurso. La selección de esta variable se basa en que es simple de entender y posee información clave para describir el desempeño de un ciclo de cultivo, en un yearclass[6] en particular. Esto a diferencia del VAN, que involucra varios ciclos y yearclass para los cuales se asume el mismo comportamiento entre años, supuesto que probablemente no sea correcto. El PR de referencia usado, esto es el precio de venta del producto, se seleccionó debido a que, si el costo medio de producción es igual o mayor que el precio de venta, entonces el cultivo no generará ningún excedente económico, por lo que el ciclo tendrá un rendimiento económico cero o negativo. De esta manera, la probabilidad de exceder el PR indicará entonces la probabilidad de generar algún excedente. La magnitud de este excedente será entonces equivalente al ingreso neto calculado para el ciclo productivo bajo análisis dado esta probabilidad. La fuente de incertidumbre incorporada en el análisis fue la variabilidad asociada al modelo de producción biológica (valor de los parámetros y sus respectivas desviaciones estándar). El método de remuestreo fue el de Monte Carlo usando 5.000 ciclos de iteraciones.

5.1.8. Modelación bio-económica Dalcahue.

5.1.8.1. Chicoria en sistema plansa.

Este cultivo experimental comenzó el 28 de julio de 2020. La evolución del desempeño de estas cuerdas se muestra en la **Figura 7**. A pesar de estas diferencias iniciales, a los 36 días de cultivo las biomasas entre tratamientos (i.e. alta densidad versus baja densidad) eran similares, con alrededor de 690 g (mediana). Entre los 80 y 107 días la mediana de la biomasa en las cuerdas con más alta densidad inicial fue mayor alcanzando un máximo de 4,4 kg al día 107, mientras que las cuerdas con menor densidad inicial lograron una mediana de 3,7 kg al mismo día. Luego la mediana de la biomasa de alta densidad disminuye, haciéndose similar (~ 3,7 kg / cuerda) a las cuerdas de baja densidad de siembra inicial. Hacia el final del período de análisis de datos para efectos de modelación bio-económica, las biomasas en ambas densidades experimentales disminuyeron a niveles de 0,9 – 0,6 kg $cuerda^{-1}$. También se observó en este periodo que existe una mayor dispersión de datos en el tratamiento de alta densidad, indicado por la longitud de los bigotes. En este sentido el crecimiento es más uniforme entre las cuerdas de baja densidad de siembra, lo que hace que hacia el final del periodo de muestreo las medianas de la biomasa tiendan a ser parecidas.
El análisis estadístico da cuenta de esta tendencia (Tabla 7 – **Anexo 1**). Existe diferencia sólo a nivel de fechas, lo que es esperable dado el proceso de crecimiento y el punto de inicio en términos de biomasa, pero el análisis revela que el efecto del tratamiento y la interacción cruzada de Fecha × Tratamiento no fueron significativos.

[6] Por yearclass se entiende a todos los ciclos de producción originados en un año específico.

En términos de la tasa de crecimiento diaria (**Figura 8**) las tendencias son similares hasta alrededor de los 3 kg cuerda^{-1}. A partir de este peso por cuerda las tendencias difieren sugiriendo que el tratamiento de alta densidad es capaz de soportar un mayor peso por cuerda. Esto es evidente ya que la tasa de crecimiento cero se observa alrededor de los 4 kg cuerda^{-1}, mientras que para el tratamiento de baja densidad es alrededor de los 3 kg cuerda^{-1}.

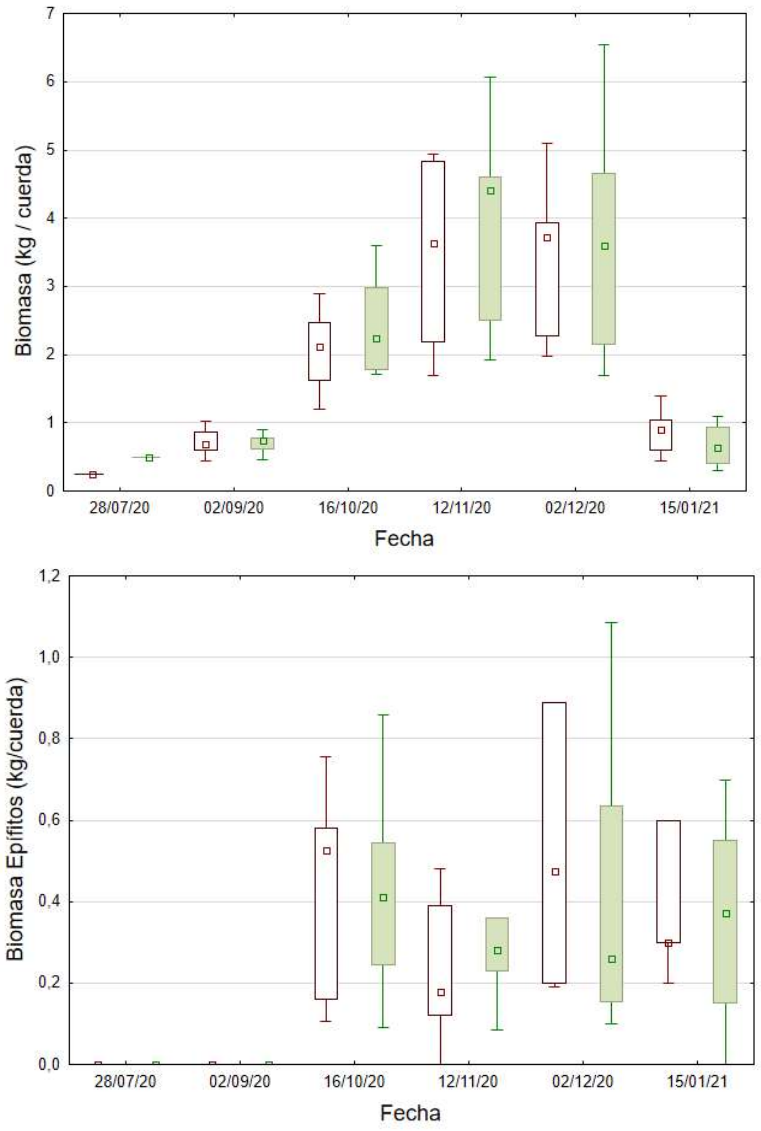


Figura 7. Evolución de la biomasa de chicoria cultivada en plansa (gráfico superior) y de epífitos (inferior) en la localidad de Dalcahue. El color pardo representa los resultados del cultivo de baja densidad (w_0 = 0,25 kg / cuerda) y el verde el cultivo de alta densidad (w_0 = 0,5 kg / cuerda). Los bigotes representan el 25% inferior y superior de los datos. La caja el 50% central y el cuadrado dentro de la caja representa el valor de la mediana.

En términos de la tasa de crecimiento diaria (Figura 5 – **Anexo 1**) las tendencias son similares hasta alrededor de los 3 kg cuerda^{-1}. A partir de este peso por cuerda las tendencias difieren sugiriendo que el tratamiento de alta densidad es capaz de desarrollar un mayor peso por cuerda. Esto es evidente ya que la tasa de crecimiento cero se observa alrededor de los 4 kg cuerda^{-1}, mientras que para el tratamiento de baja densidad es alrededor de los 3 kg cuerda^{-1}.

Dado que el tratamiento de alta densidad de siembra inicial fue capaz de generar una biomasa por cuerda (mediana) más alta que el de baja densidad, a continuación, se reportan sólo los resultados productivo - económicos del tratamiento de alta densidad. El modelo biológico – productivo ajustado indicó que sólo las variables peso y temperatura fueron significativas para explicar los resultados de la tasa de crecimiento diaria (Tabla 8 – **Anexo 1**). Con estos valores, la curva de ajuste se muestra en la **Figura 8A** y la dinámica de la biomasa observada y simulada en la **Figura 8B**. En este caso la simulación predice una biomasa más alta en octubre que en noviembre, lo que difiere de lo observado inicialmente en terreno (**Figura 7**).

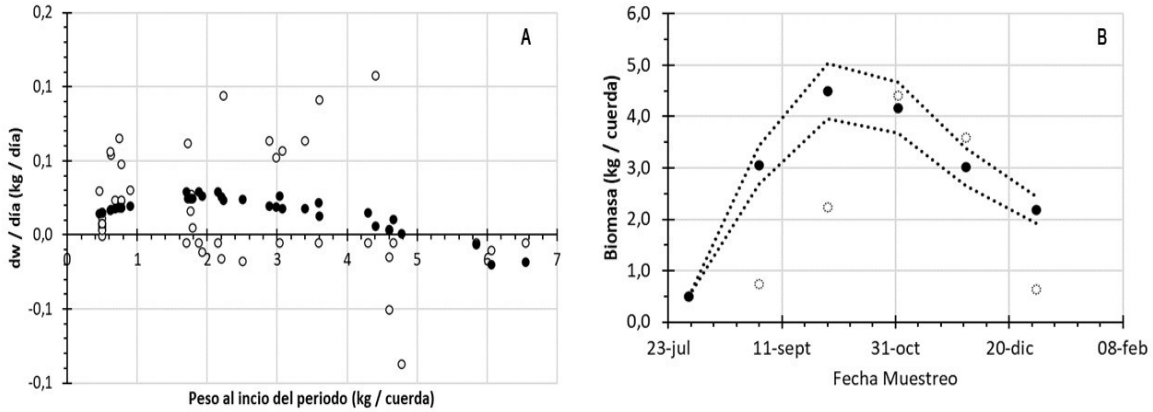


Figura 8. **(A).** Resultados del modelo de ajuste (círculos negros) en función de la biomasa al inicio de cada periodo de crecimiento y de la temperatura. Los círculos blancos representan los valores observados. **(B)** Resultados de la biomasa promedio estimada por el modelo de ajuste (círculos negros) y la biomasa observada en cada fecha de muestreo (círculos blancos). La línea punteada representa una desviación estándar.

La producción estimada para un cultivo de chicoria con 20 plansas/10 ha se muestra en la **Figura 9**. La máxima producción se espera en el mes de octubre con un total de 14,4 t de biomasa.

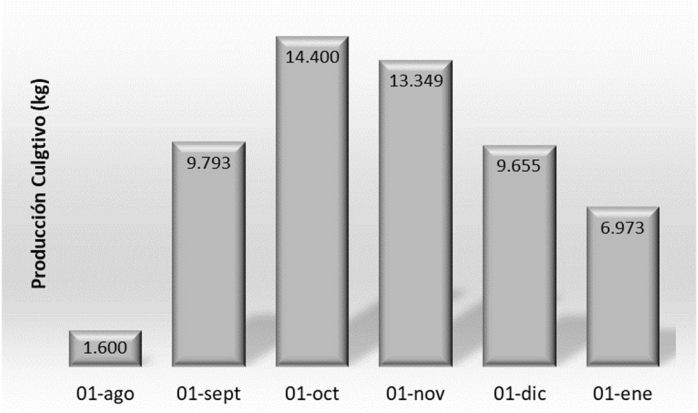


Figura 9. Producción biológica total estimada de chicoria en la localidad de Dalcahue, asumiendo un patrón de crecimiento equivalente a lo mostrado en la Figura 5A con 20 plansas/10 ha instaladas en el cultivo.

Al combinar los resultados productivos con la información económica se estimaron los costos e ingresos totales para evaluar el desempeño económico del cultivo (**Figura 10**). Se muestra que el cultivo es rentable, generando un ingreso neto mayor en el mes de octubre con MM $ 4.

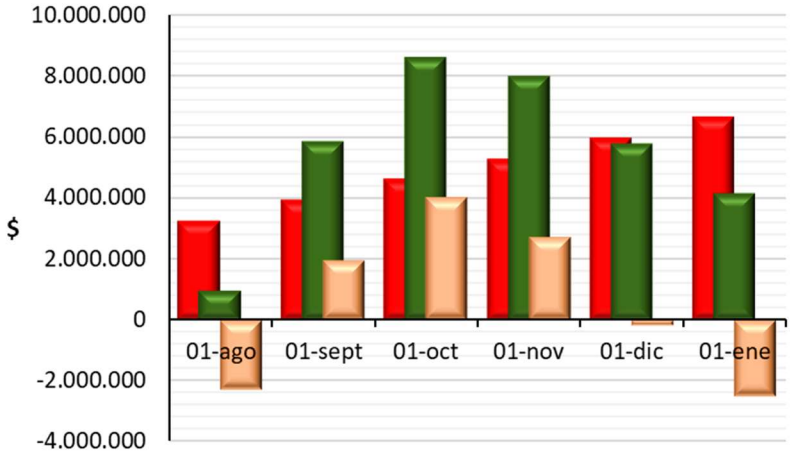


Figura 10. Resultados económicos para el cultivo de chicoria en plansa en la localidad de Dalcahue. Costos totales (barras rojas), ingreso total (barras verdes) e ingreso neto (barras doradas).

Este mayor ingreso neto se relaciona con el menor costo medio que ocurre en octubre. En efecto, para dicho mes el costo medio es de $ 321 kg producido (**Figura 11**), lo que genera un excedente de $ 279 por cada kilo producido.

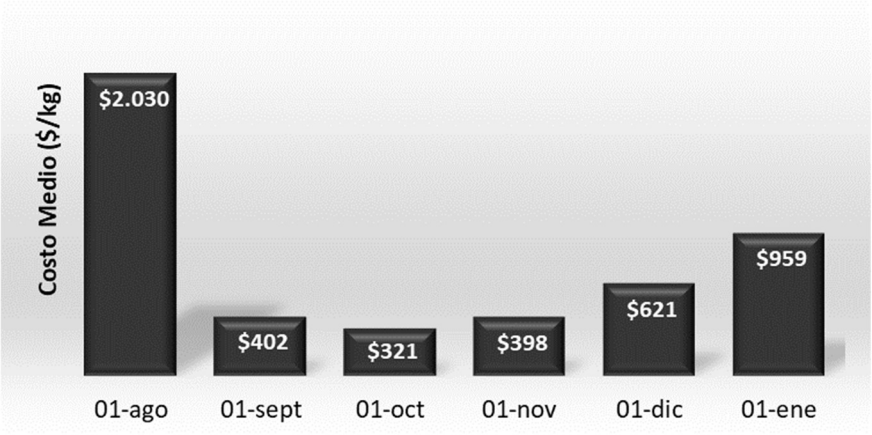


Figura 11. Resultados de costo medio de producción ($ / kg) para el cultivo de chicoria en plansa en la localidad de Dalcahue.

Este menor costo medio de $ 321 por kg está explicado principalmente por dos ítems (**Figura 12**): sueldos ($ 113 kg^{-1}) e instalación de los sistemas de cultivo ($ 111 kg^{-1}) y en tercer lugar el costo de la semilla ($ 67 kg^{-1}).

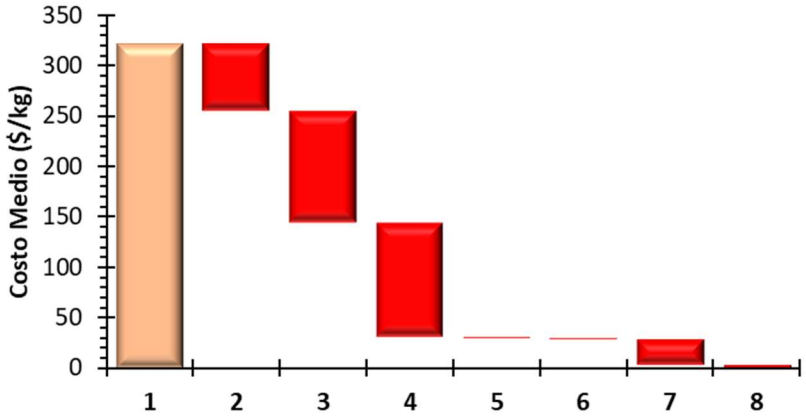


Figura 12. Análisis de costo medio para el cultivo de chicoria de mar en la localidad de Dalcahue en la modalidad de plansa al tiempo de cosecha óptimo. (1) Costo medio total; (2) costo de la semilla; (3) costo de instalación sistemas de cultivo; (4) sueldos; (5) depreciaciones líneas de fondo; (6) depreciación fondeos; (7) depreciación plansa; (8) depreciación del reticulado.

En términos de la evaluación económica del proyecto productivo (Tabla 9 – **Anexo 1**.) el VAN en un horizonte de tiempo de 5 años es de casi MM$ 10, lo que indica un proyecto rentable, pero de bajo alcance pensando en que los MM$ 2 al año debe ser distribuido entre un número desconocido de asociados a la organización propietaria del cultivo.

Análisis de Riesgo

El análisis de riesgo muestra buenas expectativas de desempeño en este ciclo productivo. En efecto, la probabilidad de obtener un valor de costo medio de producción menor al precio de venta estimada es casi del 100% (Figura 12 – **Anexo 1**), lo que indica que este ciclo produce un excedente positivo lo que genera ingresos netos mayores que cero para el productor. Esto se muestra en la Figura 13 – **Anexo 1**. El valor más frecuente es de alrededor de MM$ 5 por ciclo de producción.

5.1.8.2. Pelillo en sistema plansa.

Los resultados indican una marcada variación en el rendimiento por cuerda para ambos tratamientos, lo que se representa por la longitud de los bigotes (**Figura 13**). La dinámica de la biomasa por cuerda indica que las biomasas en ambos tratamientos comenzaron a decrecer a partir de diciembre de 2020. Ambos tratamientos alcanzaron su mayor biomasa (mediana) en noviembre de 2020 con 3,97 y 5,15 kg cuerda^{-1} para los tratamientos de baja y alta densidad, respectivamente. Por cuerda implica una diferencia de 1,18 kg, lo que en términos de producción de una plansa completa equivale a 118 kg de alga aprox. Extrapolado a un cultivo con 20 plansas esta diferencia equivale a 2,4 toneladas.
Posterior a noviembre la biomasa comienza a disminuir hasta enero donde ambos tratamientos mostraron niveles similares de rendimiento con alrededor de 2,5 – 2,8 kg cuerda^{-1}. El análisis estadístico reveló que la fecha de cultivo y el tratamiento es significativo, no así el efecto cruzado entre ambas variables (Tabla 10 – **Anexo 1**). Aunque esta condición final pudiera ser llamativa en términos de que, a pesar de una diferencia de 100% en la biomasa inicial en cada tratamiento (0,5 y 1,0 kg cuerda^{-1}) se lleguen a producciones similares generando una situación de ingresos equivalentes, pero a mitad del costo de semilla. Esto produce un mayor diferencial en términos de ingreso neto a favor del tratamiento de menor densidad respecto del de alta. No obstante, la lógica del cultivo es generar ya sea una mayor biomasa (que no ocurre en enero sino en noviembre) o bien el mayor beneficio neto posible lo que, de acuerdo con lo esperado ocurriría antes de enero. En vista que previo a enero el tratamiento de alta densidad generó las mayores biomasas (medianas) es que el análisis económico se realizó sobre los resultados de este escenario descartando el escenario de baja densidad. A continuación, se detallan los resultados de este análisis.
La Figura 15 – **Anexo 1** muestra las tendencias de la tasa diaria de crecimiento entre ambos tratamientos. Allí se observa que el cultivo de alta densidad es capaz de llevar el cultivo a mayores producciones por cuerda. En este sentido el crecimiento se hace cero a mayores niveles de peso (~ 5 kg cuerda^{-1}) en los círculos blancos (alta densidad) que en los negros (baja densidad, ~ 4,2 kg cuerda^{-1}).
El modelo de ajuste inicial que incorporó como variables explicativas a la biomasa de pelillo al inicio de cada periodo de muestreo (i.e., temperatura promedio y la biomasa de epífitos), mostró que la temperatura no es significativa para explicar la tasa de crecimiento (Tabla 11 – **Anexo 1**). Al eliminar esta variable y hacer el ajuste todos los parámetros fueron significativos (Tabla 12 – **Anexo 1**).

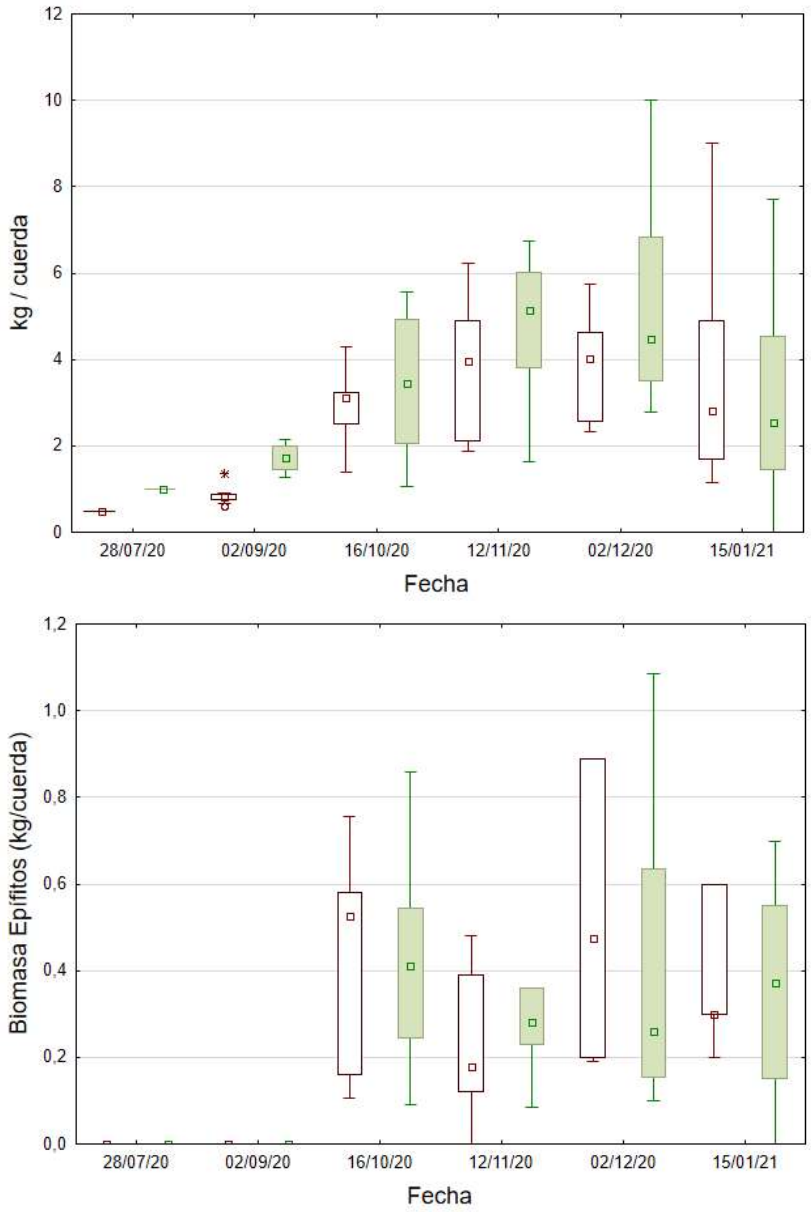


Figura 13. Evolución de la biomasa de pelillo cultivado en plansa (gráfico superior) y de epífitos (inferior) en la localidad de Dalcahue. El color pardo representa los resultados del cultivo de baja densidad (w_0 = 0,5 kg / cuerda) y el verde el cultivo de alta densidad (w_0 = 1,0 kg / cuerda). Los bigotes representan el 25% inferior y superior de los datos. La caja el 50% central y el cuadrado dentro de la caja representa el valor de la mediana.

El modelo permitió seguir en promedio la tendencia y magnitud de los valores observados de la tasa de crecimiento (**Figura 14 A y B**).

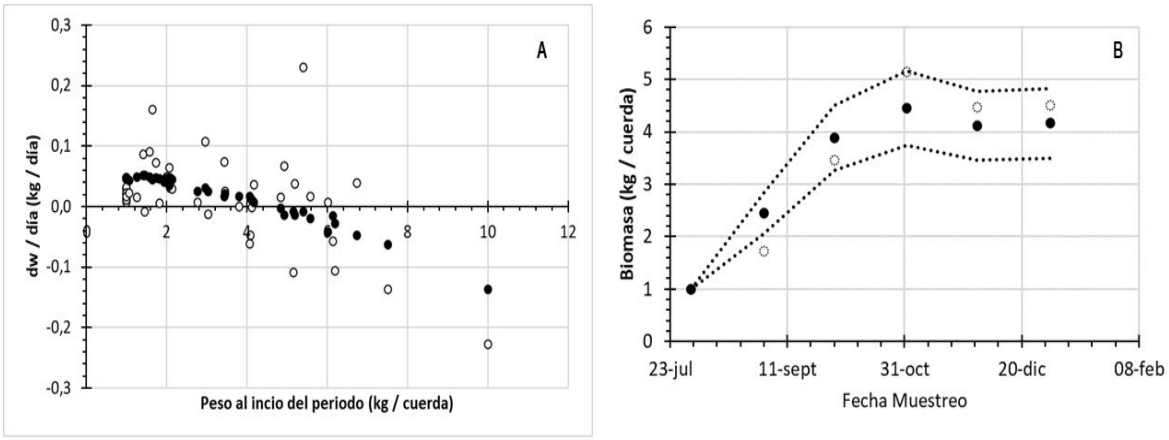


Figura 14. (A) Resultados del modelo de ajuste (círculos negros) en función de la biomasa al inicio de cada periodo de crecimiento y de la biomasa de epífitos. Los círculos blancos representan los valores observados. (B) Resultados de la biomasa promedio estimada por el modelo de ajuste (círculos negros) y la biomasa observada en cada fecha de muestreo (círculos blancos). La línea punteada representa una desviación estándar.

La producción estimada para el cultivo (20 plansas) se observa en la **Figura 15** con una máxima producción al tercer mes de cultivo con cerca de 14 toneladas.

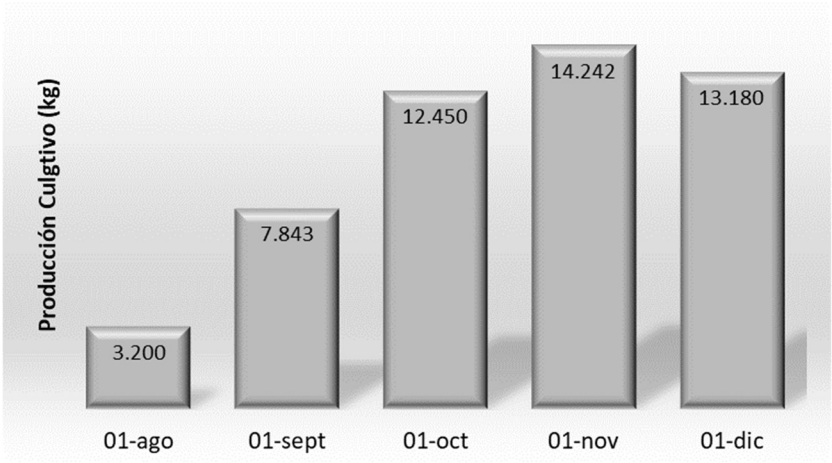


Figura 15. Producción biológica total estimada de pelillo en la localidad de Dalcahue, asumiendo un patrón de crecimiento equivalente a lo mostrado en la Figura 14 A y B con 20 plansas instaladas en el cultivo.

Con los datos productivos y económicos se logró obtener la curva de costos e ingresos totales, así como el ingreso neto de un cultivo con 20 plansas instaladas en la concesión (**Figura 16**). El principal

resultado es que el ingreso neto es negativo, lo que indica que el cultivo de pelillo en plansa en esta localidad no es rentable.

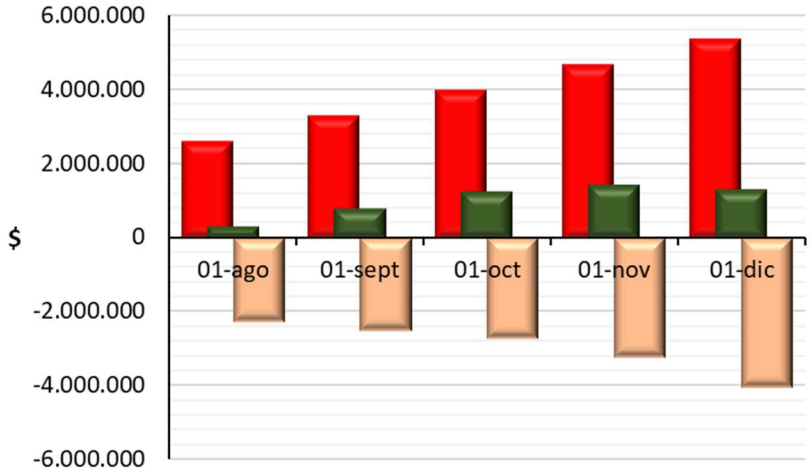


Figura 16. Resultados económicos para el cultivo de pelillo en plansa en la localidad de Dalcahue. Costos totales (barras rojas), ingreso total (barras verdes) e ingreso neto (barras doradas).

Si bien la mayor producción biológica ocurre en diciembre, el análisis de costo medio indica que es en octubre cuando ocurre el menor costo medio (**Figura 17**). En este punto del tiempo sería recomendable realizar la cosecha ya que se maximizaría la diferencia entre el costo de producción y el precio de venta. No obstante, el resultado general indica que este menor costo de producción ($320 $/kg) es más alto que el precio de venta ($100 $/kg), haciendo no recomendable el cultivo bajo esta modalidad en plansa.

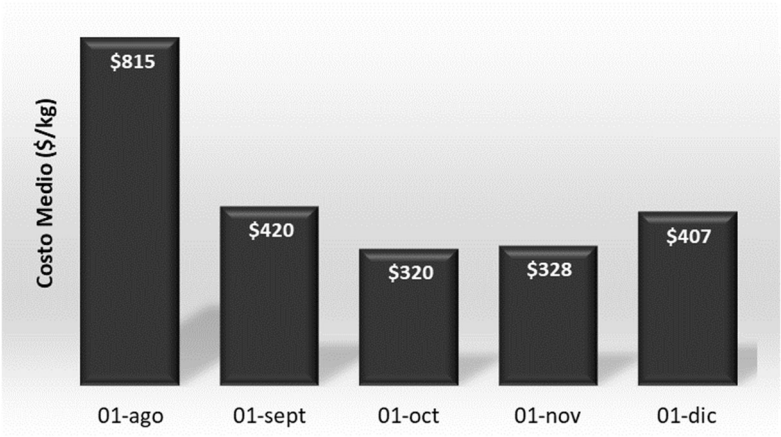


Figura 17. Resultados de costo medio de producción ($ / kg) para el cultivo de pelillo en plansa en la localidad de Dalcahue.

En términos del análisis de costo (**Figura 18**) los ítems más relevantes son el costo de instalación de los sistemas de cultivo y la mano de obra (sueldos).

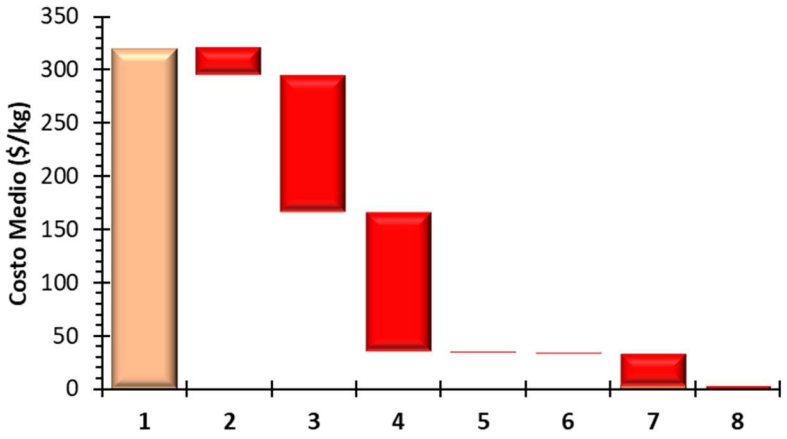


Figura 18. Análisis de costo medio para el cultivo de pelillo en la localidad de Dalcahue en la modalidad de plansa al tiempo de cosecha óptimo. (1) Costo medio total; (2) costo de la semilla; (3) costo de instalación sistemas de cultivo; (4) sueldos; (5) depreciaciones líneas de fondo; (6) depreciación fondeos; (7) depreciación plansa; (8) depreciación del reticulado.

Análisis de Riesgo

Dado la baja variabilidad asociada al modelo de producción (Tabla 12 – **Anexo 1**) los resultados mostraron una baja variabilidad para el costo medio de producción que depende, precisamente, de la biomasa producida durante el ciclo productivo. En efecto, el costo medio varió entre $ 318 y $ 322 por kilo, más de $ 200 pesos por encima del precio de venta de pelillo (Figura 22 – **Anexo 1**). De este modo, la probabilidad de obtener costos medios por debajo de este nivel es cero. Dado el alto costo medio no se generan excedentes en este cultivo y el ingreso neto es negativo en todo el rango de resultados del análisis de Monte Carlo (Figura 23 –**Anexo 1**).

5.1.8.3. Co-Cultivo Pelillo Chorito en Balsa.

En el cultivo en balsa los resultados productivos de choritos y de pelillo tuvieron distintas tendencias (**Figura 19**). En efecto, mientras la biomasa de chorito mostró una tendencia a aumentar, lo contrario ocurrió con el pelillo, que de una biomasa inicial de 1 kg cuerda^{-1} descendió hasta desaparecer completamente en enero de 2021.

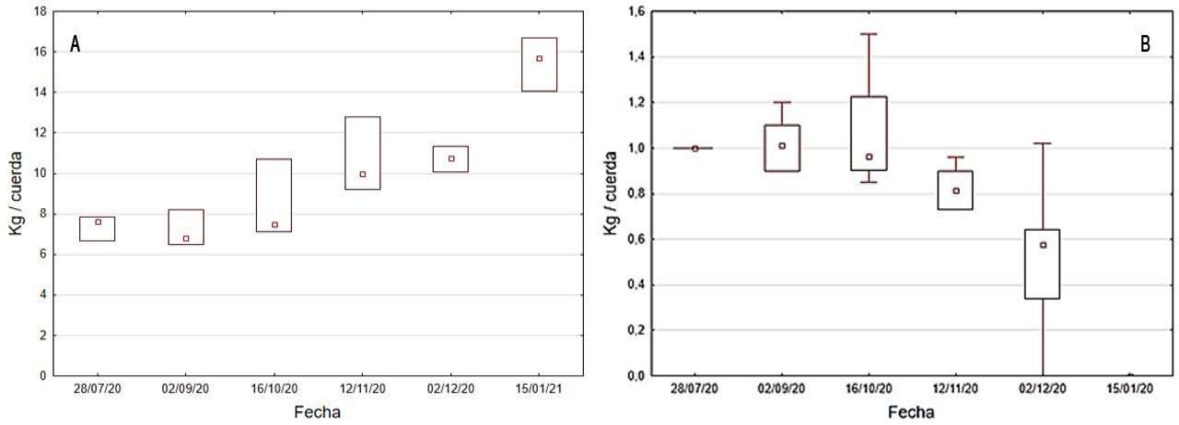


Figura 19. Resultados productivos observados en el cultivo en balsa en la localidad de Dalcahue. (A) Producción de chorito (n = 3). (B) Producción de pelillo (n = 6).

Dado que el experimento tuvo una proporción por balsa de 8 cuerdas de chorito y 40 de pelillo, la nula contribución del pelillo a la producción total implicará que todos los costos asociados a este cultivo debieran ser cubiertos por las cuerdas con choritos, lo que dificultará un resultado económico satisfactorio para esta experiencia de cultivo. Basados en los resultados obtenidos para cada cuerda de cultivo en particular la tasa de crecimiento diaria se muestra en la **Figura 20**. En ella se pudo observar que pasado los 12 kg de chorito cuerda^{-1} el único punto observado (círculo blanco) la tasa de crecimiento es negativa. Esto implica que, en teoría, la expectativa de máxima tasa de crecimiento está alrededor de los 10 kg cuerda^{-1}, si esto fuera el caso la mayor biomasa producida por cuerda estaría alrededor de los 20 kg cuerda^{-1}.

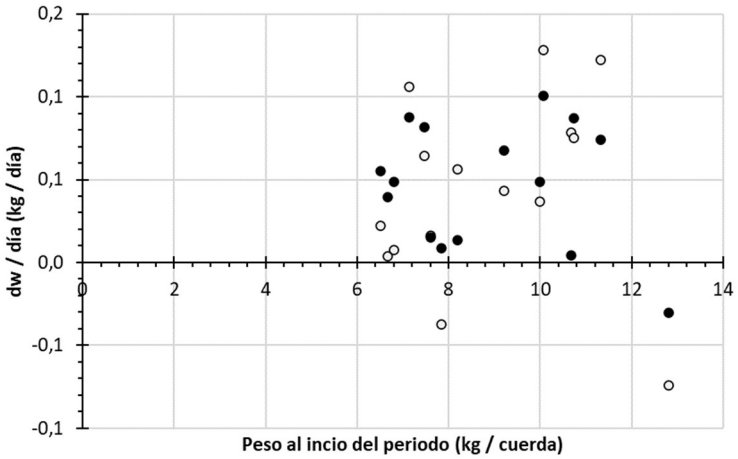


Figura 20. Resultados del modelo de ajuste (círculos negros) en función de la biomasa al inicio de cada periodo de crecimiento y de la temperatura. Los círculos blancos representan los valores observados.

Los resultados del modelo de ajuste (círculos negros), siguieron en tendencia y magnitud los valores observados (**Figura 20**) y los parámetros del modelo resultaron significativos (Tabla 13 – **Anexo 1**). Con estos valores se pudo reproducir la dinámica observada de la biomasa de choritos por cuerda (**Figura 21**). En ella se observa que inicialmente el modelo tiende a sobrestimar la biomasa, aunque dentro del intervalo de confianza calculado. La última observación indica que la biomasa empieza a entrar en una fase de estabilización alrededor de los 18 kg cuerda^{-1}.

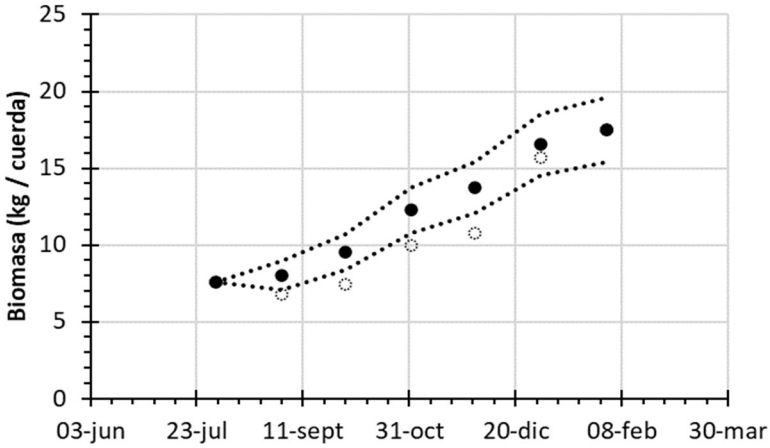


Figura 21. Resultados de la biomasa promedio estimada por el modelo de ajuste (círculos negros) y la biomasa observada en cada fecha de muestreo (círculos blancos). La línea punteada representa 1 desviación estándar.

Asumiendo que se mantienen las ocho cuerdas de chorito por balsa y que el cultivo consta de un total de 25 balsas de cultivo la producción total será la señalada en la **Figura 22**, con 3,5 t totales.

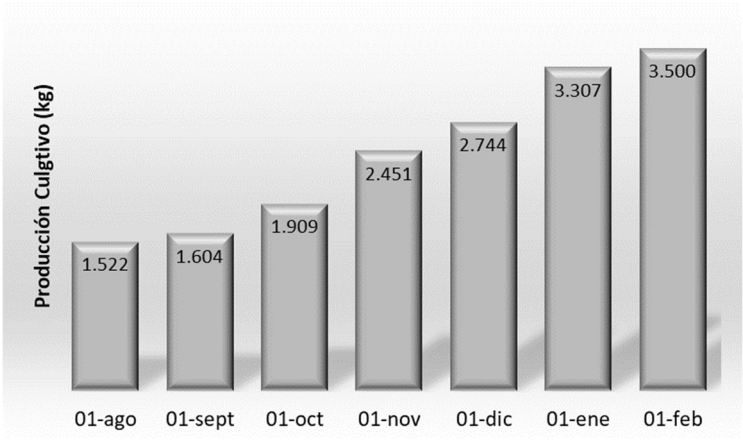


Figura 22. Producción biológica total estimada de chorito cultivado en balsas en la localidad de Dalcahue.

Con este bajo nivel de producción, el cultivo no muestra un ingreso neto positivo en ningún mes de cultivo (**Figura 23**).

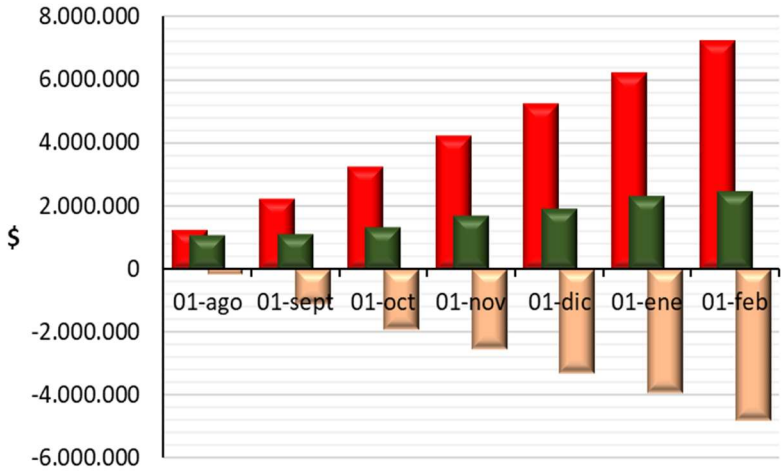


Figura 23. Resultados económicos para el cultivo de chorito en balsa, en la localidad de Dalcahue. Costos totales (barras rojas), ingreso total (barras verdes) e ingreso neto (barras doradas). El ingreso se calcula sobre un precio de venta de $ 700 por kilo (mercado minorista).

Esto es debido al hecho que el costo medio de producción es sostenidamente más alto que el precio de venta del recurso (**Figura 24**). En consecuencia, el cultivo es incapaz de generar un ingreso bruto mayor que los costos de operación, en cuyo caso el ingreso neto siempre será negativo.

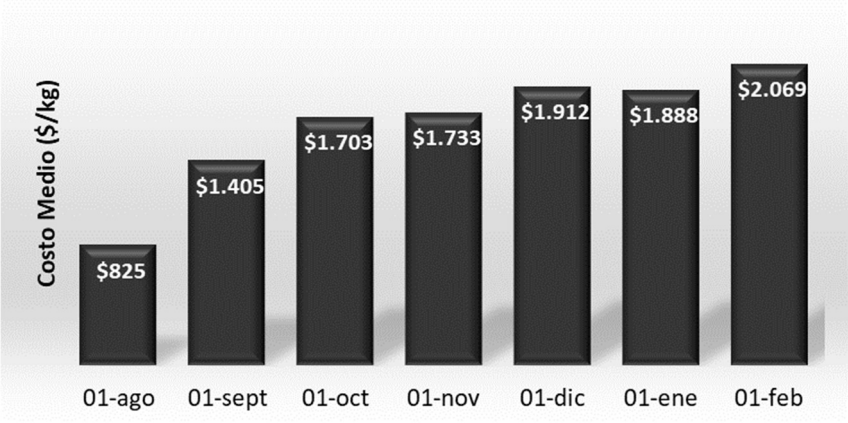


Figura 24. Resultados de costo medio de producción ($ / kg) para el cultivo de chorito en balsa en la localidad de Dalcahue.

Incluso el menor costo medio estimado, que ocurre al primer mes de cultivo, ya es más alto que el precio de venta y en adelante no hace más que aumentar. La estructura de este costo medio más bajo se puede observar en la **Figura 25**: los ítems sueldos y depreciación de la balsa son los más importantes. En este sentido, el costo de la balsa es muy alto en comparación con otros sistemas de cultivo (e.g. long line).

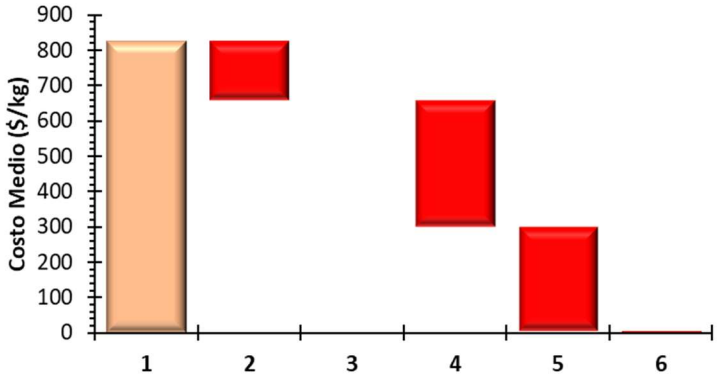


Figura 25. Análisis de costo medio para el cultivo de chorito en la localidad de Dalcahue en la modalidad de balsa al inicio del cultivo. (1) Costo medio total; (2) costo de la semilla; (3) costo de instalación sistemas de cultivo; (4) sueldos; (5) depreciación de la balsa; (6) depreciación fondeos.

Los resultados de la **Figura 23** se basan en un precio de venta de $ 700 kg^{-1}, que es el esperado si la producción se orienta al mercado minorista. Esto cambia drásticamente si el mercado objetivo son las plantas de procesamiento que pagan un precio sustantivamente menor, sólo $ 300 kg^{-1} o menos. Este cambio es presentado en la **Figura 26.**

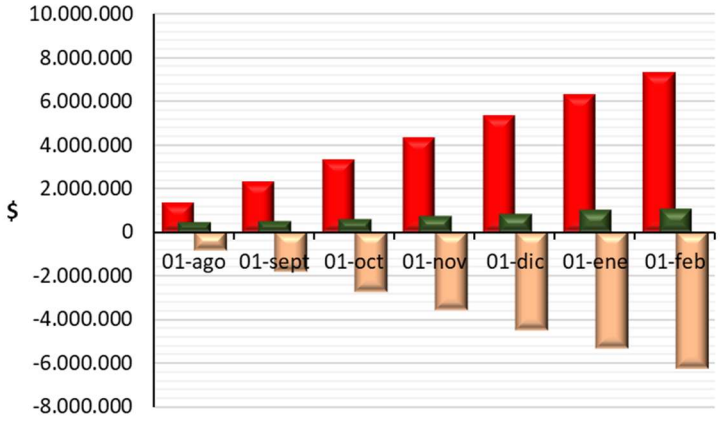


Figura 26. Resultados económicos para el cultivo de chorito en balsa en la localidad de Dalcahue. Costos totales (barras rojas), ingreso total (barras verdes) e ingreso neto (barras doradas). El ingreso se calcula sobre un precio de venta de $ 300 por kilo (mercado mayorista).

En resumen, este cultivo mixto entre pelillo y choritos, con un bajo nivel de producción de choritos y nulo aporte detectado de pelillo, no lo hace recomendable basado en los resultados del ciclo productivo analizado.

Análisis de Riesgo

La probabilidad de obtener valores de costo medio de producción por debajo del precio de venta de $ 700 por kilo (precio minorista) es prácticamente cero, por tal motivo la probabilidad de generar ingresos netos positivos en este cultivo es muy baja. La situación es mucho más dramática si se considera en precio de mayorista de $ 300 por kilo (Figura 32 – **Anexo 1**). Finalmente, con un precio de venta de $ 700 por kilo los resultados indican que, si se toma noviembre como mes de referencia, el valor de ingreso neto más probable es de MM$ -2,5 (Figura 33 – **Anexo 1**).

5.1.9. Modelación bio-económica Pudeto.

5.1.9.1. Pelillo en co-cultivo.

El cultivo experimental desarrollado en la localidad de Pudeto midió el efecto conjunto del co – cultivo ostras + pelillo y choro zapato + pelillo en el crecimiento (en biomasa) de cuerdas de pelillo. Además, se monitorearon cuerdas experimentales de pelillo en cultivo de fondo usando un sistema similar al de "estacas" y que se usa como tratamiento control.
Los resultados de la dinámica de la biomasa (kg • cuerda^{-1}) se muestran en la **Figura 27**. Se observa con claridad que, de los tres tratamientos, aquel con choro zapato es el que muestra los menores niveles de biomasa, con valores de mediana inferiores a los 2 kg cuerda^{-1}. En contraste, los mayores valores están asociados al tratamiento control, donde el mayor valor de la mediana estuvo aproximadamente en los 8 kg cuerda^{-1}. El tratamiento de cultivo de pelillo asociado a ostras mostró un comportamiento intermedio, con los valores mayores de mediana de alrededor de 5 kg cuerda^{-1}, es decir casi 4 kg cuerda $^{-1}$ más que el tratamiento con choro zapato, pero 3 kg cuerda^{-1} menos que el tratamiento control. El análisis estadístico mostró diferencias significativas a nivel de factores y la interacción entre estos, (ANOVA factorial, Tabla 14 – **Anexo 1**).
El análisis a posteriori (prueba de Bonferroni) indicó que el tratamiento con choro zapato mostró valores significativamente inferiores al tratamiento control a partir del muestreo de octubre de 2020 ($p = 0,00004$) e inferiores a los dos tratamientos alternativos a partir de noviembre de 2020 ($p < 0,02$). El mismo análisis mostró que entre el tratamiento control y con ostras no hubo diferencias significativas, a pesar del valor de las medianas ($p > 0,26$), dado fundamentalmente por la variabilidad observada en el control y a valores extremos observados en el tratamiento con ostras (**Figura 27**).
Este patrón en la dinámica de la biomasa se ve reflejado en las tasas de crecimiento diarias calculadas para cada tratamiento (**Figura 28**). Se puede observar que el pelillo creciendo con choro zapato presentó las tasas de crecimiento más bajas y alcanzó los menores niveles de biomasa por cuerda (~ < 2 kg cuerda^{-1}). El pelillo en el control puede alcanzar mayores biomasas (~ 10 kg cuerda^{-1}), pero la variabilidad es mayor que en el tratamiento con ostras. En pelillo, los valores máximos de biomasa, esto es cuando la tasa de crecimiento se hace cero, se alcanza alrededor de los 7 kg cuerda^{-1}.

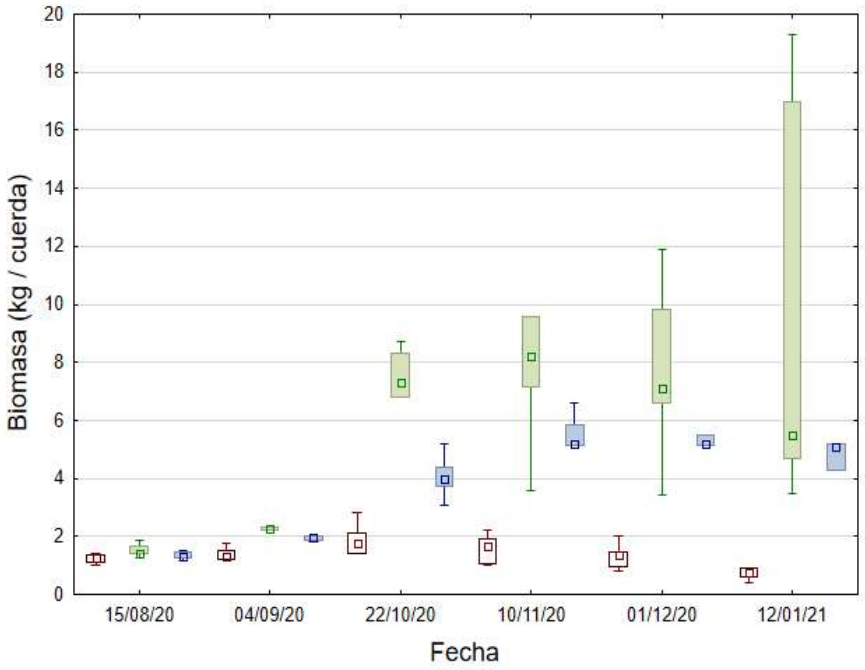


Figura 27. Evolución de la biomasa de pelillo. Las cajas y bigotes de color pardo representan la biomasa en el tratamiento con choro zapato; las azules con ostras y las verdes el control. Los bigotes representan el 25% inferior y superior de los datos. La caja el 50% central y el cuadrado dentro de la caja representa el valor de la mediana.

En el análisis posterior se hará referencia sólo al cultivo de pelillo control y pelillo con ostras, descartando el cultivo mixto con choro zapato debido al pobre rendimiento productivo observado. Además, se hace necesario evaluar el rendimiento económico de ambos cultivos (mixto con ostras y control) debido a que con las mismas facilidades de cultivo se pueden sumar el beneficio económico del pelillo más el de ostras, el cual requiere ser comparado con el rendimiento económico de solo pelillo en el control.

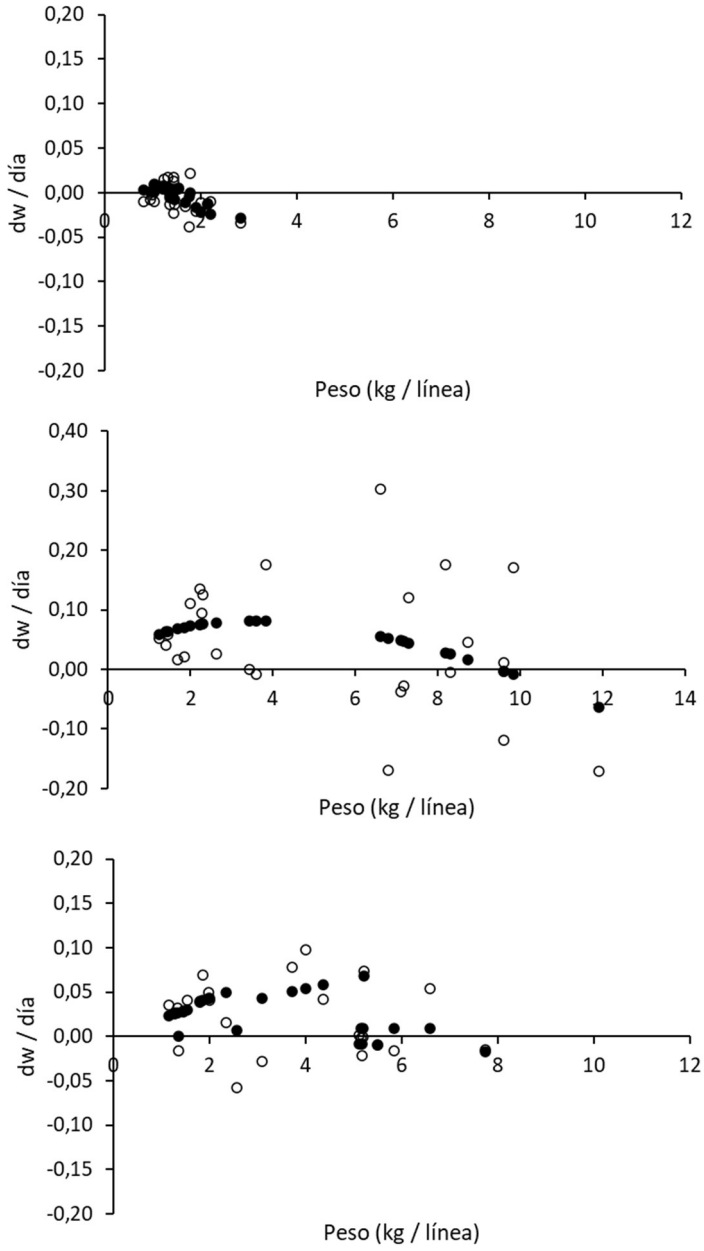


Figura 28. Comportamiento de la tasa de crecimiento de pelillo (kg / día) en función del peso de la cuerda al inicio de cada periodo de muestreo. El gráfico superior muestra el comportamiento en el cultivo conjunto con choro zapato; el central al tratamiento control y el inferior al cultivo en conjunto con ostras. Los círculos blancos representan a los valores observados y los negros a los esperados por el modelo.

5.1.9.2. Pelillo control.

El modelo de ajuste mostró significancia solo para la variable peso al inicio del periodo de crecimiento (Tabla 15 – **Anexo 1**), no así para los demás parámetros (temperatura, oxígeno disuelto). Con estos valores se modeló la dinámica de la biomasa en el tiempo lo que se muestra en la **Figura 29**.
La biomasa total extrapolada producida por un cultivo con 100 líneas, cada una con 100 m de longitud se muestra en la **Figura 30**. La máxima biomasa sería de 16,8 t y ocurriría en noviembre, con tres meses de crecimiento en terreno.

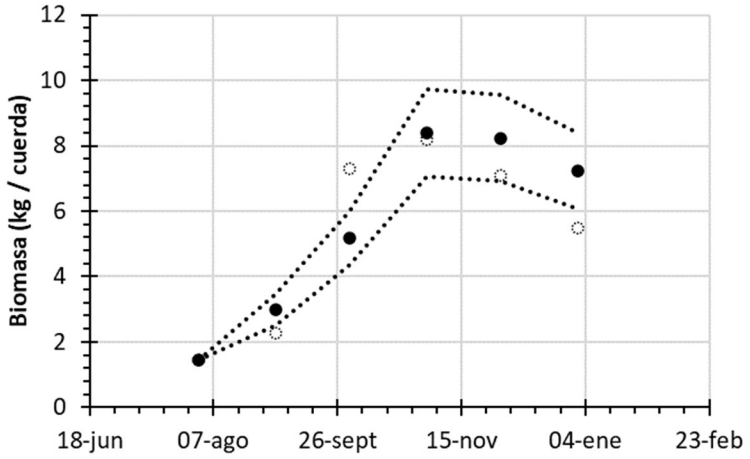


Figura 29. Dinámica de la biomasa estimada por el modelo de ajuste (círculos negros) y la biomasa observada en cada fecha de muestreo (círculos blancos). La línea punteada representa 1 desviación estándar.

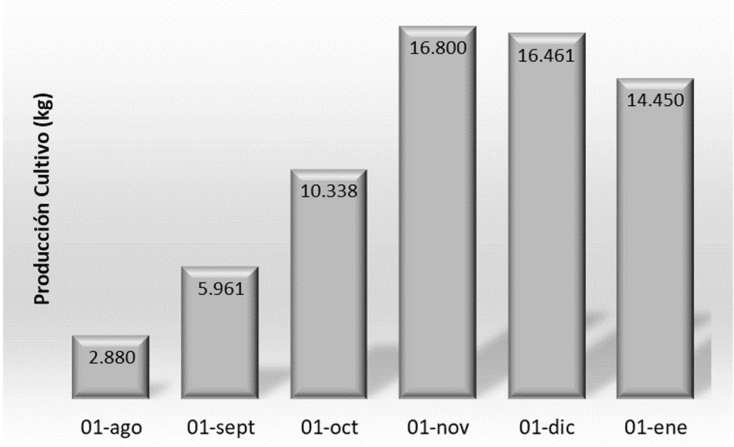


Figura 30. Producción biológica total estimada de pelillo en el experimento control en la localidad de Pudeto.

Los resultados productivos expresados en la **Figura 30** en conjunto con la información financiera contenida en la Tabla 2 – **Anexo 1,** permiten estimar el flujo de costos y beneficios del cultivo (**Figura 31A**). El beneficio neto es siempre negativo y esto es básicamente debido alto costo medio por kilo producido (**Figura 31B**), al impacto que tienen algunos ítems de costos (**Figura 32**) y al bajo precio de venta por kilo.

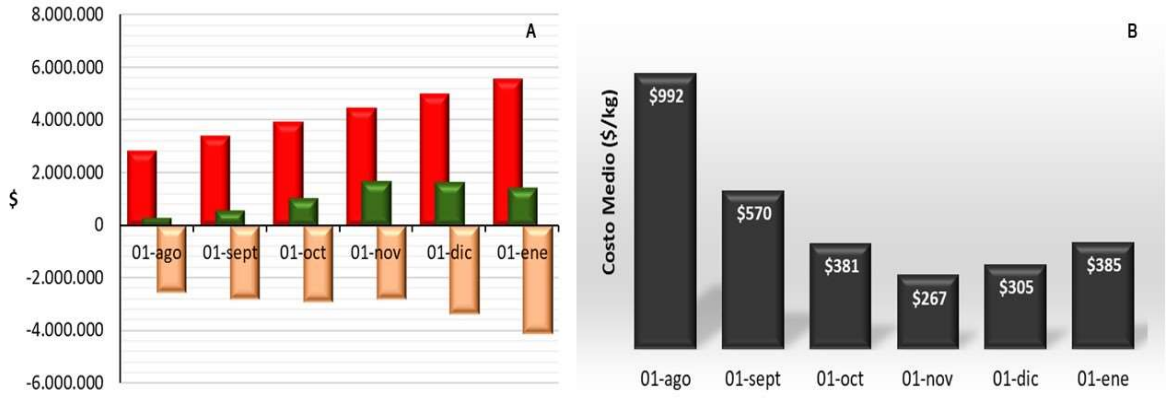


Figura 31. **(**A) Resultados económicos para el cultivo de pelillo en el experimento control en la localidad de Pudeto. Costos totales (barras rojas), ingreso total (barras verdes) e ingreso neto (barras doradas). (B) Resultados de costo medio de producción ($ / kg) para el cultivo de pelillo control en la localidad de Pudeto.

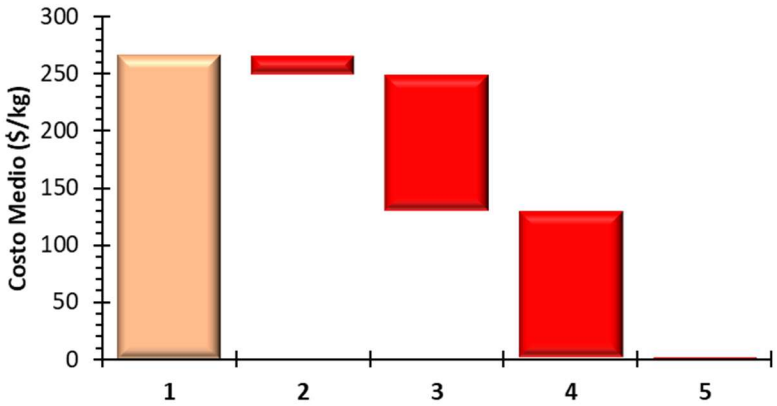


Figura 32. Análisis de costo medio, al tiempo de cosecha óptimo, para el cultivo de pelillo en el tratamiento control en la localidad de Pudeto. (1) Costo medio total; (2) costo de la semilla; (3) costo de instalación sistemas de cultivo; (4) sueldos; (5) cuerda**.**

En conclusión, bajo este escenario productivo – económico, este cultivo configurado de esta forma no pareciera ser recomendable.

Análisis de Riesgo

Los resultados productivo–económicos sugieren que el cultivo pelillo control no posee probabilidades de obtener costos medios inferiores al precio de venta del producto (Figura 41 – **Anexo 1**). Esto genera una situación de ingresos netos negativos, con un valor más probable (26% del total de valores estimados) de MM$ -2,6 (Figura 42 – **Anexo 1**).

5.1.9.3. Pelillo en co-cultivo con ostra.

A continuación, se describirá el desempeño del cultivo de pelillo bajo las camillas, esto con el fin de evaluar su rendimiento económico o el beneficio tanto de las ostras (ver 5.1.9.3) como del pelillo. Dado que para el caso del pelillo sólo existen tres costos (semilla, instalación de las cuerdas y la depreciación de éstas) se espera que el resultado del beneficio neto sea positivo ya que el principal ítem de costo medio (sueldo) es cero para este cultivo asociado a las camillas con ostras, esto porque este ítem ya estará considerado en el cultivo de las ostras.
El modelo de producción resultó en un ajuste significativo sólo para uno de los dos parámetros de la Ecuación 1 (Tabla 18 – **Anexo 1**), pero aun así siguió en tendencia y magnitud la dinámica de la biomasa en las cuerdas de cultivo (**Figura 33 A y B**).

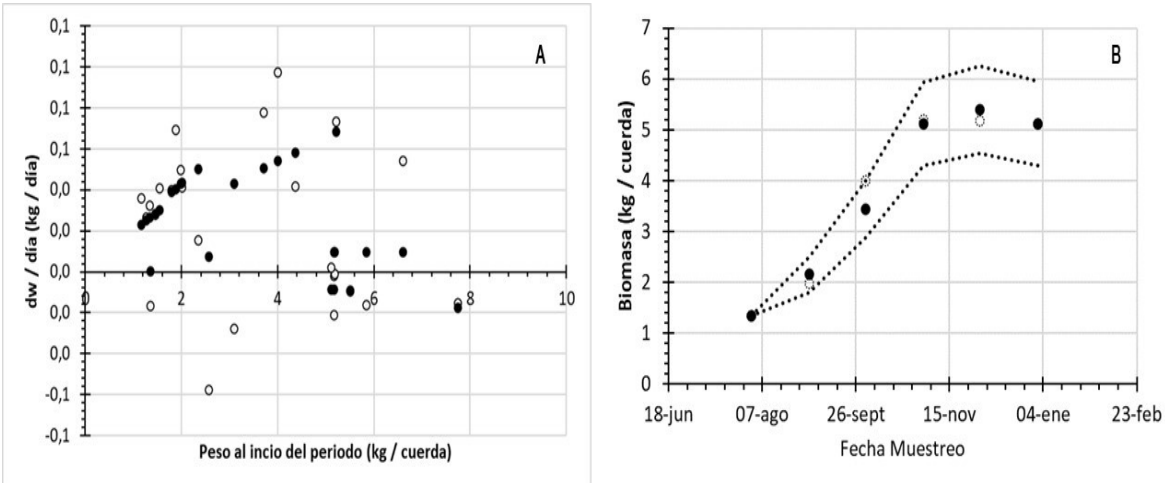


Figura 33. (A) Comportamiento de la tasa de crecimiento diaria en el cultivo de pelillo cultivado con ostras en la localidad de Pudeto. Los círculos blancos representan la tasa diaria observada y los negros la tasa esperada a través del modelo. (B) Dinámica de la biomasa estimada por el modelo de ajuste (círculos negros) y la biomasa observada en cada fecha de muestreo (círculos blancos). La línea punteada representa ±1 desviación estándar.

Tomando como base estos rendimientos, la producción en el tiempo se muestra en la **Figura 34**. Así, la máxima producción ocurriría en el mes de diciembre (al cuarto mes de iniciado el cultivo) con un total aproximado de 43 t de pelillo.

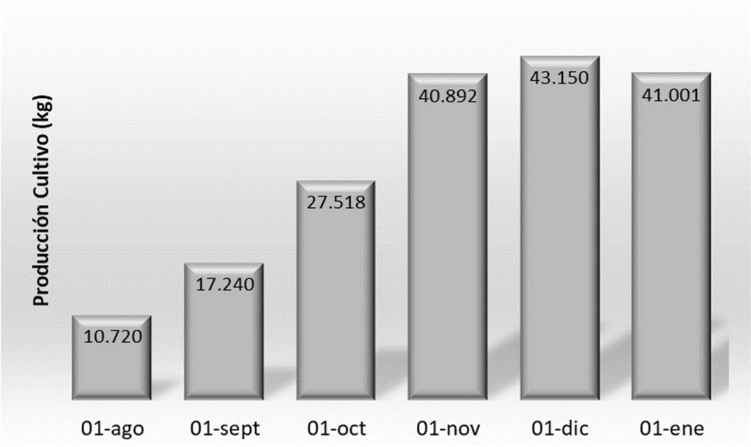


Figura 34. Producción biológica total estimada de pelillo cultivado en conjunto con ostras en la localidad de Pudeto.

Considerado esta producción, junto con el hecho de que al ocupar las mismas camillas que el cultivo de ostras y del mismo personal de mantenimiento del cultivo, los costos para el cultivo de pelillo se reducen de manera importante, al final del ciclo productivo se generarían excedentes positivos (**Figura 35**) que alcanzan el valor mayor en diciembre con aproximadamente MM$ 1,5.

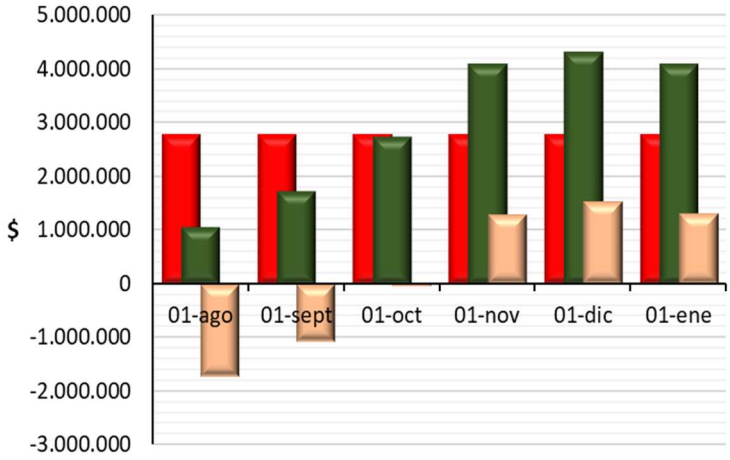


Figura 35. Resultados económicos para el cultivo de pelillo cultivo en conjunto con ostras en la localidad de Pudeto. Costos totales (barras rojas), ingreso total (barras verdes) e ingreso neto (barras doradas).

Este excedente se debe básicamente al que el costo de producción está por debajo del precio de venta por kilo de pelillo y que justamente presenta su menor valor en diciembre (**Figura 36**).

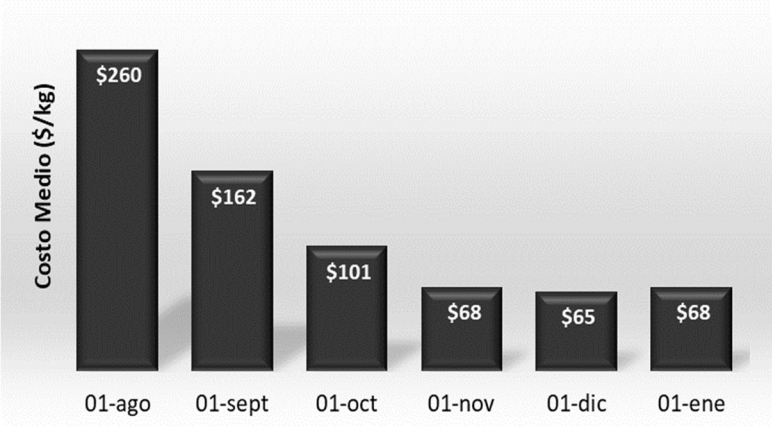


Figura 36. Resultados de costo medio de producción ($ / kg) para el cultivo de pelillo cultivado en conjunto con ostras en la localidad de Pudeto.

En el análisis de costo medio (**Figura 37**) se observa que este menor costo medio por kilo producido se debe a la ausencia de costos de sueldo, ya que este ítem ya está considerado en el mismo personal de mantenimiento de las camillas en el cultivo de ostras.

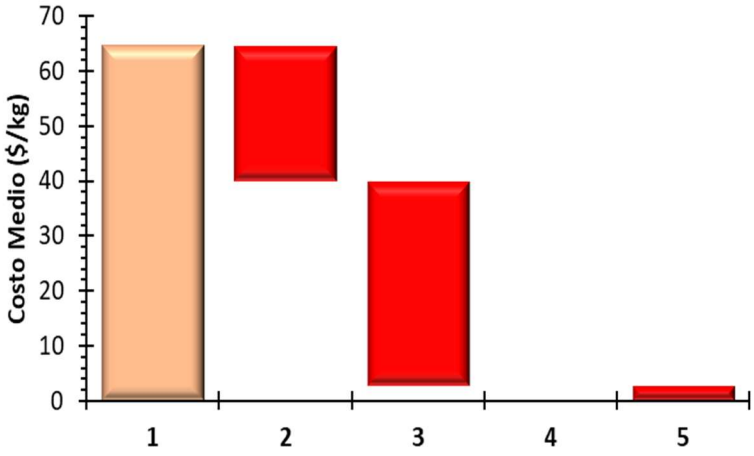


Figura 37. Análisis de costo medio, al tiempo de cosecha óptimo, para el cultivo de pelillo en el tratamiento control en la localidad de Pudeto. (1) Costo medio total; (2) costo de la semilla; (3) costo de instalación de las cuerdas de cultivo; (4) sueldos; (5) depreciación de la cuerda.

Análisis de Riesgo.

Como consideración inicial, este tipo de cultivo utiliza como soporte de las líneas la misma estructura de las camillas usadas para las ostras. Por eso, el análisis de riesgo muestra una alta probabilidad de obtener valores de costo medio de producción menores al del precio de venta (Figura 60 – **Anexo 1**).

La probabilidad de 50% de que Cm < Pv se asocia a un valor de $ 65 lo que genera un excedente de $ 35 por kilo comercializado. Esto no se logra traducir en un ingreso neto elevado, un poco por la baja productividad estimada junto con el bajo precio pagado por el alga. Así, el ingreso neto más probable es de MM$ 1,6, 20% de probabilidad de ocurrencia entre todos los valores posibles generados en los ciclos de Monte Carlo (Figura 61 – **Anexo 1**).

5.1.9.4. Ostra.

Hasta el final del periodo de observaciones consideradas para la modelación (enero 2021) se evidencia que la mediana de la biomasa es más alta en el experimento de crecimiento de ostras asociado con pelillo. En efecto, la mediana con pelillo estuvo alrededor de 3,8 kg / bolsa versus 3,3 kg / bolsa en el tratamiento sin pelillo en diciembre y de 5,4 y 6,4 kg / bolsa en enero (**Figura 38**).

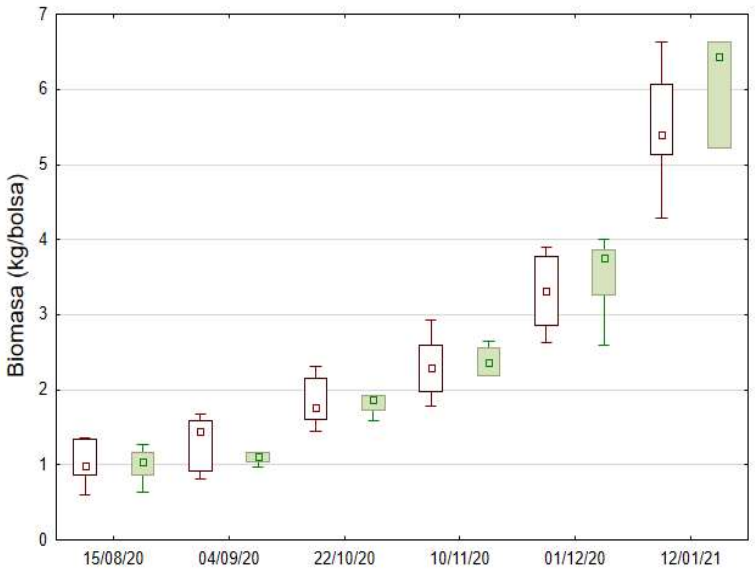


Figura 38. Evolución de la biomasa de ostras cultivado en bolsas sobre "camilla" en la localidad de Pudeto. Los bigotes representan el 25% inferior y superior de los datos. Color pardo representa tratamiento "Ostras sin pelillo". Color verde representa tratamiento "Ostras con pelillo". La caja el 50% central y el cuadrado dentro de la caja representa el valor de la mediana.

A pesar de las diferencias en términos de la mediana, el análisis estadístico reveló que tales diferencias no son significativas. Para la evaluación se empleó una ANOVA factorial donde la variable dependiente fue el peso de la bolsa con ostras y los factores el tiempo (fechas de muestreo) y el tratamiento (con y sin pelillo). Los resultados (Tabla 16 – **Anexo 1**) indicaron que el intercepto y la fecha fueron significativos; no obstante, el tratamiento y el efecto cruzado (fecha x tratamiento) no fueron significativos, descartándose un efecto del pelillo sobre el rendimiento en biomasa en términos de kg / bolsa. Esto también se vio reflejado en lo similares que resultaron los valores de tasa de crecimiento (kg / día) que se muestran en la **Figura 39**.

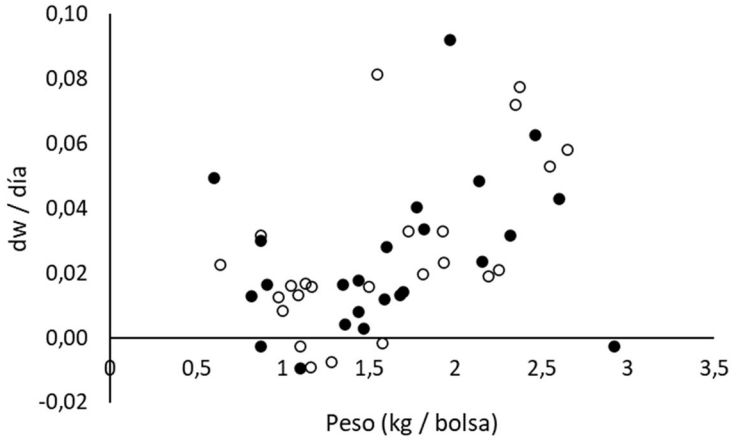


Figura 39. Comportamiento de la tasa de crecimiento de ostras (kg / día) en función del peso de la bolsa al inicio de cada periodo de muestreo. Los círculos negros y blancos representan al tratamiento sin y con pelillo, respectivamente.

Dado que es de interés modelar el comportamiento económico del cultivo de ostras en conjunto con el cultivo de pelillo asociado a la estructura de las camillas, se describirá el comportamiento biológico – productivo del experimento de ostras, comportamiento que se describe en la **Figura 40**. Los valores de los parámetros del modelo se muestran en la Tabla 17 – **Anexo 1** son todos significativos. Con estos valores se modeló la dinámica de la biomasa en el tiempo lo que se muestra en la **Figura 41**.

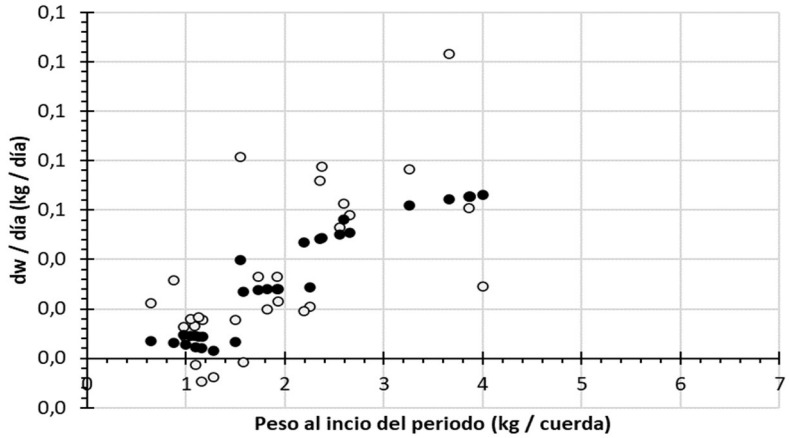


Figura 40. Comportamiento de la tasa de crecimiento diaria en el cultivo de ostras en la localidad de Pudeto. Los círculos blancos representan la tasa diaria observada y los negros la tasa esperada a través del modelo.

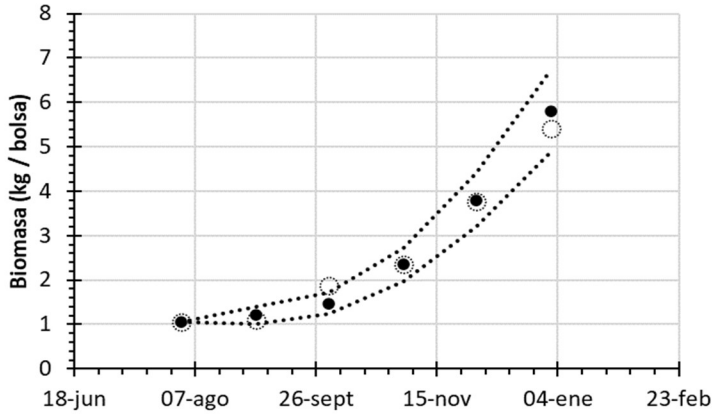


Figura 41. Dinámica de la biomasa estimada por el modelo de ajuste (círculos negros) y la biomasa observada en cada fecha de muestreo (círculos blancos). La línea punteada representa ± 1 desviación estándar.

A pesar de que los ciclos en el cultivo de este recurso son más largos en comparación al cultivo de pelillo, se hizo una simulación proyectando el crecimiento hasta el momento en que se estimó que la tasa de crecimiento sería cero, es decir, ningún aporte adicional de biomasa será posible al interior de cada bolsa. La producción simulada se muestra en la **Figura 42** y que alcanzaría una capacidad de carga para el cultivo de casi 34 t, en donde la duración del ciclo productivo sería de 7 meses.

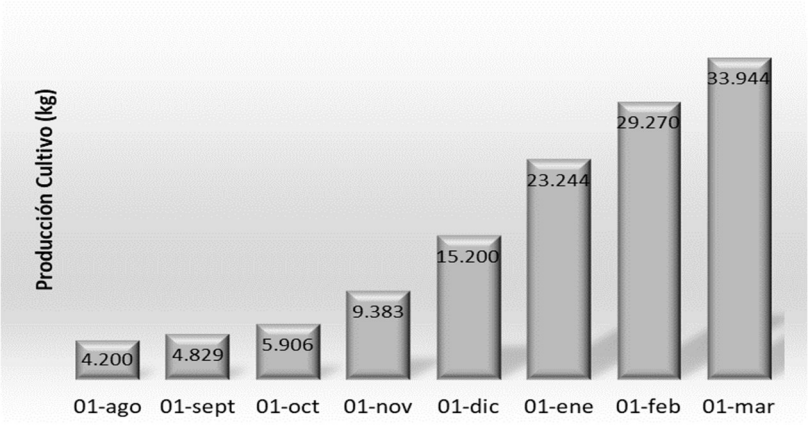


Figura 42. Producción biológica total estimada de ostras en el cultivo experimental con pelillo en la localidad de Pudeto.

Dado que la comercialización de las ostras no necesariamente se hace por kilo, sino que puede formar parte de un mercado donde la venta se hace por individuos fue necesario contar con un mecanismo para transformar la biomasa a longitud individual. Para esto, se utilizó información auxiliar generada en la Etapa 3 del programa, la cual es presentada en la **Figura 43**. Adicionalmente, se contó con

información recopilada en el transcurso de 2020 que pudo medir la mortalidad natural en el cultivo. La ecuación que describe el cambio en el número de individuos en una bolsa está dada por

$$N_{t+1} = N_t \cdot e^{-M}$$

Donde M es la mortalidad natural (M = 0,0125 mes^{-1}).

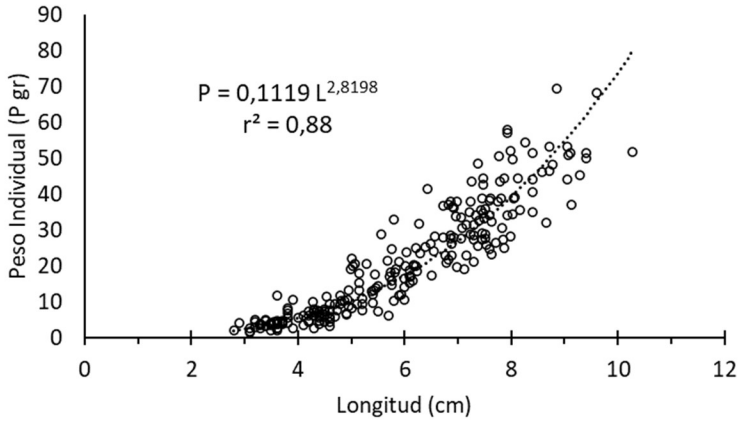


Figura 43. Relación longitud – peso para el recurso ostra japonesa en la localidad de Pudeto.

Así, al momento del cierre del ciclo en marzo cada individuo mide aproximadamente 8,4 cm de longitud y ~ 22 individuos hacen un kilo aproximadamente (Tabla 3 – **Anexo 1**). La **Figura 44** muestra el desempeño económico del cultivo. Se observa que a partir del cuarto mes de cultivo el ingreso neto es positivo y alcanza su valor más alto al final del ciclo con un valor aproximado de MM$ 47.

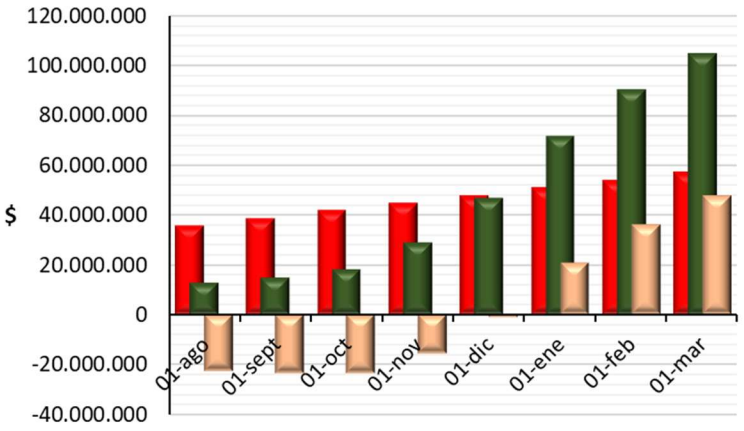


Figura 44. Resultados económicos para el cultivo de ostras en la localidad de Pudeto. Costos totales (barras rojas), ingreso total (barras verdes) e ingreso neto (barras doradas).

Eventualmente este valor podría incrementarse si en vez de venderse a plantas procesadoras se destina a la venta al detalle donde el precio por individuo es más alto (Tabla 3 – **Anexo 1**). Así, en este último escenario el ingreso neto podría incrementarse hasta MM$ 209. El ingreso neto positivo se explica por el menor costo medio observado hacia el final del ciclo (**Figura 45**) el cual genera un excedente económico positivo con un margen de aproximadamente $1.681 por kilo producido.

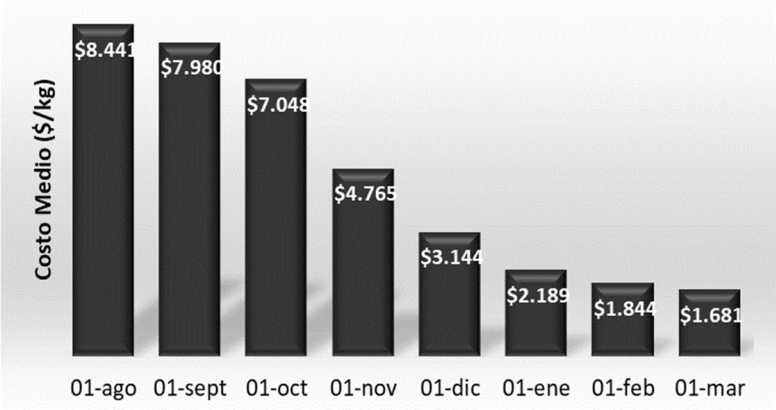


Figura 45. Resultados de costo medio de producción ($ / kg) para el cultivo de ostras en la localidad de Pudeto.

En términos del análisis de costo medio (**Figura 46**), el principal ítem de costo para este cultivo lo constituye el valor de la semilla, seguido de sueldos. En este caso el costo de instalación de las estructuras de cultivo, esto es las camillas es cero debido a que este costo está incluido en el costo de la camilla.

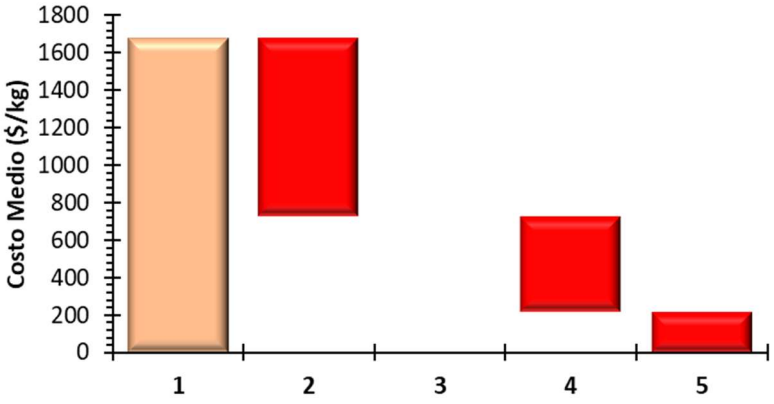


Figura 46. Análisis de costo medio, al tiempo de cosecha óptimo, para el cultivo de pelillo en el tratamiento control en la localidad de Pudeto. (1) Costo medio total; (2) costo de la semilla; (3) costo de instalación sistemas de cultivo; (4) sueldos; (5) depreciación de la camilla.

Análisis de Riesgo

Los resultados del análisis de riesgo (Figura 52 – **Anexo 1**) indican que este cultivo tiene una alta probabilidad de obtener valores de costos medios de producción por debajo del precio de venta del recurso. Cada peso por debajo del precio de venta genera un excedente positivo para el productor. El resultado de los ciclos de Monte Carlo sugiere que la probabilidad más alta para el valor del ingreso neto (Figura 53 – **Anexo 1**) es de MM$ 53 con un 23%. Así, este tipo de cultivo representa el que más altos ingresos es capaz de generar para el productor, en comparación con todas las demás especies analizadas en este informe, independiente de la localidad.

5.1.9.5. Ostra en co-cultivo con pelillo.

La evaluación económica conjunta, es decir, considerando el flujo de caja tanto del cultivo de ostras como la de pelillo se muestra en la **Tabla 4**. Se puede observar que el proyecto es económicamente viable y el VAN estimado es de aproximadamente MM$ 159. Este valor considera la venta del producto cosechado en planta de proceso. En caso de ser vendida al detalle este valor de VAN se incrementa a MM$ 482, esto debido al mayor precio que se obtiene del producto cosechado bajo esta modalidad.

Tabla 4.
Evaluación económica del cultivo de ostra japonesa y pelillo en camillas en la localidad de Pudeto.

	PERIODO EVALUACION					
ITEMS	***Año 0***	***Año 1***	***Año 2***	***Año 3***	***Año 4***	***Año 5***
Costos Fijos						
Inversión	$ -					
Depreciaciones	$ -	$ 7.524.444	$ 7.524.444	$ 7.524.444	$ 7.524.444	$ 7.524.444
Capital de trabajo	$ 2.160.000					
Valor residual	$ -					
Amortizaciones	$ -	$ 2.160.000				
Total	$ 2.160.000	$ 9.684.444	$ 7.524.444	$ 7.524.444	$ 7.524.444	$ 7.524.444
Personal y otros						
Operarios		$ 17.280.000	$ 17.280.000	$ 17.280.000	$ 17.280.000	$ 17.280.000
Total		$ 17.280.000	$ 17.280.000	$ 17.280.000	$ 17.280.000	$ 17.280.000
Costos variables						
Producción						
Semilla		$ 28.272.000	$ 27.200.000	$ 27.200.000	$ 27.200.000	$ 27.200.000
Instalación sistemas de cultivo		$ 1.600.000	$ 1.600.000	$ 1.600.000	$ 1.600.000	$ 1.600.000
Egresos Totales		**$ 29.872.000**	**$ 28.800.000**	**$ 28.800.000**	**$ 28.800.000**	**$ 28.800.000**
Ingresos						
Producción Ostra + Pelillo		$ 108.862.257	$ 107.790.257	$ 107.790.257	$ 107.790.257	$ 107.790.257
Total		**$ 108.862.257**	**$ 107.790.257**	**$ 107.790.257**	**$ 107.790.257**	**$ 107.790.257**
Utilidades Antes Impuesto		$ 78.990.257	$ 78.990.257	$ 78.990.257	$ 78.990.257	$ 78.990.257
Impuesto a las Utlidades (27%)		$ 21.327.369	$ 21.327.369	$ 21.327.369	$ 21.327.369	$ 21.327.369
Utilidades Después Impuesto		$ 57.662.887	$ 57.662.887	$ 57.662.887	$ 57.662.887	$ 57.662.887
Amortizaciones		$ 2.160.000	$ -	$ -	$ -	$ -
Flujo Caja Neto	**$ -2.160.000**	**$ 55.502.887**	**$ 57.662.887**	**$ 57.662.887**	**$ 57.662.887**	**$ 57.662.887**
VAN (16%)	**$159.295.825**					

5.1.9.6. Choro zapato.

Este experimento consistió en la combinación de choro zapato en "camillas" con y sin pelillo. El pelillo estuvo creciendo en cuerdas sostenidas en la patas de las camillas con cajas de choro zapato. Debido a que el alga presentó un pobre desempeño en términos de crecimiento (**Figura 28**, gráfico superior) a continuación, se describe sólo el crecimiento del choro zapato en este cultivo experimental sin pelillo. Hasta el final del periodo de observaciones se evidencia que la mediana de la biomasa estuvo alrededor de 8 kg / caja (**Figura 47**). Este desempeño implica que 5 meses de observación el bivalvo aumentó el doble de peso en cada caja, lo que contrasta con lo observado para el caso del cultivo de ostras que se quintuplicó. Además, dado el precio de venta mucho menor del choro zapato versus el de las ostras se generará un resultado económico que mostrará que es preferible el cultivo de las ostras por sobre el choro zapato.

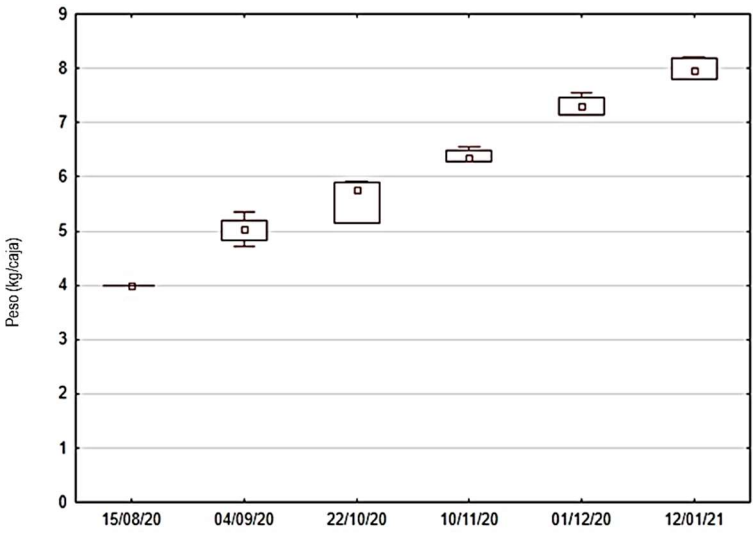


Figura 47 Evolución de la biomasa de choro zapato cultivado en cajas sobre "camilla" en la localidad de Pudeto. El gráfico representa las cajas en el tratamiento sin pelillo ya que para efectos de análisis el crecimiento con pelillo se omitió debido al bajo desempeño de esta alga en este tratamiento. Los bigotes representan el 25% inferior y superior de los datos. La caja el 50% central y el cuadrado dentro de la caja representa el valor de la mediana.

No obstante, el análisis estadístico reveló que eventuales diferencias en el crecimiento de choro zapato al comparar los tratamientos "sin pelillo" y "con pelillo" no son significativas. Para la evaluación se empleó una ANOVA factorial donde la variable dependiente fue el peso de la caja con choro zapato y los factores el tiempo (fechas de muestreo) y el tratamiento (con y sin pelillo). Los resultados (Tabla 20 – **Anexo 1**) indicaron que el intercepto y la fecha fueron significativos; no obstante, el tratamiento y el efecto cruzado (fecha x tratamiento) no fueron significativos, descartándose un efecto del pelillo sobre el rendimiento de choro zapato en biomasa en términos de kg / caja.

La **Figura 48** muestra el comportamiento de la tasa diaria de crecimiento (círculos blancos) y el esperado a través del modelo de producción biológica. A partir de estas proyecciones se espera que el crecimiento se detenga alrededor de los 8 kg de peso por caja.

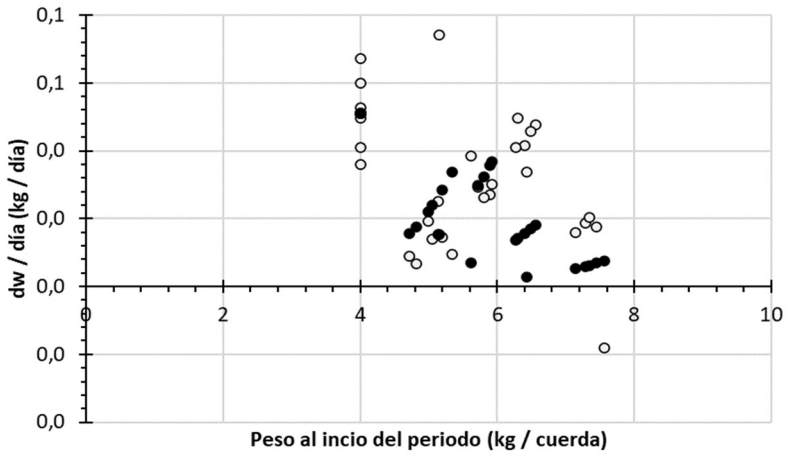


Figura 48. Comportamiento de la tasa de crecimiento de choro zapato (kg / día) en función del peso de la caja al inicio de cada periodo de muestreo. Los círculos negros y blancos representan la tasa de crecimiento esperada y observada, respectivamente.

En este sentido, el modelo de ajuste mostró significancia en ambos parámetros (Tabla 21 – **Anexo 1**). Con estos resultados se construyó la **Figura 49** donde se observa que el modelo de ajuste predice que la biomasa se estabilizará alrededor de los 8 kg/caja.

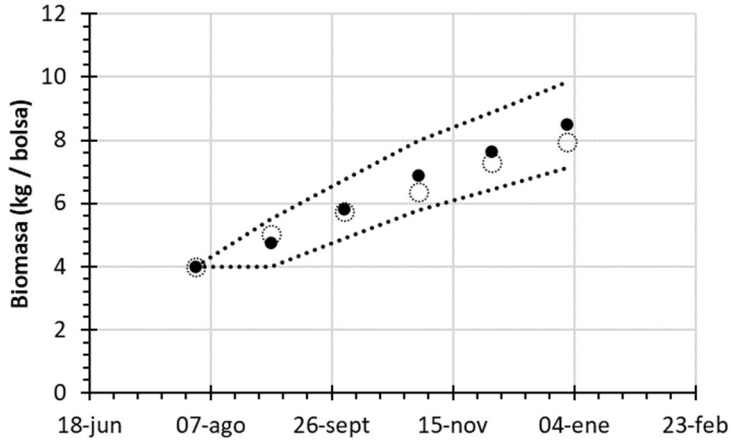


Figura 49. Dinámica de la biomasa estimada por el modelo de ajuste (círculos negros) y la biomasa observada en cada fecha de muestreo (círculos blancos). La línea punteada representa ± 1 desviación estándar.

Como ha sido mencionado anteriormente, los resultados de la **Figura 48** sugieren que el crecimiento se detendría cuando la caja alcance una biomasa de choro zapato de aproximadamente 8 kg. En este punto la tasa de crecimiento se hace cero y así, la biomasa producida por un cultivo productivo (**Figura 50**) alcanzaría un máximo alrededor de las 34 t al cabo de 6 meses de cultivo, permaneciendo estable a partir de ese mes.

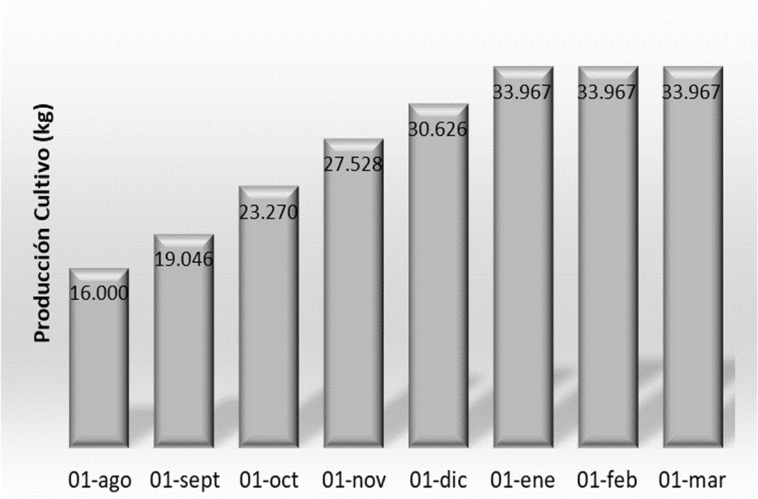


Figura 50. Producción biológica total estimada de choro zapato cultivado en la localidad de Pudeto.

Esta producción acoplada a la información económica (Tabla 4 – **Anexo 1**) indica que este cultivo es rentable (**Figura 51**), pero este resultado está condicionado por los siguientes aspectos: el mayor ingreso neto ocurre entre el cuarto y sexto mes de cultivo, pero el menor costo medio (**Figura 52**) ocurre al primer mes de cultivo Esta situación implica que no es posible cerrar el ciclo el mismo mes de iniciado usando como argumento el menor costo medio, ya que probablemente el producto no reunirá las condiciones exigidas por el mercado. Esto obliga a posponer la decisión de cosecha a una fecha posterior aun cuando el costo medio sea mayor. La ventana de cosecha pudiera situarse hasta enero, último mes donde el costo medio es inferior a los $ 760 kg^{-1} (**Figura 52**). A partir de febrero este costo se acerca a los $ 850 kg^{-1}. Cosechar en enero podría tener la ventaja de mantener el ingreso neto a un nivel similar al hacerlo en noviembre, pero con un producto que muy probablemente sea captado por el mercado. Así, el ingreso neto proyectado sería de alrededor de MM$ 8.

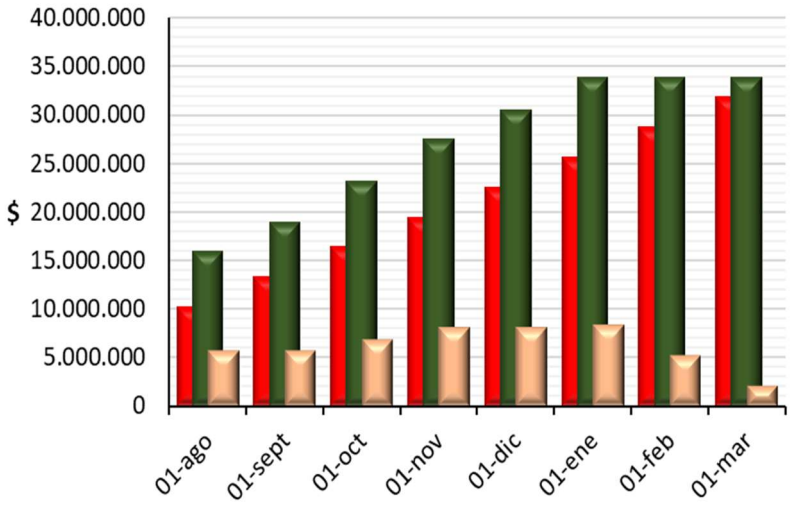


Figura 51. Resultados económicos para el cultivo de choro zapato en la localidad de Pudeto. Costos totales (barras rojas), ingreso total (barras verdes) e ingreso neto (barras doradas).

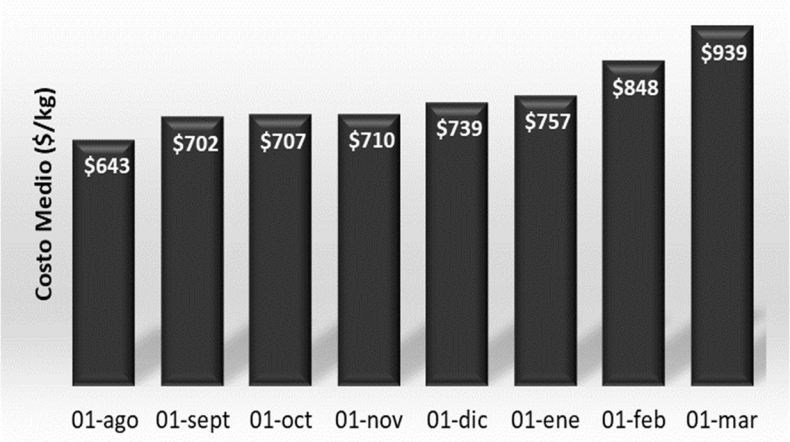


Figura 52. Resultados de costo medio de producción ($ / kg) para el cultivo de choro zapato en la localidad de Pudeto.

La **Figura 53** muestra que los principales ítems que contribuyen al costo medio en enero, al momento de la cosecha, son los costos de la semilla y los sueldos y el costo medio sería de $ 757 kg^{-1}.

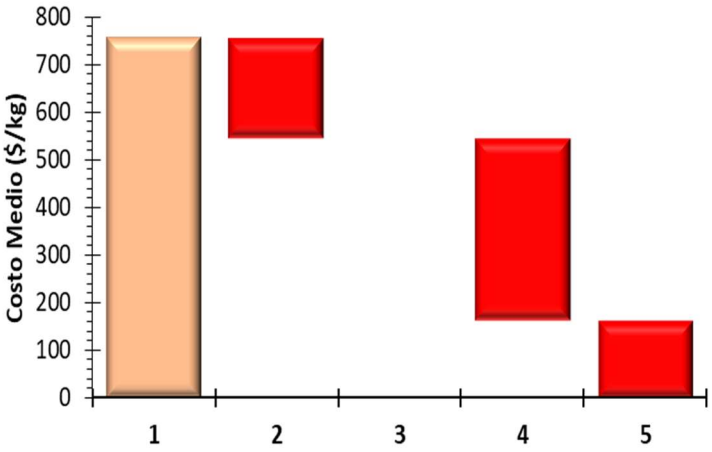


Figura 53. Análisis de costo medio, al tiempo de cosecha óptimo, para el cultivo de choro zapato en la localidad de Pudeto. (1) Costo medio total; (2) costo de la semilla; (3) costo de instalación sistemas de cultivo; (4) sueldos; (5) depreciación de la camilla.

Finalmente, dado que el rendimiento productivo – económico del cultivo de choro zapato es inferior al generado por el cultivo de ostras, es recomendable promover el cultivo de este último, dado que el objetivo es generar el mayor ingreso neto para la organización. En este sentido, ya que el espacio puede ser un recurso limitante para alcanzar el mejor rendimiento económico, y que es mejor decisión cultivar ostras y no choro zapato, es que la evaluación económica de este proyecto no se muestra en los resultados.

Análisis de Riesgo

La esperanza de obtener valores de costo medio por debajo del precio de venta es cercana al 100%, lo que indica que el cultivo es capaz de generar excedentes en todo el rango de valores de producción esperado en el análisis de Monte Carlo (Figura 69 – **Anexo 1**). Así, la probabilidad más alta en el rango de valores de ingreso neto probable está en el orden de los MM$ 8 (Figura 70 – **Anexo 1**).

5.1.10. Modelación bio-económica Quinchao.

5.1.10.1. Chicoria en sistema plansa.

Los resultados muestran que con el tiempo las biomasas por cuerda tienden a igualarse (**Figura 54**). En efecto, a pesar de las densidades iniciales diferentes (0,5 y 0,25 kg / cuerda) en el muestreo de noviembre se evidenció que las medianas de la biomasa eran similares en ambos tratamientos (~ 1,2 kg / cuerda). Incluso en el muestreo de diciembre fue evidente una menor biomasa en el cultivo experimental de alta densidad.

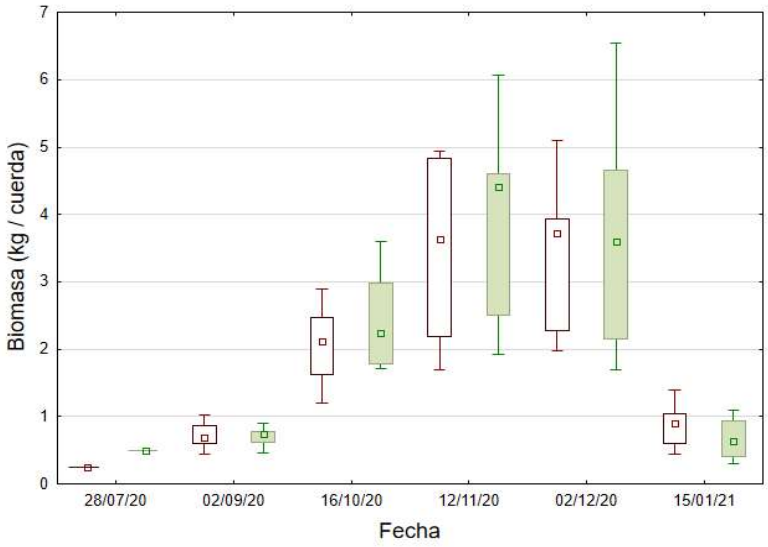


Figura 54. Evolución de la biomasa de chicoria. La figura muestra la biomasa en el tiempo en el tratamiento de alta (en color verde) y baja densidad (en color marrón) de chicoria. Los bigotes representan el 25% inferior y superior de los datos. La caja el 50% central y el cuadrado dentro de la caja representa el valor de la mediana.

El análisis estadístico (ANOVA factorial) mostró que el efecto del tratamiento sobre la variable de biomasa no fue significativo (Tabla 22- **Anexo 1**) aunque el efecto cruzado entre la variable tiempo y tratamiento si lo fue. Esto es producto de la diferencia inicial (densidad de siembra) en ambos tratamientos, aunque con el tiempo finalmente ambas biomasas convergen a valores similares. Por esta razón se mostrarán a continuación los resultados basados en el tratamiento de baja densidad, ya que de este modo se genera un ahorra en el costo de la semilla. Esto es, aun sembrando con una menor densidad el resultado productivo es el mismo que en el tratamiento de alta densidad. Esto se refleja en las tasas de crecimiento (Figura 72 – **Anexo 1**) donde se observa que el tratamiento de baja densidad mostró una tendencia a generar mayores tasas que las observadas en el tratamiento de alta densidad. Este efecto provoca que las biomasas / cuerda tiendan a parecerse en los muestreos finales. El modelo de ajuste para la tasa de crecimiento diaria fue significativo sólo para uno de los dos parámetros del modelo (Tabla 23 – **Anexo 1**). A partir de estos resultados se pudo reproducir en tendencia y magnitud los valores observados (**Figura 55**). De acuerdo con el ajuste, la biomasa máxima esperada por cuerda sería de aproximadamente 1 kg cuerda^{-1}, que es la biomasa alcanzada a la cual la tasa de crecimiento se hace cero. Más allá de ese peso la tasa diaria se torna negativa y el alga pierde tejido.

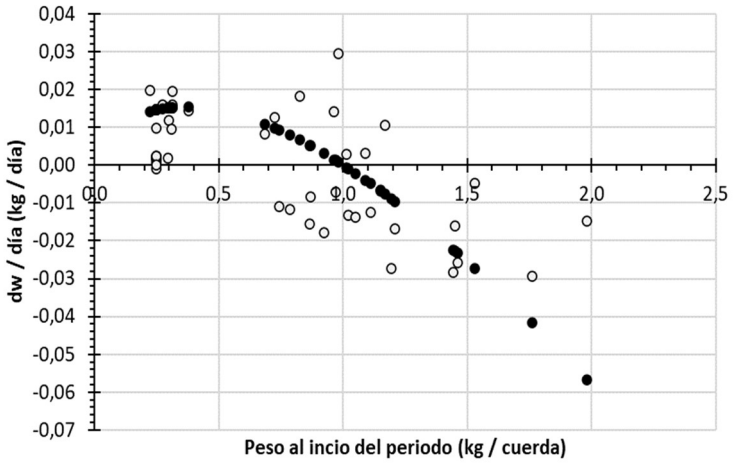


Figura 55. Resultados de la tasa de crecimiento observada (círculos blancos) y las esperada por el modelo (círculos negros) para chicoria en cultivo en plansa en la localidad de Quinchao.

Así se pudo estimar la dinámica de la biomasa en el tiempo de cultivo (**Figura 56**) y extrapolando estos valores a la totalidad del cultivo se puede esperar una producción máxima de 3,7 ton al cuarto mes de cultivo (**Figura 57**). Esta producción contrasta con las 14 t obtenidas en la simulación del cultivo de esta misma alga en la localidad de Dalcahue, lo que habla de la baja productividad en la zona de Quinchao.

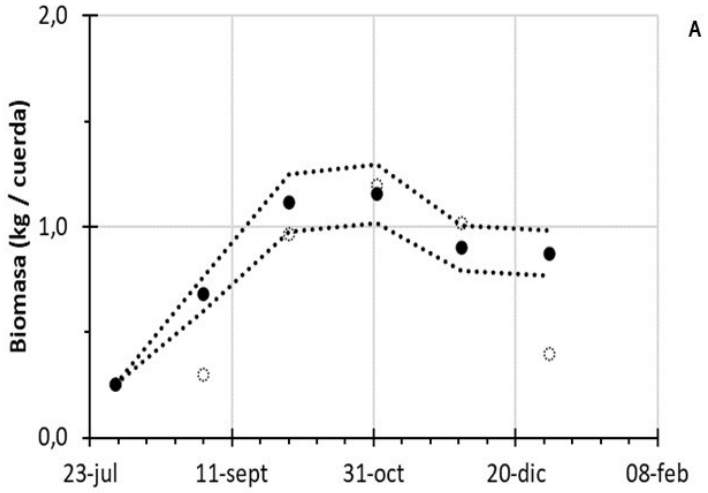


Figura 56. Dinámica de la biomasa por el modelo de ajuste (círculos negros) y la biomasa observada en cada fecha de muestreo (círculos blancos). La línea puntada representa ± 1 desviación estándar.

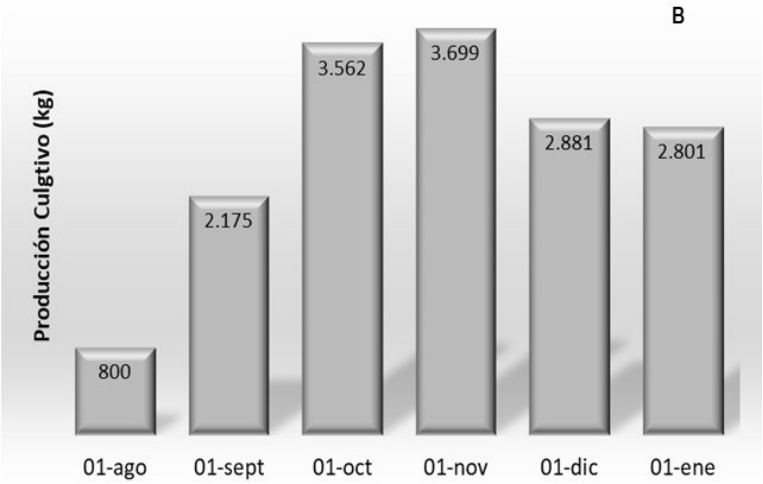


Figura 57. Producción biológica total estimada de chicoria cultivado en la localidad de Quinchao.

La baja productividad del ciclo más los costos asociados al cultivo (Tabla 1 – **Anexo 1**) llevan a que este cultivo no sea rentable, obteniendo valores negativos durante todo el periodo de cultivo (**Figura 58**). Esto se debe al hecho de que el costo de producción es siempre mayor que el precio de venta del alga (**Figura 59**). El valor de costo medio más bajo esperado es de $ 1.163 que es casi el doble del precio de venta.

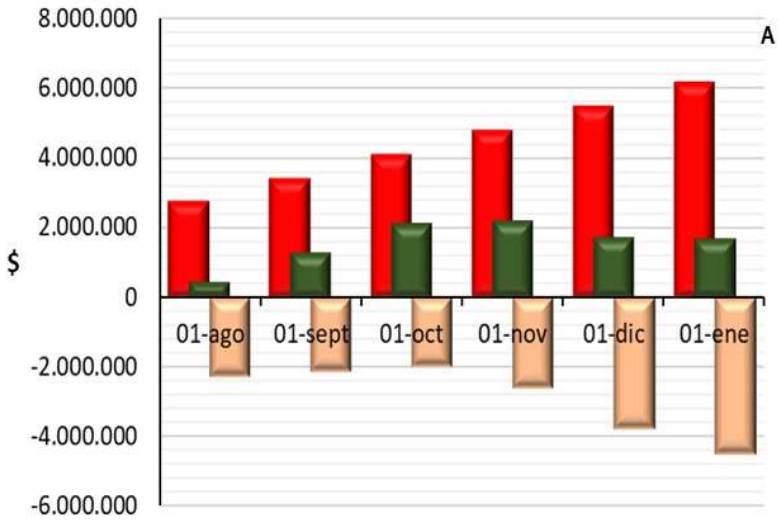


Figura 58. Resultados económicos para el cultivo de chicoria en la localidad de Quinchao. Costos totales (barras rojas), ingreso total (barras verdes) e ingreso neto (barras doradas).

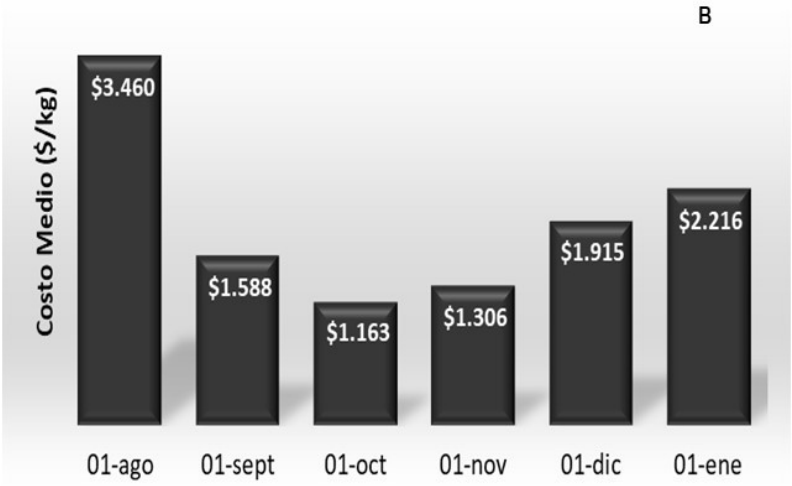


Figura 59. Resultados de costo medio de producción ($ kg^{-1}) para el cultivo de chicoria en la localidad de Quinchao.

Los costos más alto que indicen en el costo medio son los de instalación de las plansas y los sueldos (**Figura 60**).

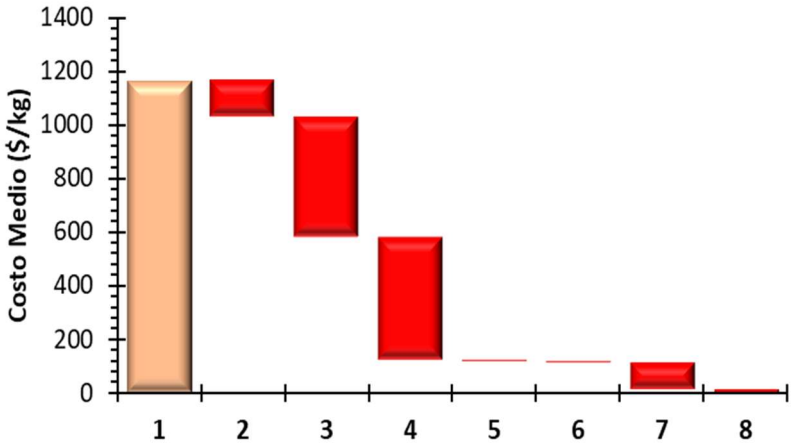


Figura 60. Análisis de costo medio para el cultivo de chicoria en la localidad de Quinchao en la modalidad de plansa al tiempo de cosecha óptimo. (1) Costo medio total; (2) costo de la semilla; (3) costo de instalación sistemas de cultivo; (4) sueldos; (5) depreciaciones líneas de fondo; (6) depreciación fondeos; (7) depreciación plansa; (8) depreciación del reticulado.

Con base a los resultados de este ciclo de producción el cultivo de chicoria en esta localidad no sería recomendable.

Análisis de Riesgo.

El análisis mostrado en la Figura 79 – **Anexo 1** es claro en mostrar que la probabilidad de obtener un valor de costo medio inferior al precio de venta es cero, por lo cual existe cero probabilidades de generar ingresos netos iguales o mayores a cero (Figura 80 – **Anexo 1**).

5.1.10.2. Pelillo en sistema plansa.

Al igual que en el caso anterior del cultivo experimental de chicoria, en este caso de pelillo las diferencias observadas en los primeros meses del cultivo tienden a desaparecer hacia el final del periodo observado (**Figura 61**), cuando el peso por cuerda se estabiliza alrededor de 1,5 - 1,8 kg / cuerda. Este nivel es el máximo observado en ambos tratamientos, ya que en el muestro posterior la biomasa cae a niveles de 0,5 kg / cuerda.

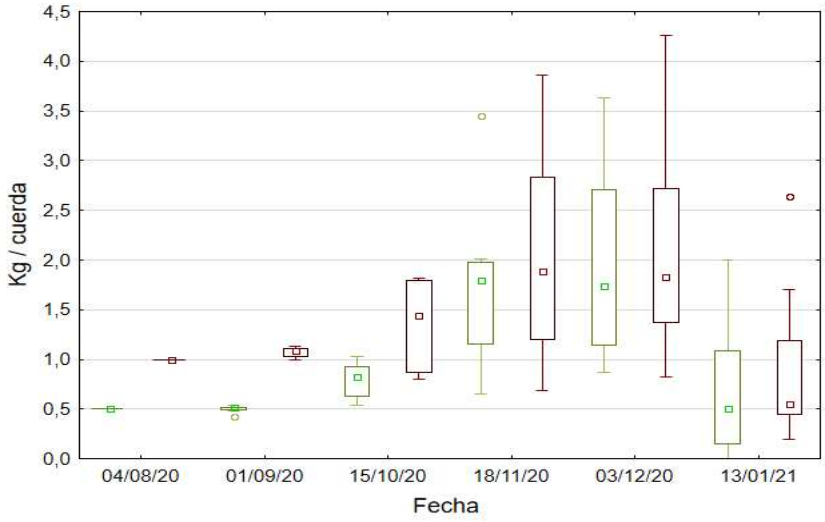


Figura 61. Evolución de la biomasa de pelillo. La figura muestra la biomasa en el tiempo en el tratamiento de alta (barras verdes) y baja densidad (barras marrones). Los bigotes representan el 25% inferior y superior de los datos. La caja el 50% central y el cuadrado dentro de la caja representa el valor de la mediana.

El análisis estadístico revela lo anterior (Tabla 24 – **Anexo 1**). En efecto, aunque Fecha y Tratamiento resultan significativos en la variable kg / cuerda, el efecto cruzado de ambas variables no es significativo. Lo anterior implica que en algún momento del cultivo la tasa de crecimiento en el cultivo de baja densidad a pesos menores superó a lo observado en el cultivo experimental de alta densidad (Figura 82 – **Anexo 1**) lo que permite alcanzar producciones equivalentes a lo observado en el cultivo de alta densidad. Dado que finalmente el cultivo de baja densidad ofrece los mismos resultados productivos que el de alta densidad (Tabla 25; $p > 0,05$ – **Anexo 1**) para efectos del análisis productivo

– económico es preferible usar estos resultados ya que generan un ahorro en términos del costo de semilla. Por este motivo, a continuación, se presentan los resultados bajo este escenario.
Con estos resultados se genera el siguiente comportamiento productivo en un cultivo (**Figura 62**). Se observa que la capacidad productiva máxima se alcanza al cuarto mes de iniciado el cultivo con un total de alrededor de 5 ton.

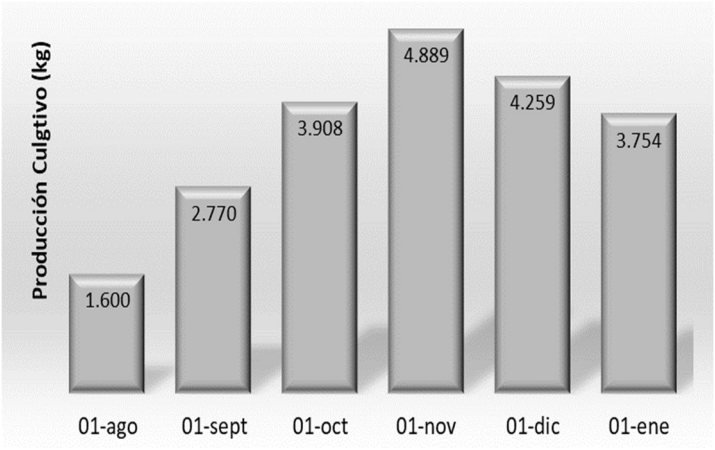


Figura 62. Producción biológica total estimada de pelillo en plansa cultivado en la localidad de Quinchao.

Al combinar el resultado productivo con las variables económicas (Tabla 1 – **Anexo 1**), el resultado indica que el cultivo no es rentable en ningún punto del ciclo (**Figura 63**). Como se mencionó anteriormente en relación con el cultivo de pelillo, su bajo precio condiciona que este cultivo genere muy bajos rendimientos económicos los que, comparados con los costos hacen que su cultivo no sea recomendable.

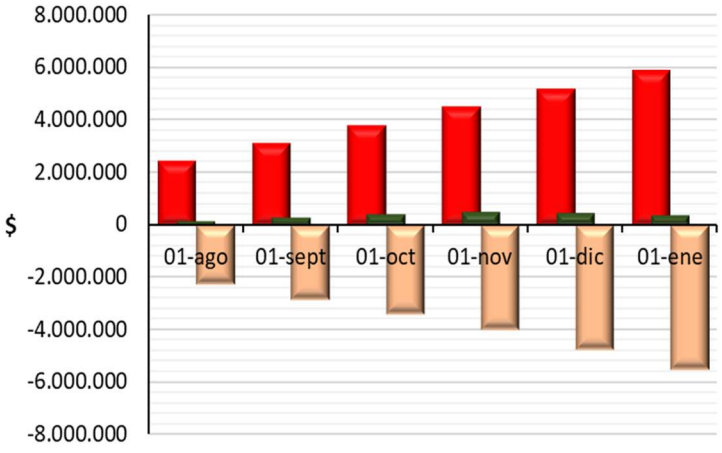


Figura 63. Resultados económicos para el cultivo de pelillo en la localidad de Quinchao. Costos totales (barras rojas), ingreso total (barras verdes) e ingreso neto (barras doradas).

El costo medio de producción siempre es superior al precio de venta por kilo (**Figura 64**) y si bien se observa un costo medio por kilo menor en noviembre, éste es $ 823 más alto que su precio de venta (aprox. $100).

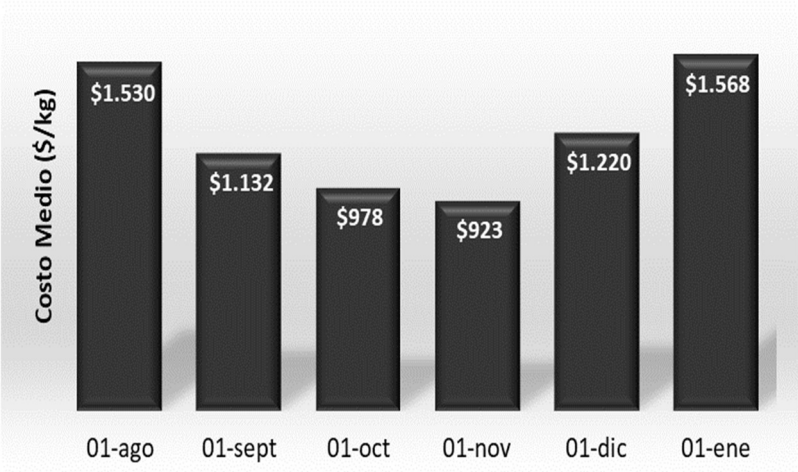


Figura 64. Resultados de costo medio de producción ($ / kg) para el cultivo de pelillo en plansa en la localidad de Quinchao.

Los ítems que más contribuyen al costo medio (**Figura 65**) son instalación de sistemas, sueldos y depreciación de las plansas.

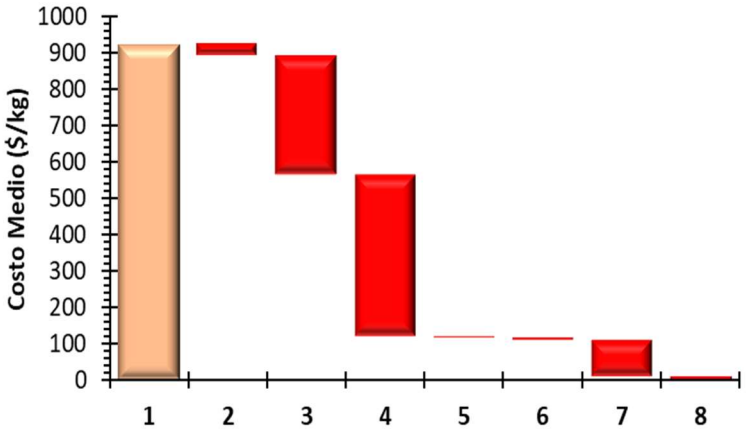


Figura 65. Análisis de costo medio para el cultivo de pelillo en la localidad de Quinchao en la modalidad de plansa al tiempo de menor costo medio por kilo. (1) Costo medio total; (2) costo de la semilla; (3) costo de instalación sistemas de cultivo; (4) sueldos; (5) depreciaciones líneas de fondo; (6) depreciación fondeos; (7) depreciación plansa; (8) depreciación del reticulado).

En consecuencia, basado en los resultados expuestos, este cultivo no es recomendable.

Análisis de Riesgo.

La probabilidad de obtener costos medios de producción que se acerquen al precio de venta del recurso es cero para el cultivo de pelillo en esta localidad (Figura 87 – **Anexo 1**). En este escenario la probabilidad de generar ingresos netos positivos tampoco es factible y se generan sólo ingresos negativos (Figura 88 – **Anexo 1**), aun en el tiempo donde el costo medio de producción es el menor, pero que supera con creces el precio de venta del recurso (**Figura 64**).
Dicho lo anterior, basados en el desempeño de los ciclos productivos del yearclass 2019 y 2020, el cultivo de pelillo en esta localidad no es económicamente recomendable.

5.1.11. Esquema de producción continua tipo portafolio.

El sentido de esta actividad es generar un portafolio anual que permita la siembra de varias especies y su cosecha a diferentes tiempos, logrando de esta manera una actividad productiva que genere ingresos a lo largo del año. La condición de borde para la construcción del portafolio fue que las distintas especies involucradas fueran aquellas de mejor desempeño económico estimados entre las distintas localidades estudiadas en esta Etapa. El supuesto básico es que el portafolio se construiría asumiendo que, independiente de la localidad donde se hizo el cultivo, todas las especies estarían siendo cultivadas simultáneamente en una localidad hipotética.
De las diez experiencias de cultivo (**Tabla 5**) sólo en cuatro de ellas se obtuvieron ingresos netos positivos, los que permitieran pensar en la especie como partícipe del portafolio. Tres de ellas en la localidad de Pudeto y una en Dalcahue.

Tabla 5.
Resultados de ingresos netos (+ o -) por localidad, tipo de cultivo y especie.

Localidad	Tipo de cultivo	Especie	Ingreso Neto
Dalcahue	Plansa	Chicoria	+
	Plansa	Pelillo	-
	Balsa	Chorito	-
	Balsa	Pelillo	-
Pudeto	Camilla	Ostra	+
	Camilla	Choro zapato	+
	Estacas	Pelillo	-
	Camilla	Pelillo	+
Quinchao	Plansa	Chicoria	-
	Plansa	Pelillo	-

Un portafolio hipotético, que considere a las especies económicamente atractivas (al menos que presenten un ingreso neto positivo) con sus tiempos óptimos de cosecha de acuerdo con el momento

donde ocurre el menor costo medio de producción, siendo sembradas en julio de cada año, se muestra en la **Figura 66**.

Figura 66. Portafolio hipotético basado en los resultados económico – productivo obtenidos en la Etapa IV del Programa APE. Las flechas azules representan al mes de siembra; las amarillas a los meses de cultivo y las rojas al mes de cosecha. Las blancas, por su parte, son meses donde no se desarrollan actividades de cultivo o no se dispone aún de antecedentes que permitan realizar modelamiento.

Así, cada especie bajo cultivo puede generar cosechas en meses diferentes, generando un flujo de ingresos entre julio – marzo de cada año. En octubre-noviembre se cosecharía chicoria de mar, en noviembre choro zapato, en diciembre pelillo y en marzo ostras. Este último recurso podría generar aún mayores ingresos al portafolio debido a que el tiempo de cosecha podría sr en la temporada de Semana Santa, donde regularmente los precios de venta son más altos.
Sin embargo, el portafolio indicado presenta a lo menos tres problemas para su implementación: (a) de espacio, b) costo de oportunidad y c) espacio - costo de oportunidad.

a) ***Problema de espacio***: el cultivo de chicoria está pensado realizarse en un sistema de plansa en una concesión de columna de agua, mientras que el de ostras, pelillo y choro zapato está pensado hacerse en un sistema de camilla en una concesión de orilla. Aunque son factibles de llevar a cabo y sus ingresos netos son sumables el problema surge cuando legalmente una organización no puede optar a una superficie mayor a las 10 hectáreas para ser considerada como orientada a un cultivo de pequeña escala. Con la finalidad de mantener la estructura del portafolio, esto obligaría a subdividir el espacio limitante para la organización entre una concesión que permita el cultivo suspendido en plansa y una concesión de orilla para el cultivo en camillas. Aunque esto pueda ser abordable genera un segundo problema.
b) ***Problema de Costo de Oportunidad***: esta dificultad surge del hecho que los resultados sugieren que el cultivo que más ingresos puede generar a la organización es el de ostras. Así al destinar superficie de la concesión al cultivo suspendido de chicoria menos camillas con ostras pueden ser

utilizadas para el cultivo de orilla, lo que genera una pérdida de oportunidades para la organización. Por cada metro cuadrado orientado al cultivo de chicoria la organización debe renunciar a una parte del ingreso derivado de su principal especie: las ostras. Esta situación pudiera hacer que la organización decida renunciar al cultivo de chicoria en cultivo suspendido para mantener el ingreso neto que principalmente deriva del cultivo de las ostras. Esto origina una dificultad en el portafolio ya que una de las especies contempladas en él (chicoria) desaparecería.

c) ***Problema de espacio*** - costo de oportunidad: una combinación de ambos problemas descritos anteriormente surge en el cultivo de orilla, basado en camillas. Con la finalidad de cultivar choro zapato una camilla de ostras con pelillo debe ser sacrificada originando una pérdida de oportunidades de ingreso para la organización, esto debido a que el elemento limitante, el espacio, debe permitir la coexistencia de ambas especies en cultivo. Cada camilla de ostras genera un ingreso neto a la organización de M$ 132, mientras que una de choro zapato solo aporta M$ 17. Esto significa que, por cada camilla de ostras sacrificada, la organización deja de percibir M$ 115. A esto habría que sumarle M$ 4 que aporta el cultivo de pelillo asociado a la camilla de ostras, lo que hace una pérdida de M$ 119 por cada camilla de ostra que no entra al sistema por darle un espacio a una camilla con choro zapato.

Asumiendo que los problemas anteriores no existieran, entonces el resultado del portafolio tal cual está descrito en la **Figura 66** sería tal como se describe en la **Figura 67**, con un valor más probable de MM$ 62,5 gran parte del cual es aportado por el cultivo de ostras (~ 80%).

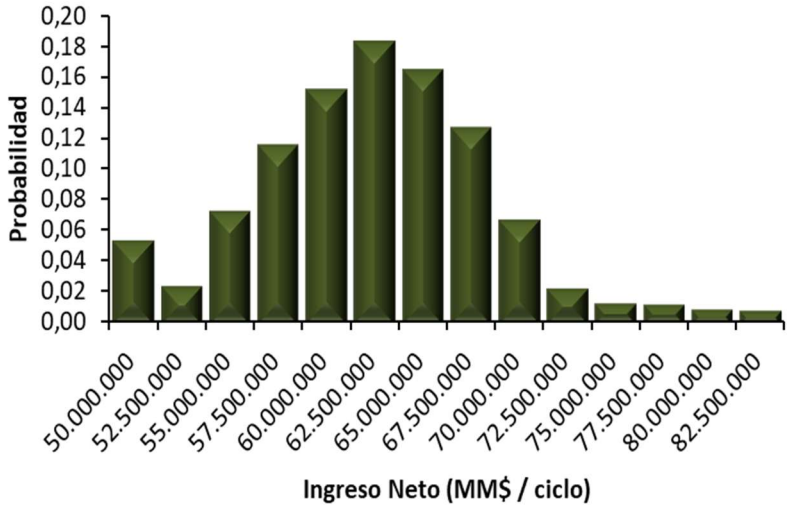


Figura 67. Probabilidad de ocurrencia de distintos valores de ingreso neto obtenidos para el portafolio en las iteraciones de Monte Carlo.

En términos del análisis de riesgo, la **Figura 68** refleja el espectro de resultados. La probabilidad de que el valor resultante esté entre los MM$ 50 y MM$ 70 disminuye drásticamente de 93 % a 10%. Existe alrededor de un 60% que el resultado económico de los ciclos cerrados de un yearclass

genere un ingreso neto igual o mayor de MM$ 61. Aunque hay probabilidad de que el ingreso neto del portafolio sea menor a MM$ 50 o mayor de MM$ 70 estas probabilidades son bajas.

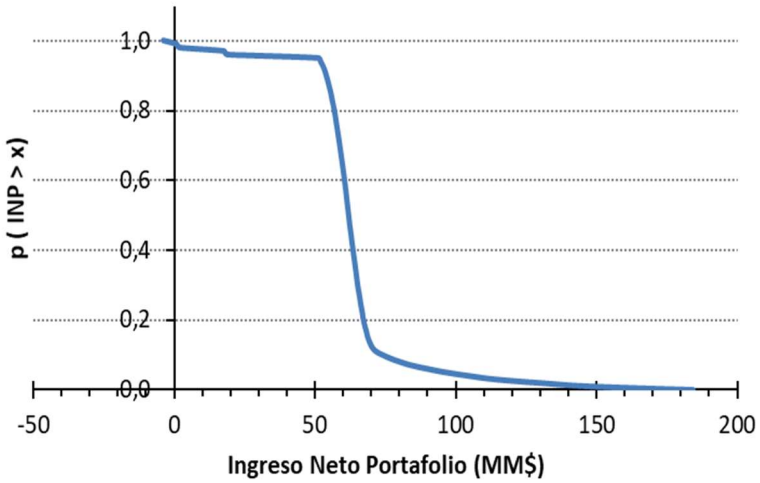


Figura 68. Análisis de riesgo. El eje de las ordenadas muestra la probabilidad de obtener un ingreso neto del portafolio (INP) igual o mayor que un valor de INP en el eje de las abscisas.

En consecuencia, el portafolio indica una alta probabilidad de generar un ingreso anual superior a los $MM 50 para la organización, considerando un total de cuatro especies en los tiempos de siembra y cosecha señalados en la **Figura 66** e ignorando los problemas señalados de espacio y de costo de oportunidad.

5.2. Diagnóstico de dinámicas socio-organizacionales que determinan la adopción de prácticas APE por parte de OPA

5.2.1. Modelo analítico para identificar y definir los factores sociales y organizacionales

Se realizó una búsqueda de publicaciones relacionadas con la implementación de la acuicultura a pequeña escala en áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos o bien en concesiones de acuicultura. De las publicaciones obtenidas se extrajo, compiló y sistematizó toda aquella información considerada relevante referente al tema de estudio. La información fue utilizada para la confección de un marco conceptual. La revisión de la literatura disponible hasta el presente año se hizo mediante la utilización de la herramienta ISI Web of Science, permitiendo la sistematización y análisis de los trabajos publicados. Para poder sistematizar la información proveniente de las publicaciones se realizó una matriz de búsqueda, la cual fue analizada para confeccionar un marco conceptual en base a los principales resultados. En cada una de ellas se consideró la utilización del término *Organization*. En el contexto del proyecto, fue determinante la aparición tanto del criterio AMERB como TURF (por sus siglas en inglés). Al conjunto de criterios pre-establecidos se añadieron otros que abarcaban el rol social y económico, incluyendo: *Aquaculture; Drive; Economic impact; Fisherman; Innovation; Marine area; Marine protected area; Risk; Small scale; Social benefit; Social factor; Social impact; Socioeconomic; Stakeholder; Sustainable development* (**Tabla 6**). Además, se realizó una multi-combinación entre todos los términos utilizados, cada una de las combinaciones de términos se encuentran resumidas en la **Tabla 6**. Algunas combinaciones de términos no arrojaron resultado alguno. En el otro extremo, el máximo número de publicaciones alcanzaron las 950 conseguida por la combinación de los términos: *Organization, AMERB, TURF* and *Impact*. La suma de todas las publicaciones únicas fue de 1086.
A continuación, se filtró la totalidad de publicaciones descartando todas aquellas que no se encontraban directamente relacionadas con la finalidad de este proyecto, llegando a un total de 26 publicaciones directamente relacionados con el tema de esta investigación (el listado de publicaciones se encuentra en el **Anexo 2**). Luego de haber reducido el número de publicaciones, se compiló y sistematizó el contenido de las publicaciones. Posteriormente, se analizó la información para determinar principalmente las dimensiones y criterios básicos que determinan la implementación de acuicultura a pequeña escala en áreas de manejos y explotación de recursos bentónicos. Como resultado, se determinaron dos dimensiones existentes, entre las cuales se encuentran la dimensión social y la dimensión económica. En la dimensión económica, los criterios que aparecieron con mayor frecuencia fue la mejora económica, seguido inmediatamente por disminución de recursos, esto es causado por la sobreexplotación de recursos provocando la necesidad de una alternativa para mantener o mejorar la propia economía. En la dimensión social, el criterio que con mayor frecuencia apreció fue la aparición de nuevas oportunidades laborales. Cabe destacar que existió una alta variabilidad de criterios. El resumen de los criterios encontrados en las publicaciones se encuentra detallado en la **Tabla 7.**

Como parte de la revisión de la base de datos, a partir de los primeros análisis exploratorios, se confeccionó un modelo conceptual que contuviera las dimensiones y los criterios socio-

organizacionales de éxito: se llevó a efecto un esquema que permitió entender de manera global la relación de causa-efecto, así como de complementariedad tanto positiva como negativa de los criterios socio-organizacionales que juegan un rol importante en la adopción de prácticas asociadas al cultivo de algas en pequeños productores (**Figura 69**).

Tabla 6.

Términos utilizados en la búsqueda reflejada, su respectiva combinación y el número de publicaciones; La siga SSA es definida como Small Scale Aquaculture; S. Development: Sustainable Development; MPA: Marine Protected Areas; (s) corresponde aquellos términos al que se le puede atribuir un pluralismo.

1° Término	2° Término	3° Término	4° Término	5° Término	N
Organization	Socioeconomic	MPA	-	-	19
Organization	Social	AMERB	-	-	2
Organization	Aquaculture	Factor(s)	-	-	12
Organization	AMERB	TURF	Aquaculture	-	4
Organization	Social Impact	Innovation	Aquaculture	-	3
Organization	Social Impact	Marine Area	Aquaculture	-	7
Organization	Risk	MPA	Aquaculture	-	0
Organization	Drives	MPA	Aquaculture	-	0
Organization	S. Development	MPA	Small Scale	-	3
Organization	AMERB	TURF	Socioeconomic	-	27
Organization	Small Scale	Aquaculture	Algae	-	0
Organization	Social Factor	Aquaculture	Small Scale	-	5
Organization	Social Benefit	Small Scale	Aquaculture	-	4
Organization	Aquaculture	Coast	Small Scale	-	2
Organization	AMERB	TURF	SSA	-	7
Organization	AMERB	TURF	Impact	-	950
Organization	Factor(s)	MPA	Innovation(s)	-	1
Organization	S. Development	MPA	Small Scale	Social Impact	0
Organization	Social Impact	Small Scale	Aquaculture	Factor(s)	2
Organization	Small Scale	Aquaculture	Algae	Coast	0
Organization	Social Factor	Aquaculture	Aquaculture	Stakeholders	1
Organization	MPA	Small Scale	Aquaculture	Social Benefit	1
Organization	AMERB	TURF	SSA	Driver	0
Organization	AMERB	TURF	SSA	Economic Impact	0
Organization	AMERB	TURF	SSA	Social Impact	1
Organization	Fisherman	Aquaculture	Small Scale	Social Impact	3
Organization	Fisherman	AMERB	TURF	Aquaculture	20
Organization	Fisherman	AMERB	TURF	Impact	2
Organization	Fisherman	Aquaculture	Small	Coast	0
Organization	AMERB	TURF	Factor	Social Impact	10

Tabla 7.
Identificación de dimensiones y criterios definidos a partir de las publicaciones seleccionadas.

Autor	Año	Dimensión/Criterio					
		Rol Económico			Rol Social		
Castilla, J	1998	Mejora económica	Disminución de recursos	-	Supervivencia	Abastecimiento alimenticio propio	-
Barret, G	2002	Mejora económica	Disminución de recursos	Ingreso continuo	Sostenibilidad social	Mejorar nivel de vida	Oportunidades laborales
Himes, A	2003	-	Disminución de recursos	-	-	-	-
Katranidis, S	2003	Mejora económica	Disminución de recursos	Mejora económica	-	Abastecimiento alimenticio propio	Oportunidades laborales
Scholz, A	2004	-	-	-	Oportunidades laborales	Oportunidades educativas	-
Beger, M	2005	-	Disminución de recursos	-	Empoderamiento de la población	-	-
Cristie, P	2005	Mejora económica	-	-	-	-	-
Defeo, O	2005	Mejora económica	Disminución de recursos	-	Fortaleza sindical	-	-
Johnston, R	2008	Mejora económica	-	-	Aumento del interés en acuicultura	-	-
Azad, A	2009	Mejora económica	-	-	Oportunidades laborales	-	-
Zuñiga, S	2010	-	-	-	-	-	-
Adams, V	2011	-	Disminución de recursos	-	-	-	-

Aburto, J	2013	Mejora económica	Disminución de recursos	-	-	-	-
Aburto, J	2013	Mejora económica	-	-	Mejorar nivel de vida	Fortaleza sindical	Seguridad laboral
Slater, M	2013	Mejora económica	-	-	Abastecimiento alimenticio propio	-	-
Vasquez, F	2013	Mejora económica	Disminución de recursos	-	Aumento desarrollo local	-	-
Bacher, K	2014	Inversión accesible	Disminución de recursos	-	Aumento deseo productos mar	Diversificación de productos	Oportunidades laborales
Bennet, N	2014	-	-	-	-	Diversificación de productos	Oportunidades laborales
Rodriguez, D	2015	Nuevas actividades	-	-	Investigación	-	Oportunidades laborales
Silva, M	2015	-	-	-	-	-	-
Peterson, N	2015	Nuevas actividades	Disminución de recursos	-	-	-	-
Gelcich, S	2016	-	-	-	Mejorar el sistema AMERB	-	-
Mizrahi, M	2018	Mejora económica	-	-	Modernización	Urbanización	-
Salazar, C	2018	Mejora económica	-	-	Oportunidades laborales	-	-
Henriquez, L	2019	Inversión accesible	Valor agregado	Nuevas actividades	Transformación socio-cultural	Facilidad de producción	-
Sepúlveda, C	2019	Mejora económica	-	-	-	-	-

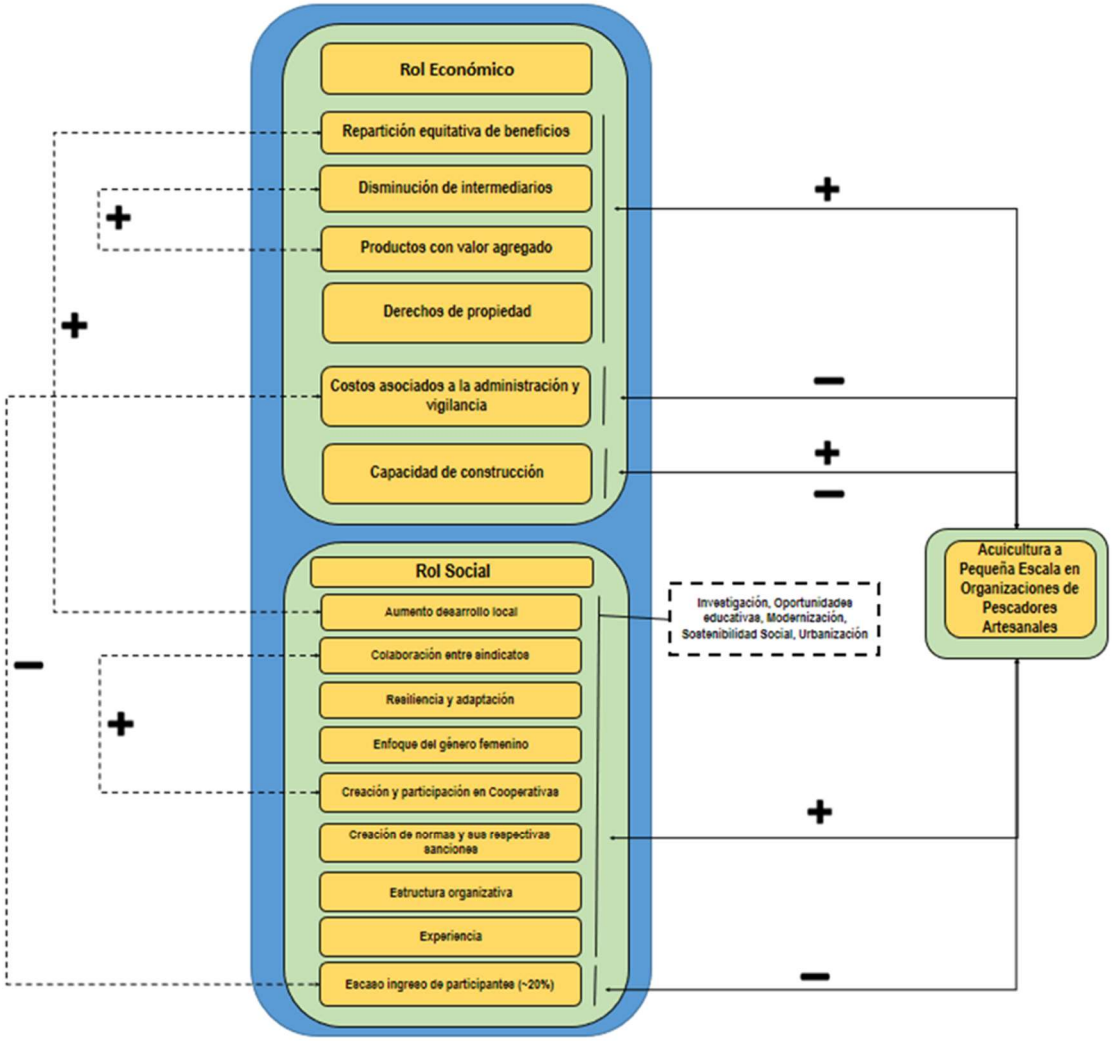


Figura 69. Modelo conceptual con las dimensiones y los criterios socio-organizacionales y la relación de causa-efecto, así como de complementariedad de las dimensiones y los criterios socio-organizacionales.

Posteriormente, se elaboró un modelo analítico para identificar y definir los factores sociales y organizacionales que determinan la viabilidad de adoptar practicas APE por Organizaciones de Pescadores Artesanales (**Tabla 8**). En base al marco conceptual previamente elaborado, se definieron 2 dimensiones (económica y social), 15 criterios y 33 variables. Para una de estas variables fue posteriormente operacionalizada en una o más preguntas para ser incorporadas en un instrumento de levantamiento de información relevante (i.e. cuestionario).

Tabla 8.
Dimensiones, criterios y variables para evaluar la viabilidad de adoptar practicas APE por Organizaciones de Pescadores Artesanales a lo largo del país. Número entre paréntesis son notas explicativas incluidas al final de la tabla.

Dimensión	Criterio	Definición	Variable	Direccionalidad	Escala
Económica	Equidad en la distribución de los beneficios	Distribución equitativa de los beneficios generados en las áreas de manejo, considerando el esfuerzo realizado por cada uno de los socios (a)	Forma de distribución equitativo de los beneficios	No aplica	Pregunta abierta
Económica	Presencia de intermediarios	Presencia de intermediarios en la cadena de comercialización (b)	Número de intermediarios en la cadena de comercialización	Disminuir	Numérica
			Evaluación sobre precio justo en la relación con los intermediarios	Aumentar	Likert
Económica	Productos con valor agregado	Desarrollo de procesos para aumentar el valor agregado de los recursos	Presencia de procesos para aumentar el valor agregado de los productos	Aumentar	Numérica
			Tipo de procesos para aumentar el valor agregado de los productos	No aplica	Descriptiva
Social	Derechos de propiedad	Tipo de derechos de propiedad sobre el área de extracción de los recursos	Tipo de derecho de administración sobre un área para desarrollar acuicultura	No aplica	Descriptiva
			Tipo de recursos extraídos en el área	No aplica	Descriptiva

Económica	Costos e ingresos asociados a la administración y vigilancia	Costos e ingresos de la organización en la administración, operación y vigilancia de la zona de extracción **(c)**	Costos asociados a la administración de la AMERB	Disminuir	Numérica
			Ingreso derivados de la administración del área a	Aumentar	Numérica
			Evaluación respecto al costo-beneficio de la AMERB	Aumentar	Likert
Económica	Recursos económicos para instalar infraestructura de cultivo	Disponibilidad para utilizar recursos económicos para instalar infraestructura de cultivo **(d)**	Presencia de recursos disponibles para instalar infraestructura de cultivo		Dicotómica
			Nivel de disposición a gastar recursos económicos para desarrollar proyectos de acuicultura	Aumentar	Likert
Social	Dependencia del área	Importancia de la AMERB o concesión para el desarrollo local de la comunidad o caleta	dependencia del área para el desarrollo local de la comunidad o caleta	Aumentar	Likert
			Dependencia de la pesca para el desarrollo local de la comunidad o caleta		
Social	Colaboración con otros sindicatos	Colaboración entre sindicatos para la compra de insumos y venta de recursos	Número de sindicatos con cuales la organización colabora	Aumentar	Numérica
			Grado de disposición a colaborar con otros sindicatos en un proyecto de acuicultura	Aumentar	Likert
			Número de cooperativas, asociaciones y/o federaciones en los cuales se participa	Aumentar	Numérica
			Evaluación sobre la importancia de participar en asociaciones y/o federaciones	Aumentar	Likert
Social	Experiencia práctica	Experiencia en actividades de acuicultura de algas a pequeña escala	Cantidad de veces en que se ha participado acuicultura de algas a pequeña escala	Aumentar	Numérica

			Necesidad de un apoyo externo para ser parte de un proyecto de acuicultura (grado de autonomía)	Disminuir	Likert
			Evaluación sobre el éxito de la experiencia	Aumentar	Likert
Social	Experiencia teórica	Participación en cursos o programas de formación para acuicultura a pequeña escala	Cantidad de cursos y/o programas de formación en cual se ha participado	Aumentar	Numérica
			Evaluación sobre la utilidad de los cursos	Aumentar	Likert
Social	Capacidad de reconversión	Capacidad para transitar de pescadores a cultivadores	Grado de disposición en la transición pescador-acuicultor	Aumentar	Likert
Social	Enfoque del género femenino	Número de socias mujeres en la organización	Número de socias mujeres presentes en el sindicato	Aumentar	Numérica
			Disposición para generar participación e inclusión de mujeres en la organización	Aumentar	Likert
Social	Normas y sanciones	Existencia de reglas, normas y sanciones en la organización	Grado de satisfacción con las reglas, normas y sanciones establecidas	Aumentar	Likert
			Aplicación de las sanciones cuando corresponda		Dicotómica
Social	Interés en participación	Interés de los socios por participar en actividades relacionadas a la acuicultura	Porcentaje de socios que se espera participen de las actividades de acuicultura	Aumentar	Porcentaje
			Disposición de la directiva para liderar un proyecto de acuicultura	Aumentar	Likert
			Motivos para ser parte de un proyecto de acuicultura	No aplica	Descriptiva
			Evaluación sobre la importancia de realizar proyectos de acuicultura	Aumentar	Likert

Social	Resiliencia y adaptación	Capacidad de la organización para sobreponerse a eventos adversos	Evaluación sobre la capacidad de la organización para sobreponerse a eventos adversos	Aumentar	Likert

(a) No hay claridad respecto a si una mayor o menor distribución equitativa se relaciona con la viabilidad de adoptar prácticas APE por OPA. Es posible que en algunas organizaciones en que la repartición de los beneficios considera la intensidad del esfuerzo realizado por los pescadores genere incentivos para ser parte de proyectos de acuicultura. Po lo tanto, esta variable no será considerada para la priorización de las organizaciones. Sin embargo, se considera importante incluirla como parte del cuestionario y así registrar la forma de distribución de los beneficios.
(b) En principio se parte del supuesto que si hay un menor número de intermediarios en la cadena de comercialización habrá más beneficios para las organizaciones. Esto se evaluará considerando la "Evaluación sobre precio justo en la relación con los intermediarios".
(c) Con respecto a los ingresos de debe evaluar la posibilidad de extraer este valor de las bases de datos disponibles en SERNAPESCA
(d) Al formular esta pregunta se buscará evaluar la disposición de la organización para participar en un programa de acuicultura de acuerdo al porcentaje de apoyo por parte del Estado. Es decir, si la organización está dispuesta a gastar recursos si el estado apoyo con el 60%, 80%. O sólo si el estado apoya con el 100%.

En base a la **Tabla 8**, se diseñó y aplicó un cuestionario tendiente a testear las dimensiones y variables socio-organizacionales identificadas. La encuesta se adjunta en el **Anexo 2**. La encuesta contiene las siguientes secciones:

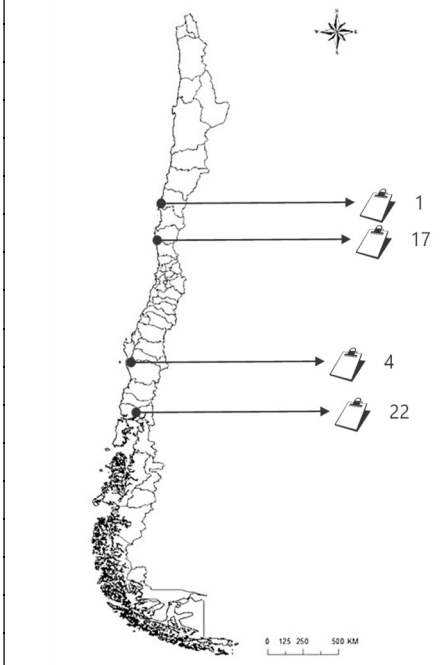
Sección 1. Datos personales.

Sección 2. Dimensiones económicas.
- 2.1. Distribución de los beneficios.
- 2.2. Cadena de comercialización.
- 2.3. Valor agregado
- 2.4. Costos.

Sección 3. Dimensiones sociales.
- 3.1. Colaboración.
- 3.2. Experiencia en acuicultura.
- 3.3. Normas y sanciones.
- 3.4. Disposición hacia la acuicultura.

La encuesta fue aplicada en 4 pilotos para evaluar la redacción de las preguntas y el entendimiento de éstas por parte de los encuestados. A partir de los resultados de los pilotos se realizaron sólo modificaciones menores de forma, manteniéndose el total de preguntas y alternativas. Posteriormente, la encuesta fue aplicada en 44 organizaciones (**Base de Dato/Listado_OPA_encuestadas.xls**). La **Tabla 9** presenta la distribución de la encuesta según región y comuna. La mayor concentración de encuestas estuvo en la Región de Los Lagos (N=22) y la región de Coquimbo (N=17).

Tabla 9.
Número de encuestas aplicadas por región y comuna



Región Atacama	**1**
Freirina	1
Región de Coquimbo	**17**
Canela	2
Coquimbo	6
Dalcahue	1
La Higuera	4
Los Vilos	4
Región de Los Lagos	**22**
Ancud	9
Calbuco	1
Chaitén	1
Cochamó	1
Dalcahue	2
Huailahue	4
Puerto Montt	2
Quellón	1
Quinchao	1
Región de Los Ríos	**4**
Corral	2
Valdivia	2
Total general	**44**

5.2.2. Análisis de datos encuestados

Con el fin de sintetizar y focalizar los resultados en aquellos aspectos más relevantes, las figuras y tablas críticas se mostrarán a continuación. Otras figuras y tablas relacionadas a esta actividad serán referidos al **Anexo 3.**

A partir de los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a diferentes OPA (N=44), se desprende una clara y notoria asimetría de género tanto en la dirigencia como en la participación de socios en las organizaciones. De la totalidad de encuestados, una menor cantidad corresponde a mujeres que forman parte de la directiva (N=9) (Figura 2 – **Anexo 3**). Al analizar los valores por cada una de las organizaciones, es posible inferir que el género masculino alcanza un valor promedio de 40 socios, siendo considerablemente mayor al promedio de socias femeninas, la cual alcanza un valor aproximado de 6 (Figura 3 – **Anexo 3**). En términos de porcentaje, el género femenino no supera el 25% de participación en las organizaciones, incluso es necesario enfatizar que existen organizaciones donde no hay participación femenina alguna (**Figura 70**). Sin embargo, los resultados reflejan que por

sobre la mitad de las organizaciones consideran alta o muy alta la necesidad de incorporar el género femenino a las organizaciones (**Figura 71**). Por otro lado, el promedio de edad de los dirigentes alcanza los 52 años (Figura 6 – **Anexo 3**).

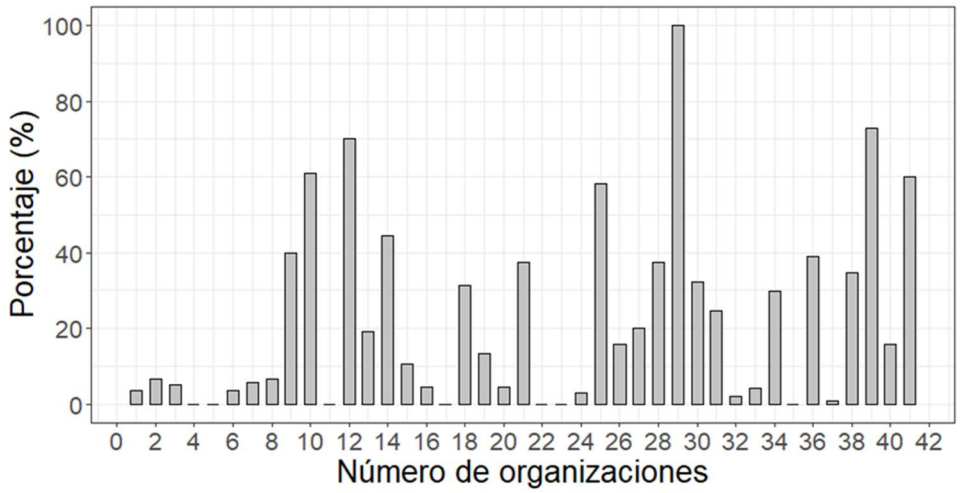


Figura 70. Porcentaje de mujeres que participan activamente en las organizaciones encuestadas.

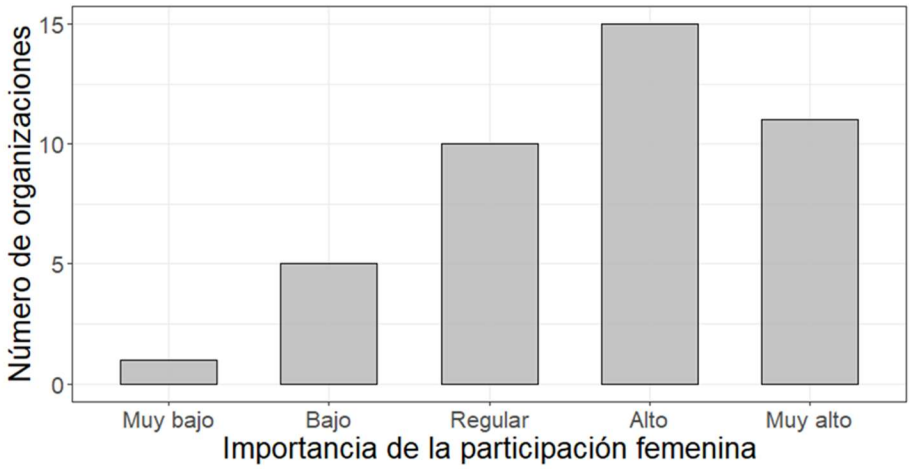


Figura 71. Resumen de la importancia de la participación del género femenino en las organizaciones.

5.2.2.1. Dimensión Económica

Distribución de los beneficios

En los encuestados existen diversas opiniones respecto a la forma en que se debieran distribuir los beneficios de un proyecto de acuicultura. Un grupo señala que la distribución de los beneficios

económicos otorgados por dicho proyecto debería ser equitativa entre únicamente los socios que participaron en dicho proyecto (N=18). Otro grupo señala que la distribución debiera ser diferenciada dependiendo de la cantidad de participación en el proyecto (N=18). En una menor, otro grupo señala que la distribución de los beneficios debe ser repartido de manera equitativa entre todos los socios (N=8), independiente de su participación (Figura 7 – **Anexo 3**).

Cadena de Comercialización

Las organizaciones encuestadas tienen la capacidad de extraer diferentes recursos, como algas, crustáceos, moluscos, captación de semillas de chorito e incluso en el cultivo de piure. Los recursos que con mayor frecuencia se nombran son: Huiro palo (*L. trabeculata*), Huiro negro (*L. berteroana*/*L. spicata*), Chorito (*M. chilensis*) Loco (*C. concholepas*) y el alga pelillo (*A. chilensis*), siendo esta última extraído por aproximadamente el 25% de las organizaciones encuestadas, superando al Loco, extraído por cerca del 20% de las organizaciones (Figura 8 – **Anexo 3**). Por el contrario, existen organizaciones que se especializan en la extracción de un único recurso, entre los que con menos frecuencia se encuentran estuvieron el alga roja Chicorea de mar (*C. chamissoi*) y el alga luga roja (*S. skottsbergii*) (Figura 8 – **Anexo 3**).
Teniendo en cuenta la vasta variedad de recursos que son extraídos, estos pueden tener diferentes cadenas para su comercialización. El 75% de las organizaciones encuestadas conocen su cadena de comercialización (Figura 9 – **Anexo 3**). Centrándose en aquellas organizaciones donde se conoce el proceso de comercialización, el 33% de ellas posee o conoce tres (3) eslabones en su cadena de comercialización, mientras que el 17% posee o conoce la cantidad máxima de eslabones registrados en las encuestas con cinco (5) eslabones, en tanto que organizaciones que tienen o conocen un único eslabón (1) en su cadena de comercialización no supera el 3% (Figura 10 – **Anexo 3**). De manera independiente a la cantidad de eslabones que posee la cadena de comercialización, en promedio, el 65% de las organizaciones no considera el valor pagado como un precio justo por los recursos extraídos (Figura 11 – **Anexo 3**). El alto porcentaje de desaprobación al precio pagado por los recursos puede estar estrechamente relacionado a que el 75% de organizaciones no presenta procesos que adicionen un valor a sus productos, mientras que el 25% restante añade un valor a sus productos mediante procesos como el envasado, enlatado, etiquetado, entre otros (Figura 12 – **Anexo 3**). Sin embargo, el 90% de las organizaciones le gustaría añadir al menos uno de los procesos previamente mencionados con la finalidad de poder aumentar el valor de los recursos extraídos (Figura 13 – **Anexo 3**).

Costos

Un factor importante para las organizaciones son los costos que conlleva mantener su área de manejo o concesión. La Figura 14 – **Anexo 3** muestra los costos promedio de la mantención de las diferentes organizaciones. Existe una gran diversidad en cuanto a los gastos asociados; dentro de los principales gastos se encuentra la administración, los materiales utilizados y la vigilancia de las organizaciones, siendo esta última uno de los ítems más costosos, alcanzando una media cercana a los $700.000/año. sin embargo, es capaz de alcanzar valores máximos cercano a los $60.000.000/año. Es necesario

mencionar que en algunas organizaciones los diferentes tipos de gastos son costeados por subsidios o simplemente no incurren en gastos en algunos ítems.
Dependiendo del recurso que extraiga/produzca la organización, fue la cantidad de días utilizados para su recolección/cosecha. Es así como el promedio de días utilizados para la recolección/cosecha alcanzó la cantidad de 65 días, siendo 300 días la cantidad máxima para la recolección/cosecha entre las organizaciones encuestadas. En el otro extremo, la cantidad mínima no supera los 3 días (Figura 15 – **Anexo 3**). En los tiempos de recolección, la necesidad de ocupación de botes se vuelve fundamental, los resultados muestran que hay un promedio de 8 botes usados por cada organización. Sin embargo, al desglosar la cantidad de botes por cada una de las organizaciones, el valor máximo de botes pudo alcanzar un valor de 40 botes. En contraste, existen organizaciones que no poseen botes, esto es consecuencia de que dichas organizaciones son considerados recolectores de orillas (Figura 16 – **Anexo 3**). Los días de recolección poseen un gasto asociado, principalmente por la utilización de los botes, el cual es dividido en gastos para combustible y aceite. El gasto medio de combustible para los días de recolección es $150.000/día (Figura 17 – **Anexo 3**).

Dependencia de la Pesca Artesanal

Existen organizaciones que consideran que el desempeño económico de la AMERB y/o concesiones es muy malo (N=2), aunque mayormente, los encuestados considera que el desempeño económico es bueno (N=20) y muy bueno (N=6) (**Figura 72**). Al separar estos resultados, se observa que únicamente en seis organizaciones la AMERB o concesión provee el 81-100% del ingreso económico de los socios, mientras que, al promedio de las organizaciones, la AMERB o concesión provee entre un 41-60% del ingreso económico (**Figura 73**). Desde otro punto de vista, la importancia del ingreso económico proveniente de la pesca (excluida AMERB o concesión), es mayoritariamente catalogada con una importancia regular (N=13). Aunque la cantidad de organizaciones que consideran que la importancia del ingreso económico proveniente de la pesca es bajo (N=4) o muy bajo (N=6) (**Figura 74**).

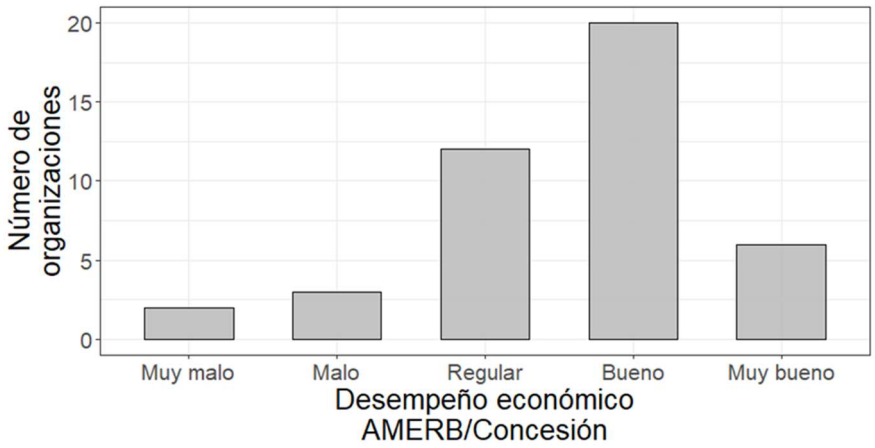


Figura 72. Desempeño económico de AMERB/Concesiones.

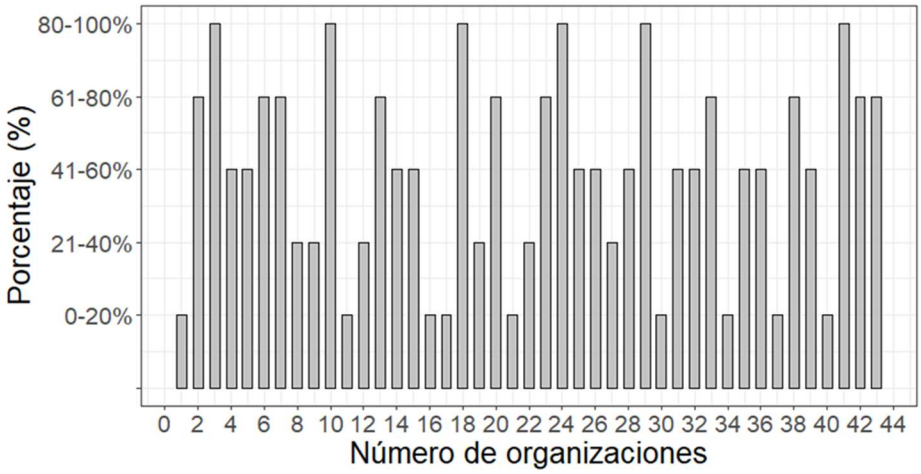


Figura 73. Porcentaje de ingresos provenientes de AMERB y/o concesiones.

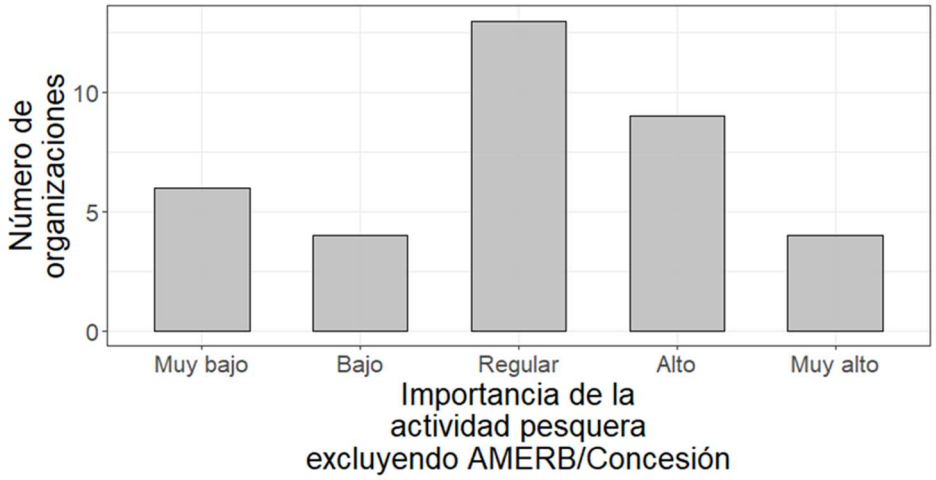


Figura 74. Importancia económica de la actividad pesquera donde no se incluyen AMERB y/o concesiones.

Del total de organizaciones encuestadas, en doce de ellas, el encuestado señaló que el 81-100% de los socios se encontrarían dispuesto a invertir económicamente en un proyecto de acuicultura- Así mismo, 13 encuestados señalaron que entre el 61-80% de los socios estaría dispuesto a invertir recursos económicos en un proyecto de acuicultura (**Figura 75**). Considerando exclusivamente a los socios que sí está dispuesto a invertir económicamente, la gran mayoría (N=42) no invertiría más allá de $100.000, seguidos desde muy lejos (N=14) invertiría $500.000 y de manera mus escaza (N=6) invertirían $1.000.000 (**Figura 76**).

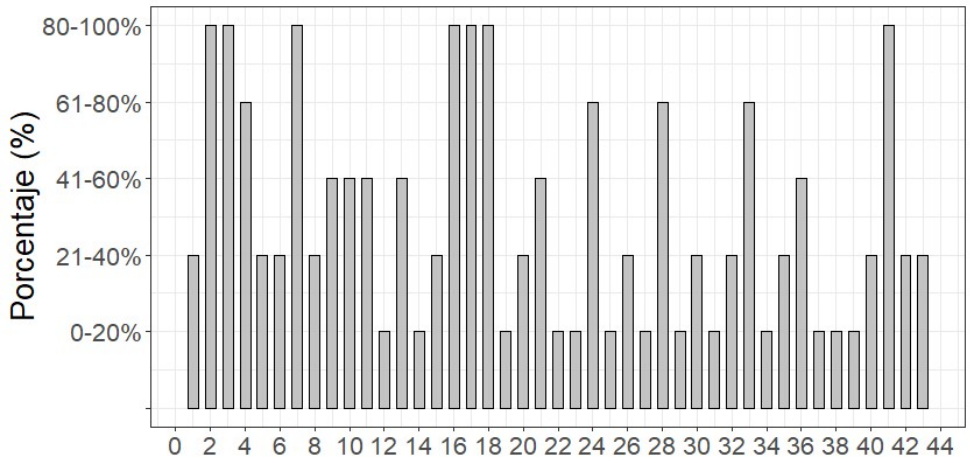


Figura 75. Porcentaje de socios dispuestos a invertir económicamente en proyectos de acuicultura. En eje X se representa el ID de la organización encuestada.

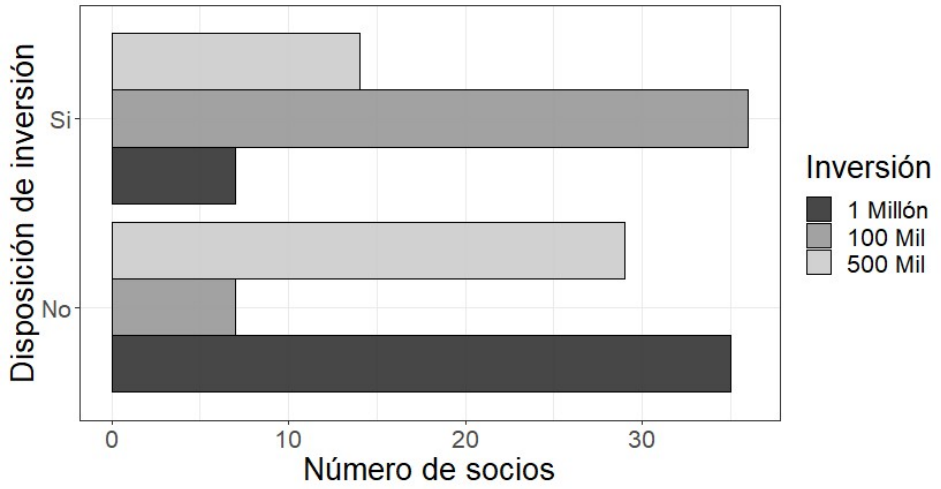


Figura 76. Porcentaje de socios dispuestos a invertir económicamente en proyectos de acuicultura. En eje X se representa el ID de la organización encuestada.

5.2.2.2. Dimensión Social

<u>Colaboración</u>

La colaboración entre organizaciones puede ser considerada una relación simbiótica de mutualismo e incluso sinérgica, sin embargo, de todas las organizaciones encuestadas, solo la mitad (N=22) de éstas presentan colaboración con otras organizaciones (Figura 23 – **Anexo 3**). Estas mismas organizaciones, la gran mayoría considera importante (N=9) o muy importante (N=10) mantener en el tiempo esta colaboración (Figura 24 – **Anexo 3**). Así mismo, los encuestados señalan

mayoritariamente que es importante o muy importante participar en asociaciones o federaciones (Figura 25 – **Anexo 3**).

Normas y Sanciones

Las normas y sanciones son un eslabón fundamental dentro de las organizaciones para mantener el orden y el respeto, es por esto por lo que el 95% de las organizaciones dentro de sus estatutos presentan normas y sanciones para los socios (Figura 26 – **Anexo 3**). Estas sanciones varían desde una multa, la suspensión de cuota o incluso la expulsión de la organización. Sin embargo, el 73% de las organizaciones señalan que no han aplicado sanciones cuando un socio no cumple con las normas. (Figura 27 – **Anexo 3**).

Experiencia en Acuicultura

Dada la importancia que está tomando la acuicultura en la actualidad, especialmente la Acuicultura de Pequeña Escala (APE), se refleja una gran participación de las organizaciones en proyectos de acuicultura, ya sea de manera teórica o práctica alcanzando un 75% (**Figura 77**). Este porcentaje de organizaciones que han participado en proyectos de acuicultura, cerca de la mitad (N=18) considera importante (N=10) o muy importante (N=8) la experiencia económica asociada a estos proyectos de acuicultura (**Figura 78**), sin embargo, hay que destacar que varias también son las organizaciones (N=9) en que la experiencia económica al participar en proyectos de acuicultura ha sido de poca relevancia, considerándolas poco importante (N=7) o muy poco importante (N=2) (**Figura 78**). Desde el punto de vista del aprendizaje, una mayoría de organizaciones considera importante (N=10) o muy importante (N=15) el aprendizaje generado por estos proyectos de acuicultura (**Figura 79**).

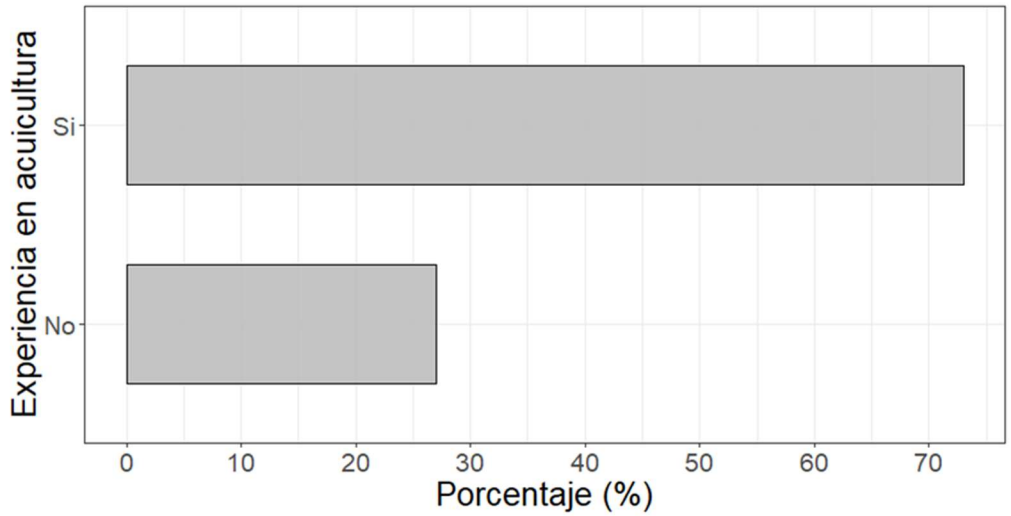


Figura 77. Porcentaje de organizaciones que han tenido al menos una experiencia relacionada con la acuicultura.

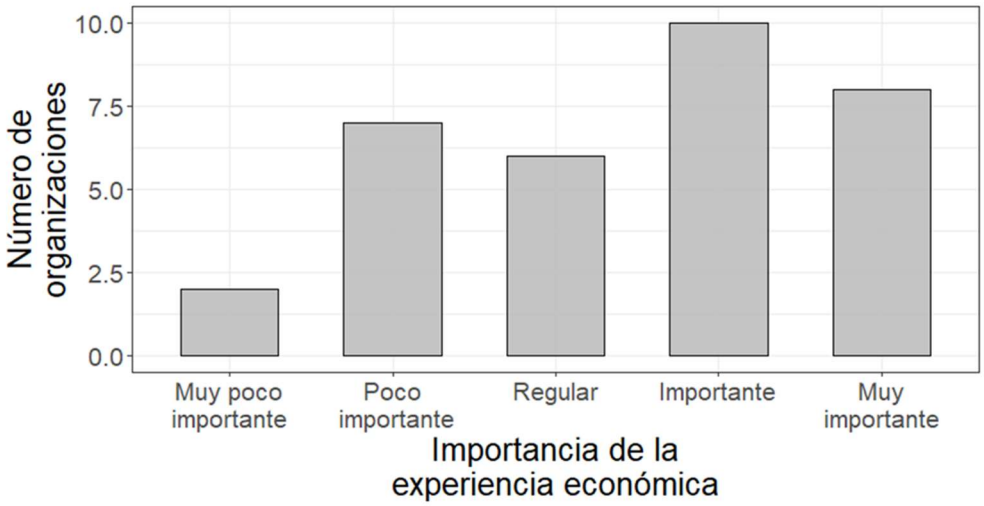


Figura 78. Importancia de experiencia económica asociada a la participación en proyectos de acuicultura.

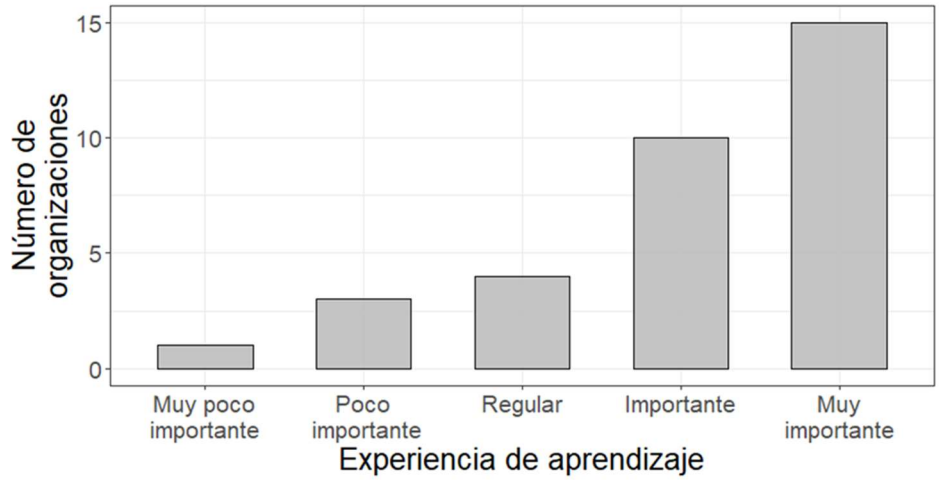


Figura 79. Importancia de la experiencia del aprendizaje asociado a la participación en proyectos de acuicultura.

Si bien, la experiencia económica y de aprendizaje han tenido un gran éxito en las organizaciones, para poder implementar proyectos de acuicultura, todas las organizaciones, de manera unánime consideran de gran importancia un apoyo económico externo y de igual manera la necesidad de apoyo técnico para la instalación y mantención de dichos proyectos (Figura 31 y 32 – **Anexo 3**).

Disposición a la acuicultura de pequeña escala

Para poder iniciar proyectos de acuicultura, primero es necesaria la disposición tanto de dirigentes como de socios. Los resultados reflejan que casi la totalidad de organizaciones, tanto la directiva tiene

un alta (N=20) y muy alta (N=19) disposición para participar en proyectos de acuicultura. Considerablemente menor es la cantidad de organizaciones donde los dirigentes estarían regularmente (N=4) o muy poco (N=1) dispuestos a participar en dichos proyectos (**Figura 80**). Estos resultados son coincidentes con la disposición de los socios de las organizaciones en participar en estos proyectos, puesto que cerca del 80% de socios de todas las organizaciones se encontrarían dispuestos en participar (**Figura 81**). Sin embargo, a pesar de la buena disposición de la directiva y de los socios, se reconoce la importante necesidad de recibir apoyo técnico y apoyo financiero, ya sea provenientes desde instituciones privados o públicas (**Figuras 82** y **83**).

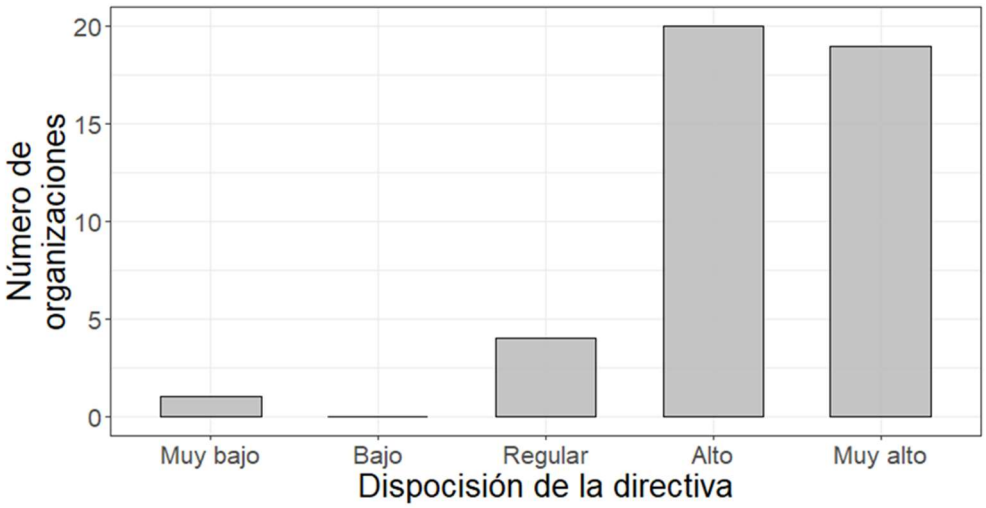


Figura 80. Disposición de la directiva de las organizaciones para participar en proyectos de acuicultura.

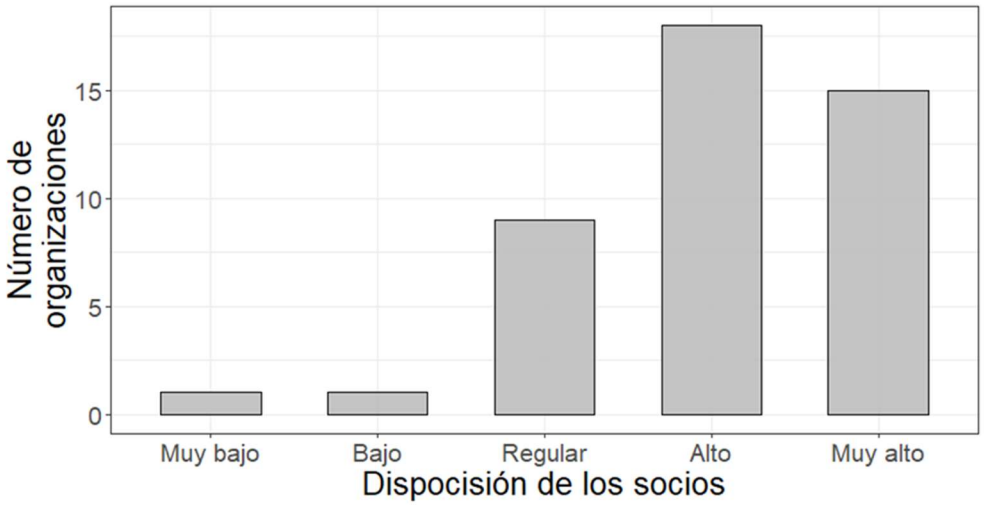


Figura 81. Disposición de los socios de las organizaciones para participar en proyectos de acuicultura.

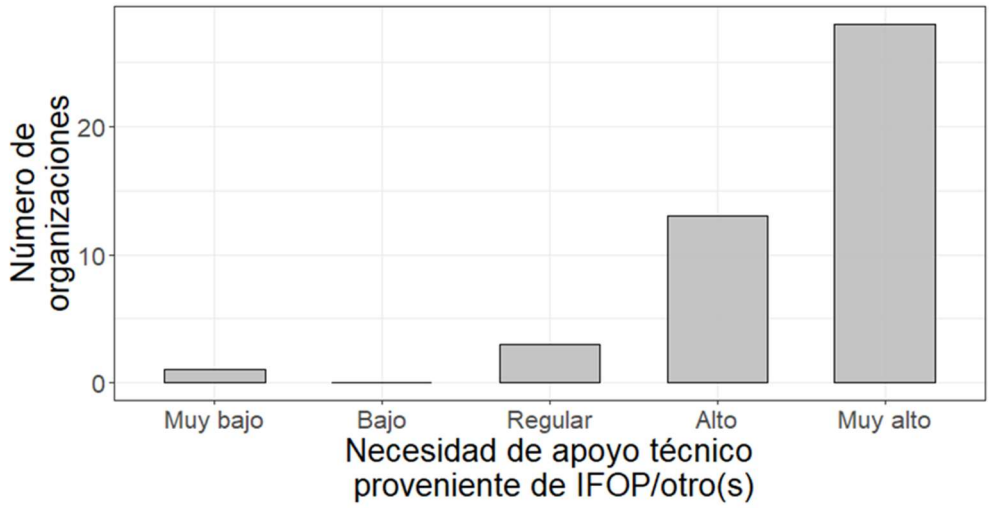


Figura 82. Importancia de recibir apoyo técnico provenientes de IFOP u otras instituciones para la aplicación de proyectos de acuicultura.

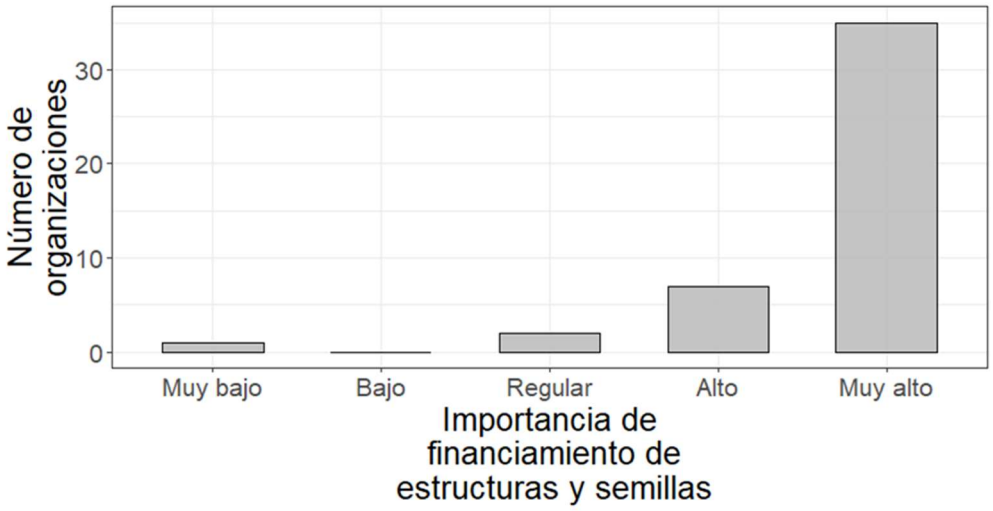


Figura 83. Importancia del recibir apoyo financiero para implementación de estructuras o compra de semillas.

Los encuestados tienen una expectativa alta (N=17) o muy alta (N=24) de recibir beneficios económicos para la implementación de proyectos de acuicultura (Figura 37 – **Anexo 3**). Adicionalmente, también tienen una alta expectativa de generar aprendizajes de estos mismos proyectos, alcanzando igualmente cerca del 90% de organizaciones que poseen un alta (N=16) o muy alta (N=25) (Figura 38 – **Anexo 3**) expectativa de los proyectos de acuicultura. Se destaca que el 80% de los encuestados estaría dispuesto a participar de proyectos de acuicultura, aunque estos no generen beneficios económicos al corto plazo (**Figura 84**).

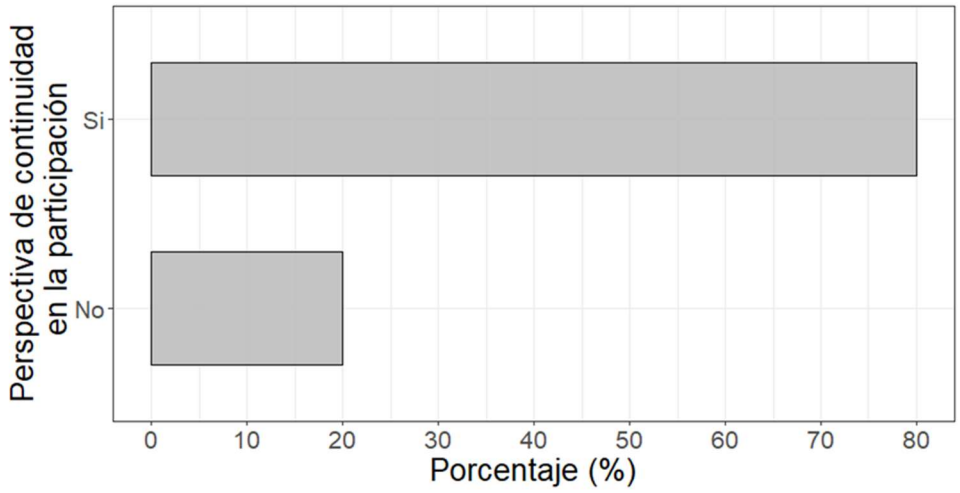


Figura 84. Porcentaje de socios que participarían en un proyecto de acuicultura si los ingresos económicos o utilidades a repartir empiezan en un plazo mayor a 2 años.

5.2.2.3. Priorización de las organizaciones según su capacidad para adoptar prácticas de acuicultura.

Para el proceso de priorización criterios y variables críticos que permitan explicar la apropiabilidad de prácticas APE en organizaciones de pescadores que administran AMERB o CCAA, se seleccionaran aquellos criterios que de acuerdo a la revisión bibliográfica y experiencia de los investigadores permiten proyectar un mayor éxito en la implementación de un proyecto. En total fueron seleccionadas 30 variables, las cuales están asociadas jerárquicamente a 9 criterios: 1) Género, 2) Comercialización, 3) Valor agregado, 4) Dependencia de la pesca artesanal, 5) Disposición a invertir, 6) Colaboración, 7) Experiencia en acuicultura, 8) Normas y sanciones, y 9) Disposición a participar.
Para cada una de las variables seleccionadas para la construcción del índice de viabilidad para implementar proyectos de acuicultura, los resultados de las encuestas fueron normalizados de 0 a 100 (**Ver Anexo 3**). Para esto, las preguntas con categoría de respuesta de cinco niveles la normalización tuvo el siguiente resultado: muy importante=100, importante=75, regular=50, poco importante=25, muy poco importante=0. En el caso de las preguntas con categorías de respuesta si y no, la normalización tuvo el siguiente resultado: Si=100, No=0. Es importante destacar que el valor de 100 puntos corresponde siempre al mejor valor posible en cada respuesta.
Para cada una de las dimensiones se estableció una ponderación de importancia relativa, la cual establece el grado de relevancia de cada dimensión para la construcción de un índice de viabilidad para implementar proyectos de acuicultura (**Tabla 10**). Estas ponderaciones fueron establecidas por el equipo investigador, en consulta con la contraparte técnica de IFOP. Sin embargo, es importante aclarar que estas ponderaciones son una primera aproximación, y es posible modificarlas en base a procesos participativos con expertos para definir el valor de cada ponderación.

Tabla 10.
Ponderación de criterios y variables críticas para adopción de prácticas APE. Entre paréntesis, se indican las dimensiones a las cuales se anidan las variables y criterios.

Criterios / variables	Ponderación (%)
Género (Social)	**5,8**
Porcentaje mujeres en la organización	50
Importancia de la participación de mujeres	50
Comercialización (Económica)	**10,0**
Conocimiento cadena comercialización	20
Percepción de precio justo	80
Valor agregado (Económica)	**7,7**
Implementar valor agregado	75
Desea implementar valor agregado	25
Dependencia de la pesca artesanal (Económica)	**13,5**
Evaluación desempeño económico	50
Importancia AMERB/concesión en ingreso	35
Importancia pesca en ingreso	15
Disposición a invertir (Económica)	**12,5**
Disposición a invertir recursos económicos	40
Disposición a invertir $100.000	20
Disposición a invertir $500.000	20
Disposición a invertir $1.000.000	20
Colaboración (Social)	**5,8**
Redes de colaboración	40
Beneficios e importancia colaboración	40
Participación en asociaciones	10
Beneficios asociaciones	10
Experiencia en acuicultura (Social)	**17,9**
Experiencia práctica	30
Años de participación	5
Evaluación económica experiencia	10
Evaluación aprendizaje experiencia	10
Experiencia en cursos	15
Percepción capacidad técnica	5
Normas y sanciones (Social)	**7,7**
Estatutos establecen sanciones	30
Sanciones son aplicadas	70
Disposición participar (Social)	**19,2**
Disposición directiva	40
Disposición socios	30
Percepción importancia económica	15
Disposición a participar sin beneficios económicos	15

En base a los resultados del cuestionario y las ponderaciones de las dimensiones y variables se estableció arreglo, ordenando de mayor a menor, las organizaciones encuestadas de acuerdo al logro del índice construido, que podría ser usado como una primera aproximación para que esas OPA puedan implementar proyectos de acuicultura a pequeña escala (**Figura 85**).

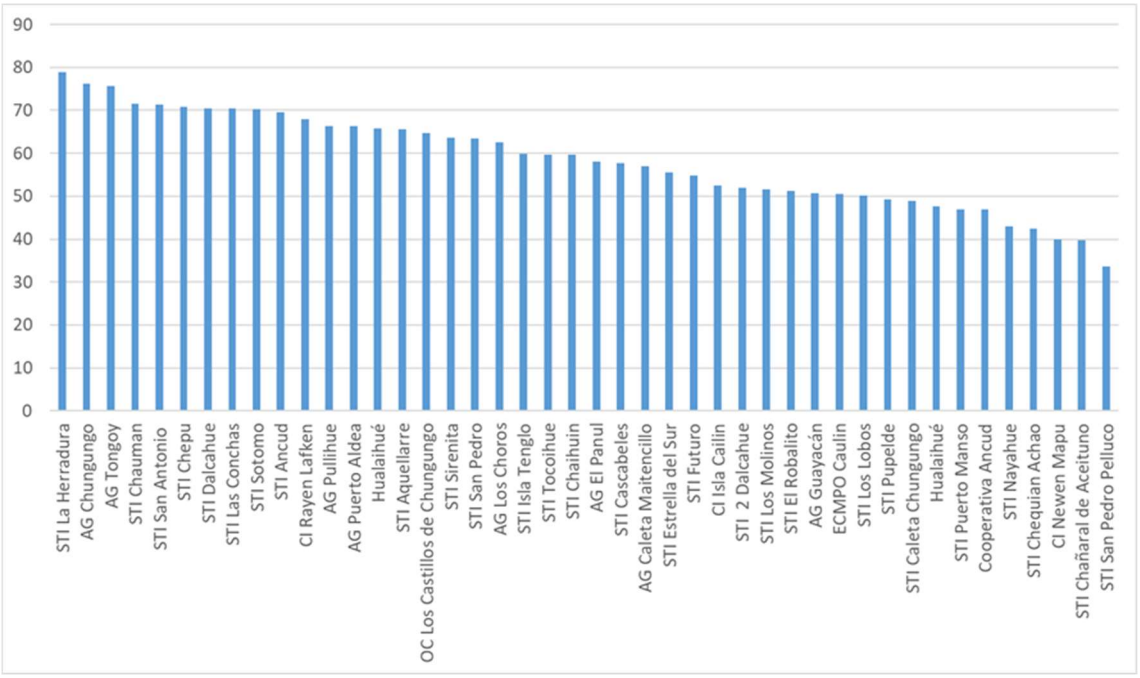


Figura 85. Organizaciones de Pescadores ordenadas de acuerdo al resultado del índice ponderado de apropiablidad para prácticas APE. Considerar que este índice es una medida preliminar sujeta a validación.

5.3. Estudio de cadena productiva y de valor, y demanda de mercado nacional de algas comerciales y comestibles

5.3.1. Contexto General

La industria de las algas marinas ofrece una amplia variedad de productos, el valor total anual de producción se estima entre US$ 5.500 y US$ 6.000 millones, con un volumen de 11.3 millones de toneladas. De ese total, los productos alimenticios para consumo humano corresponden a US$ 4.000 millones.

Según los últimos datos de la FAO sobre la producción acuícola mundial de algas marinas (FishstatJ, versión 3.04.9), la producción mundial de algas marinas de la acuicultura en 2016 fue de aproximadamente 30 millones de toneladas, con un valor de 11.600 millones de dólares. Como se ilustra en la **Tabla 11**, la mayor parte (tanto en volumen como en valor) se produce en Asia. Dentro de Asia, China es el mayor productor, con un volumen de producción de 14 millones de toneladas, que representan un valor de 8.600 millones de dólares. En segundo lugar, se encuentra Indonesia, con un volumen de producción de 11 millones de toneladas, que representan un valor de 1,3 millones de dólares, en volumen, seguida de Filipinas y la República de Corea.

Tabla 11.
Producción (volumen) y valor de algas provenientes de acuicultura (basado en FAO FishstatJ).

Continente	Volumen (t peso húmedo)	Valor (USD × 1000)
Africa	139.313	6.274
America	15.634	33.703
Asia	29.964.105	11.630.027
Europa	1.554	3.158
Oceania	18.782	779
TOTAL	**30.139.388**	**11.673.941**

El sector de la acuicultura de algas crece cada año en tamaño y valor (entre 6 y 10% anual). El volumen de algas marinas silvestres cosechadas a nivel mundial se ha mantenido casi sin cambios en las últimas décadas, con cosechas reportadas de 1,06 millones de toneladas de peso fresco (FW) en 2006; 1,29 millones de toneladas FW en 2014 y 1,09 millones de toneladas FW en 2015.

En la actualidad, hay 221 especies de algas marinas que se comercializan, 10 de las cuales se cultivan de forma intensiva (FAO, 2018). Se trata de las algas pardas *Saccharina japonica*, *Undaria pinnatifida* y *Sargassum fussiforme*, las algas rojas *Porphyra* spp, *Eucheuma* spp, *Kappaphycus* spp y *Gracilaria* spp y las algas verdes *Enteromorpha clathrate*, *Monostroma nitidum* y *Caulerpa* spp.

Entre el 75% y el 85% de la producción mundial de algas se destina al consumo humano directo en Asia. La segunda aplicación importante de las algas es la producción de espesantes (como el alginato y la carragenina), utilizados en múltiples productos alimentarios y no alimentarios.

5.3.1.1 Algas y Consumo Humano

La tradición del consumo de algas data desde hace varios siglos, en Chile los registros indican que desde hace 13.000 años las algas fueron utilizadas como alimento y como medicina en asentamientos humanos del Pleistoceno (Rosen & Dillehay, 1997; Ugent &Tindall, 1997). En países orientales como China, Japón, Corea, Indonesia y Malasia su consumo es habitual y forman parte de la dieta diaria. En la medida que los orientales han migrado hacia otros países, han llevado esta tradición. Recientemente se ha introducido el concepto de comida sana, saludable, incorporando a las algas en la gastronomía gourmet, destacando sus propiedades nutritivas y los efectos positivos en salud. (McHugh, 2003; Boulho et al., 2017).

En los últimos años para incentivar el uso de las algas en la dieta, se han publicado libros de cocina con atractivas propuestas que incorporan las algas y donde se destaca su origen orgánico y procedencia de ambientes no contaminados. Por otra parte, además de las propiedades nutritivas, en los últimos años se ha realizado un esfuerzo importante en investigación para estudiar los componentes bioactivos presentes en las algas (Smit, 2004; Fitton, 2006; Holdt y Kraan, 2011)) antioxidantes (Munir et al., 2013), características nutricionales y los beneficios para la salud (Ito, 1989; MacArtain et al., 2007; Winberg et al., 2009; Darcy-Vrillon, 1993; Wong & Cheung, 2000, Kuppusamy et al., 2014; Chale-Dzul et al., 2017; Boulho et al., 2017); e impacto potencial del consumo en la salud del cerebro humano (Cornish et al., 2017).

Las algas representan un grupo de alimentos que normalmente no se consumen en países del Occidente, sin embargo, se ha promocionado su uso en los últimos años destacando sus características nutricionales y los efectos beneficiosos en la prevención de enfermedades. Las macroalgas que se consumen pueden pertenecer a varios grupos entre ellos los más importantes son algas rojas (Rhodophyta), algas pardas (Phaeophyta) y algas verdes (Chlorophyta). La mayoría de las algas comestibles son marinas, y se han publicado listas de las especies más comúnmente consumidas en Europa (Morrisey et al., 2001).

5.3.1.2 Propiedades nutricionales de las algas

Las algas son una fuente natural de compuestos con actividad biológica que pueden ser utilizados, como ingredientes funcionales. Viven en ambientes muy diversos con cambios extremos de salinidad, temperatura, iluminación, nutrientes y otros factores físicos, por lo que tienen una extraordinaria capacidad de adaptación a cambios ambientales, característica que les permite sobrevivir, produciendo una serie de metabolitos secundarios, biológicamente activos, que no se acumulan en otros organismos. La industria de alimentos mundial tiene gran interés en las algas, ya que se pueden cultivar, tienen rápido crecimiento y se puede controlar la producción. Se usan directamente en la alimentación o bien son incorporados como ingredientes en los alimentos.

Existen numerosas revisiones en la literatura del aporte nutricional de las algas, los cuales señalan que son alimentos bajos en calorías, tienen un alto contenido de sales minerales (Mg, Ca, P, K y Na),

contienen vitaminas, proteínas, carbohidratos no digeribles y bajo contenido de lípidos (Norziah & Ching, 2000; Wong & Cheung, 2000; Sánchez-Machado, et al., 2004, Guiry & Guiry, 2015). Las macroalgas también contienen vitaminas A, B, B12, C, pantotenato, riboflavina, folato y niacina en mayor concentración que las verduras y frutas (Kanasawa et al., 2008; Ruperez, 2002). El contenido de fibras varía dependiendo de la especie, entre 33 al 75 % del peso seco y corresponde principalmente a polisacáridos solubles. Por otra parte, Las algas contienen altas concentraciones de yodo, características que se destacan en el empacado de productos elaborados en base a algas.
Los polisacáridos presentes en macroalgas como por ejemplo agar, carragenina y alginatos pueden ser metabolizados por humanos a través de la acción de enzimas de la flora bacteriana del estómago. Estas enzimas específicas son producidas por la población japonesa debido a su consumo habitual de algas pero no ocurre lo mismo con otras poblaciones del mundo. Por esta razón, al ingerir algas los polisacáridos presentes al no ser digeridos generan una sensación de saciedad para el consumidor por lo que algunas especies se consumen para bajar de peso.

El luche o nori es el alga más consumida a nivel mundial, se consume en diversas formas principalmente en países asiáticos se conoce con el nombre de nori en Japón; zicai en China y gim en Corea. En los últimos años en occidente tanto el sushi u onigiri (plato típico japonés que utiliza luche), se ha vuelto muy popular y es consumido principalmente por jóvenes, elevando los niveles de consumo de este tipo de algas en muchos países. Otras especies de algas rojas como el musgo irlandés (Irish moss) y otros tipos de algas rojas del grupo de las Gigartinales, se usan como aditivos en la comida, mientras otras especies son utilizadas con fines medicinales. En la **Tabla 12** se entrega un resumen de las algas más comúnmente consumidas a nivel mundial.

5.3.2. Descripción Etapa Extractiva – Contexto Nacional.

La caracterización extractiva de algas de interés para consumo humano, con posibilidad de ser vinculante en el futuro inmediato o de mediano plazo con iniciativas APE, se realizó principalmente por medio de la revisión de fuentes de información secundarias correspondiente a la bibliografía existente en la materia (informes, tesis y manuscritos), además de la revisión de bases de datos provistas por instituciones nacionales e internacionales que presentaron diferentes escalas temporales (**Tabla 13**). Los recursos para los cuales se describen el desembarque/cosecha son a) *Agarophyton chilense* (pelillo); b) *Macrocystis* sp (huiro), c) *Durvillaea incurvata* / *Durvillaea antarctica* (cochayuyo), d) *Mazzaella laminarioides* (luga cuchara); e) *Chondracanthus chamissoi* (chicoria de mar); f) *Gelidium* sp (chasca); g) Complejo *Porphyra* / *Pyropia* (luche); h) *Ulva* sp. (lechuguilla) e i) *Callophyllis* sp (carola).

La estadística de desembarque de algas nacionales con potencial mercado para consumo humano se muestra en la **Figura 86**. Dado que el volumen de desembarque es muy disímil entre recursos, en la **Tabla 14** se indican los desembarques totales nacionales por recurso entre 2003 y 2019.

Tabla 12.
Resumen de algas comestibles más comunes en el mundo, especie, tipo de uso, nombre común y distribución. Fuente: FIPA 2017-15.

Nombre Especie	Tipo de alga y uso	Nombre común	Distribución
Eisenia bicyclis	Phaeophyceae, medicinal	Arame	Japón, Corea
Alaria esculenta	Phaeophyceae, comestible	Badderlocks	Irlanda, Gran Bretaña, Holanda, Europa, Norte América
Fucus vesiculosus	Phaeophyceae, comestible	Bladderwrack lady wrack	Ártico, Irlanda, Canadá, Escocia, Europa, Brasil, Islas del Caribe
Callophyllis spp.	Rhodophyta, comestible	Carola	Sudamérica, Chile, Islas Falkland, Perú, Tierra del Fuego, Sudáfrica, Isla Antárticas y Subantárticas
Pelvetia canaliculata	Phaeophyceae, medicinal alimento animal	Channelled wrack	Portugal, Irlanda, Francia, España
Durvillaea antarctica	Phaeophyceae, comestible	Cochayuyo	Islas Atlánticas, Argentina, Chile, Australia, isla Auckland, Nueva Zelanda, Tasmania, Antártica y Subantárticas
Palmaria palmata	Rhodophyta, comestible	Dulse , Irlanda Saccha, Islandia Darusu, Japón Sou sol, Noruega Botelho-comprido, Portugués Gaeilge, Galo Handed Fucus, Inglaterra	Irlanda, Inglaterra, Escocia, Portugal, España
Ecklonia cava	Phaeophyceae, Consumo	Kajime, noro-kajime, Japón	Japón, Corea
Chondracanthus chamissoi	Rhodophyta, consumo	Sugi nori	Brasil, Chile, Perú
Enteromorpha intestinalis	Chlorophyta, comestible	Ohashi nori, Bō awonori, Boa o-nori Japón	Canadá, Irlanda, Europa, Islas Atlánticas, Norteamérica, África, Islas del Caribe, Sudamérica.
Gelidiella acerosa	Rhodophyta, comestible	Gulaman, sangau, kembang karang	Islas Atlánticas, Norteamérica, América Central, Islas del Caribe, América del sur, Islas Oceánicas, Australia, Nueva Zelanda.
Sargassum fusiforme	Phaeophyceae, comestible	Hijiki o Hiziki	China, Japón, Hong Kong, Sur de Corea
Chondrus crispus	Rhodophyta, Comestible, alimento animal	Irish moss, carragheen	Irlanda, Europa, África, Escocia, Norteamérica, Isla Falkland, Japón , Corea, Taiwán, Península Antártica
Saccharina japonica	Phaeophyceae, comestible	Kombu, Haidai (China) Hae-tae, Corea Kuro-Kombu, Hosme Kombu, Japón	Francia, China, Japón, Corea, Rusia
Porphyra laciniata / Porphyra umbilicalis	Rhodophyta, comestible	Laver, nori, sloke, slouk	Europa, Alaska, Brasil, Sudáfrica, India, Francia, España y Japón

Tabla 13.
Bases de información revisadas según ámbito, institución y variables de interés.

Ámbito	Institución	Variables
Caracterización de la actividad extractiva/acuícola algas.	Servicio Nacional de Pesca (Actividad acuicultura y pesca) 2010-2019	* Desembarques (t) * Cosechas (t) * Especies (sp) * RNA centros algas * Centroide (UTM) * Precios de primera venta ($/k) * Agentes compradores
	Servicio Nacional de Pesca (Elaboración) 2010-2018	* Abastecimiento plantas (t) * Cantidad de Procesamiento (t) * Cantidad de Materia Prima (t) * Líneas de proceso
	Seguimiento Bentónico 2000-2018	* Precio de primera venta ($/k)
	IFOP –Aduana 2006-2018	* Precio exportación (US$/k) * Volumen exportación (t) * Línea de proceso
Análisis del mercado de exportación	Banco Mundial 1980-2018	* PIB per cápita por país * Paridad moneda
	Banco Central Chile 2000-2019	* Índice Precio de Consumidor (IPC)
	FAO – FishStatJ 1970-2017	* Producción acuícola por país (t) * Extracción pesquera por país (t) * Precio FOB por país (USD/k) * Precio CIF por país (USD/k)

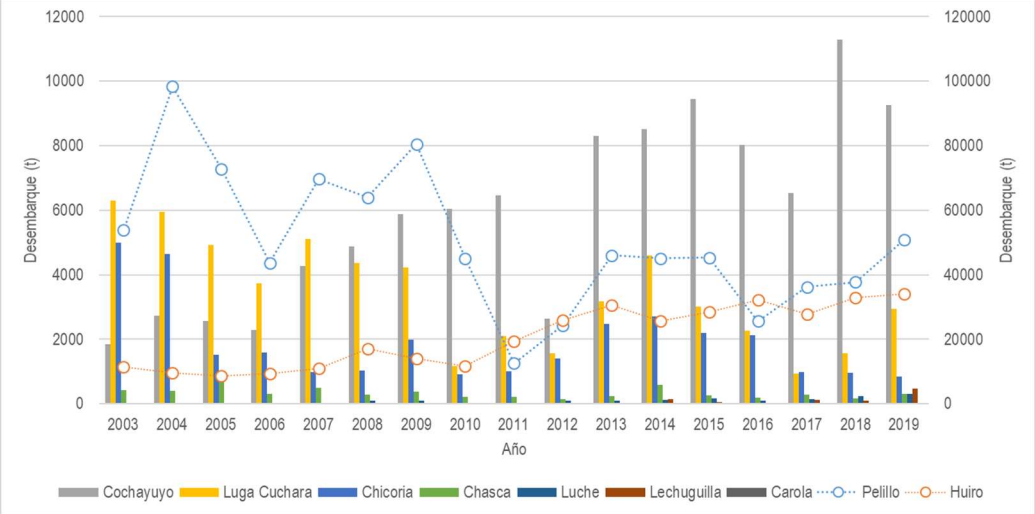


Figura 86. Desembarque de algas nacionales con potencial de uso en mercado de consumo humano. Los valores de desembarque y/o cosecha para los recursos pelillo (*Agarophyton chilense*) y huiro (*Macrocystis sp.*) deben ser referidos al eje secundario Y (derecha). Los valores de desembarque y/o cosecha para todos los otros recursos se muestran en el eje primario Y (izquierda).

Tabla 14.
Desembarques totales nacionales por recurso entre 2003 y 2019.

Año	*Pelillo*	*Huiro*	*Cochayuyo*	*Luga Cuchara*	*Chicoria*	*Chasca*	*Luche*	*Lechuguilla*	*Carola*
2003	53885	11501	1842	6288	4986	416	1	2	5
2004	98403	9543	2733	5954	4642	402	9		10
2005	72861	8786	2562	4930	1517	683	8		
2006	43750	9319	2292	3731	1590	310	4	27	17
2007	69734	10950	4274	5108	980	494	33	13	13
2008	63967	17060	4872	4372	1031	292	87	27	
2009	80568	14092	5872	4225	1992	375	102		
2010	45089	11723	6048	1172	924	209	16		
2011	12524	19400	6468	2096	998	222	39		
2012	24340	25943	2648	1574	1400	135	89	13	1
2013	46053	30556	8304	3181	2475	243	90	1	
2014	45144	25626	8508	4607	2715	576	132	136	
2015	45307	28557	9441	3013	2199	270	176	53	
2016	25676	32145	8015	2273	2125	194	105	33	
2017	36203	27894	6531	937	993	273	143	118	2
2018	37724	32877	11284	1558	950	174	235	99	
2019	50930	33989	9263	2941	838	316	319	472	

Las siguientes consideraciones fueron tomadas en cuenta para caracterizar las estadísticas de desembarque de los recursos anteriormente indicados (ver **Figura 86** y **Tabla 14**).

- **Pelillo**: a pesar de ser un recurso principalmente usado en la industria del agar – agar y colagar, se han desarollado en los últimos 5 años experiencias incipientes en torno al valor agregado de pelillo para la industria de alimentos de consumo humano[7].
- **Huiro**: tradicionalmente es un recurso usado como alimento para abalones, sin embargo existe un potencial mercado para estas algas como alimento humano[8].
- **Cochayuyo**: es el recurso algal nacional que por excelencia es destinado a consumo humano. Es un ingrediente ancestral de la comida chilena (particularmente en la costa centro y sur de Chile), con un creciente mercado internacional[9].
- **Luga cuchara**: si bien es un recurso que tradicionalmente se ha destinado a la obtención de carrageninas, hay desarrollos incipientes orientados a su uso en el consumo humano[10].

[7] https://enlanoticia.cl/algueras-de-queilen-innovan-convirtiendo-pelillo-en-caramelos-y-postres-naturales/
[8] https://www.aqua.cl/2018/01/22/dan-a-conocer-oportunidades-de-las-algas-para-consumo-humano/#
[9] INFORME FINAL Corregido CUI 2016-29-DDP-4. Evaluación de la viabilidad de apertura del mercado de la Unión Europea para productos derivados de macroalgas extraídas en Chile destinados al consumo humano, como alternativa de diversificación productiva para la pesca artesanal, considerando las barreas impuestas por la UE para "novel food". Caso de Estudio: (*Durvillaea antarctica*)
[10] Informe Uso Gastronómico de las Algas - Ejecutor: Tres Peces Gastronómica SPA. Julio 2020 – 13pp

- **Chicoria**: si bien las estadísticas de desembarque de este recurso muestran un bajo volumen, su potencial como alga para consumo humano es altísimo[11].
- **Chasca**: es referida como un alga con potencialidades para consumo humano[12].
- **Luche**: ingrediente de la comida tradicional de la zona sur y sur austral de Chile, es un alga con potencial y desarrollos tecnológicos incipientes para el cultivo y consumo humano en Chile y mercados extranjeros[13].
- **Lechuguilla**: existe una línea de I+D incipiente relacionada al aprovechamiento de esta alga para consumo humano[14].

5.3.3. Descripción Etapa de procesamiento o transformación (manufactura).

5.3.3.1. Requisitos de operación de las plantas de proceso de algas para consumo humano.

Los requisitos de operación de operación que deben cumplir las plantas para el procesamiento y elaboración de algas destinadas para consumo humano se encuentran establecidas, entre otras normativas, en la norma técnica que para tales efectos ha desarrollado SERNAPESCA (Ver **Anexo 4**). En este punto, es importante considerar que la normativa que regula la el procesamiento y transformación de algas orientadas al consumo humano, especialmente para mercados de exportación es compleja y multisectorial.

5.3.3.2. Descripción del proceso productivo.

En esta sección se describe el proceso productivo de una planta de cochayuyo (Terranatur S.A.) orientada al mercado nacional e internacional (asiático). Se realiza la descripción del proceso productivo de este recurso ya que tiene mayores potencialidades actuales y productos en actual comercialización en retail y al extranjero. Por otra parte, para este producto se contó con información de carácter público disponible.

La empresa Terranatur S.A. se encuentra emplazada en la comuna de Hualqui, VIII Región, Se caracteriza principalmente por la exportación del recurso D. antarctica hacia los países asiáticos (China, Japón y Corea); sin embargo, en la actualidad se encuentra realizando ventas en el mercado nacional, principalmente en supermercados de la Región del Biobío. Los productos que ofrece en el mercado internacional son tubos o fingers y tallarines de cochayuyo seco, y en el mercado nacional oferta tallarines cortos de cochayuyo seco.

Provisión de alga: El recurso proviene de diversas zonas, específicamente de las regiones V, VI, VII, VII, XIV Y X, y se compra a intermediarios y/o pescadores artesanales, quienes pueden extraer el cochayuyo desde banco naturales y/o áreas de manejo. Además, se obtiene alga proveniente de la recolección que realizan los recolectores.

[11] Revista Aqua N° 292 – Septiembre 2020.
[12] Informe Fina FIPA 2014-37.
[13] https://www.aqua.cl/2013/04/08/uach-lanzo-proyecto-sobre-factibilidad-para-producir-y-comercializar-nori/#
[14] Composición Nutricional y Funcional de las Algas Clorofíceas Chilenas: *Codium fragile* y *Ulva lactuca*. Laboratorio de Química y Análisis de Alimentos, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química

Operaciones previas: la sub-etapa de transporte se realiza en camiones propios de la empresa. La carga es realizada por los propios pescadores con cochayuyo seco y/o húmedo y luego se tapa la carga con una lona para evitar el desprendimiento del alga durante el transporte. Una vez que llega el camión a la planta (recepción), se descarga el alga y se coloca en bolsas de malla para ser pesadas en una romana. En recepción se estima un porcentaje de pérdida de peso del alga desde el origen hasta la planta por efecto de los factores climáticos (temperatura ambiente). Luego, se distribuye el alga sobre una loza de cemento que es previamente limpiada con una mezcla de agua extraída de vertiente, a la que se adiciona desinfectante biodegradable. Posterior a la recepción se comienza con el trozado manual en la planta, dividiéndola en tres partes: dedos, trozado y cuero (**Figura 87**), con la finalidad de destinar cada parte hacia un tipo de producto. Luego, se realiza la clasificación en bandejas de polipropileno según partes del alga (dedos, trozado o cuero), para así pasar a la sub-etapa de lavado y estabilizado; en ésta el alga seleccionada en las bandejas es lavada en bins de 50 L con agua de vertiente microfiltrada (5 micras y filtro de carbonoactivo).

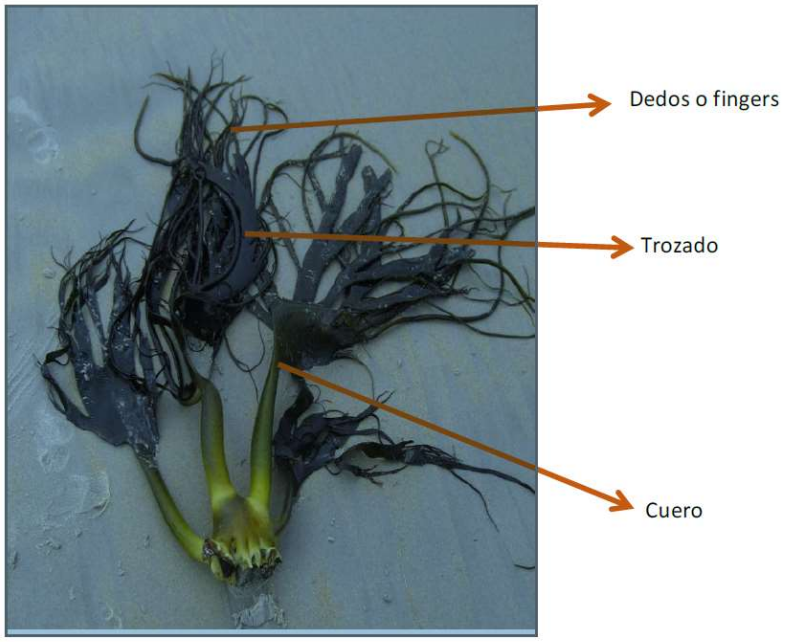


Figura 87. Partes en las que se divide una planta de cochayuyo para proceso productivo.

Proceso: Posterior al lavado se encuentra la etapa de cortado, en dónde el alga es cortada con cuchillo según el tipo de producto final que se desea, Tubos o Tallarines. Los tubos son cortados de manera transversal en un rango de calibre de 2-7 cm de longitud, y el trozado y cuero se cortan a lo largo en forma de tallarines, específicamente 10 cm de longitud y de 2 y 5 mm de espesor. Una vez cortada el alga, se inicia la sub-etapa de secado, y para ello el alga se estira en una rejilla (parrilla) de acero inoxidable de 1m^2 para ingresar al horno de secado, las parrillas de disponen en estructura vertical que tiene una capacidad para 5 parillas, y en el horno se pueden ingresar hasta 40 parrillas.

La temperatura de secado varía entre 55-75°C, dependiendo del tipo de producto. En esta sub-etapa se aplica un punto de control de calidad, mediante una termo-balanza que registra el porcentaje de humedad, el que debe fluctuar entre 17-20% para pasar al enfardado. En esta sub-etapa se procede a prensar el cochayuyo seco en formato de tallarines cortos y largos. Luego, los fardos vuelven a secado en el horno hasta alcanzar una humedad del 13-15%. Por el contrario, para el producto tubos una vez secado (con 13-15% humedad), se ingresan a una máquina rotadora, que consiste en un tambor horizontal rotatorio para eliminar cualquier residuo sólido.

Operaciones finales: Para ambos productos (tubos y tallarines) se realiza el pesaje II. Que consiste en ingresar, en forma separada, los fardos (tallarines) y tubos en bolsas de polipropileno hasta un peso de 15 kg. El empaque depende del mercado nacional o internacional, como se observa en la **Figura 88A** para el mercado internacional las bolsas (fardos o tubos) se sellan y luego se almacenan en sacos de color celeste de polipropileno laminado; para el mercado nacional **Figura 88B**, se pesan los tallarines cortos cuya longitud es menor a 10cm en bolsas de polipropileno de capacidad 80g. El etiquetado, consiste en una etiqueta impresa con requerimientos nacionales (Resolución Sanitaria) e internacionales. Luego, los productos envasados y etiquetados se almacenan en bodegas (galpones) diferenciados según el mercado (nacional e internacional), en el caso del mercado internacional el producto terminado se trasporta en contenedor en un camión cerrado a los puertos de la región para ser exportado vía marítima.

a.

b.

Figura 88. (A) Formato de producto de exportación (tallarines de cochayuyo seco), y (B) formato de producto venta nacional (tubos de cochayuyo seco).

Operaciones auxiliares: se llevan a cabo en una etapa previa al ingreso de la materia prima al proceso y éstas se dividen en limpieza de superficies, limpieza de equipos y puesta en servicio de caldera. La loza de recepción que está a la intemperie y la loza de ingreso a proceso cubierta con techo son tratadas con una mezcla de desinfectante biodegradable y agua dulce. Ambas superficies deben estar totalmente libres de cuerpos extraño que puedan ser enredadas en los tubos de las algas que pudieran provocar daños en las máquinas y equipos que se encuentran en la línea de proceso. Además, se realiza una inspección visual del encargado de línea.

Los equipos que realizan corte o trozado de las partes de las algas se limpian con agua dulce (microfiltrada) cada vez que se inicia y termina un proceso. No se utilizan desinfectantes biodegradables en este tipo de equipos, ya que presentan mantenimiento por horas de uso y es en esta acción son desarmados, desinfectados y sanitizados. La caldera es puesta en servicio una hora antes que se inicie un proceso para alcanzar la temperatura de operación. Este equipo funciona con madera de desecho, específicamente la madera denominada tapa de pino insigne y/o radiata (que se utiliza para fabricación de chips). El mantenimiento que requiere este equipo es limpieza de ductos de evacuación de gases de combustión y la succión de aire que es el fluido utilizado para secar las algas dentro del secador. El tratamiento del agua utilizada en los procesos de limpieza y mantenimiento de equipos es canalizada por ductos de desagüe que se encuentran distribuidos en toda la extensión de la planta a un decantador que retiene partículas de tamaño mayor a 20mm, la cual es posteriormente desembocada mediante tuberías de PVC a un canal natural que pasa por fuera de la planta.
La gestión de los desechos sólidos generados en el proceso, específicamente partes duras de las algas, que presentan un color distinto y el cuero, son secados en una zona destinada para esto en una superficie de hormigón, que posteriormente son triturados en un molino el cual genera un producto denominado escarcha que es puesto en sacos de 20 kilos y comercializados a dos empresas que lo utilizan como fertilizante agrícola. Desechos como arena son eliminados en la limpieza de algas en la loza de ingreso, y éstos son evacuados al decantador antes señalando por los ductos de desagüe de la planta. Los desechos sólidos generados por operarios e insumos, son almacenados en un estanque de polietileno de alta densidad y retirados cada tres días por un camión de una empresa externa. El aseo en planta se realiza cada vez que se termina un proceso dentro de las líneas, asegurando la correcta limpieza de equipos y estaciones de trabajo. Este trabajo es supervisado por inspección visual.
El mantenimiento de equipos está regido por horas de uso, esto se realiza en planta con operarios capacitados para estos fines. El mantenimiento consiste, principalmente, en limpieza con agentes desinfectantes y cambio de partes móviles que cortan y elementos móviles. Además, después de cada proceso se deben recuperar el filo de cuchillos de corte. Los equipos de mayor tamaño que se utilizan en el proceso tienen un programa de mantenimiento variable en función de la producción.

5.3.4. Descripción Etapa de comercialización

5.3.4.1. Pelillo

En términos comerciales, la cadena comercial vinculada al cultivo de pelillo proveniente de la APE es destinado al secado del producto o generación de productos derivados, como son el agar agar y colagar. La actividad es desarrollada tanto a partir de la extracción de bancos naturales, pero mayoritariamente del cultivo, siendo la APE una actividad importante para el sector; no obstante, comparten la misma o similar cadena de producción ya que son adquiridos por agentes compradores, principalmente intermediarios y compradores representantes de plantas de proceso, para luego trasladarlos a las plantas de proceso o de secado, quienes se encargan de su elaboración y transformación en sus principales subproductos para ser exportados principalmente al mercado Japonés (**Figura 89**).

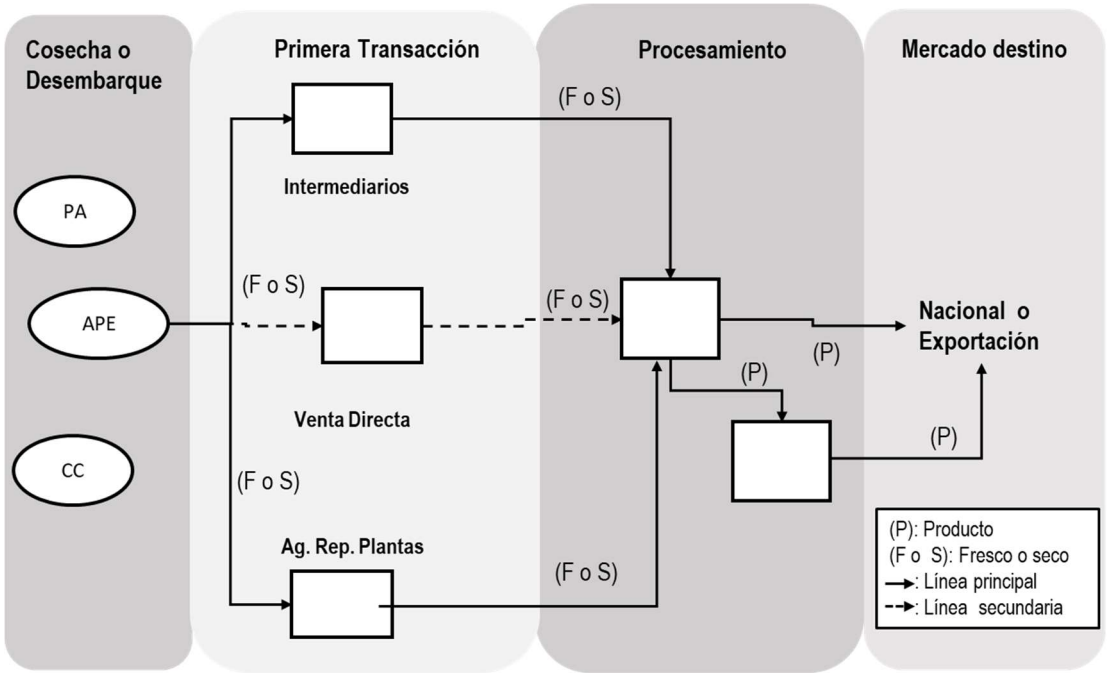


Figura 89. Diagrama general de la cadena de comercialización y producción de pelillo a nivel nacional.

Respecto al precio de transacción, éstos no variaron en relación con la actividad extractiva, compitiendo directamente por los mismos mercados. El precio de venta varió dependiendo del nivel de humedad que presentó el alga al momento de su transacción, situación que dificulta tener un parámetro estándar de comparación; no obstante, basado en la evolución de los precios desde el año 2000 al 2019, se observa que a principios de siglo hubo un alza importante de los precios hasta el año 2007 donde registraron sus mayores niveles de transacción, alcanzando los $/kg 300 promedio nominal (seco), con una drástica caída el 2008 a $/kg 70 (húmedo). Entre los años 2009 a 2012 se observó un alza en los valores promedio hasta los $/kg 250 nominal, para estabilizarse cerca de los $/kg 200 en el periodo 2013-2014. A partir del 2015, se observó una nueva caída en el precio promedio a cerca de $/kg 100 no variando significativamente durante los últimos 5 periodos. Por otra parte, la variación del precio real muestra como el 2007 se alcanza su mayor valor, haciendo evidente la sensación de menor rentabilidad percibida por los usuarios, ya que, si bien el precio presenta ciclos de crecimiento, cada vez estos se traducen en menor valor respecto a la inflación de consumo nacional.

Los principales compradores asociados a esta actividad corresponden a intermediarios, quienes concentran el 65% de la materia prima adquirida y representantes de plantas de proceso (28%), agentes que compran bajo el nombre de una determinada planta. En el caso de los intermediarios, se encuentran dos tipos, aquellos que adquieren el producto, lo acopian por un tiempo y lo traspasan a terceros quienes lo trasladan a las plantas de proceso, y otro grupo que compran y venden directamente a las plantas.

Si bien durante el proceso de elaboración no se puede distinguir los recursos que provienen directamente de las APE, es importante destacar que cerca del 41% de la materia prima fue destinada a la elaboración de algas secas, un 32% al agar agar y el 28% a colagar, siendo la región de Los Lagos donde concentró la mayor producción de éstos dos últimos sub productos, con un 42% y 98% de la producción nacional, generando una relación directa de los destinos con el principal destino de las cosechas proveniente del sector.

La actividad de elaboración de agar agar y colagar ha sido realizada por tres plantas de proceso, dos especializadas a la elaboración de agar agar y una al procesamiento de colagar, con capacidades de abastecimiento de materia prima entre 10.000 a 25.000 toneladas anuales, siendo empresas de gran tamaño y con un elevado nivel de sofisticación de los procesos de elaboración.

A su vez, el abastecimiento de materia prima se ha realizado bajo el formato fresco o seco, o bien por medio de productos que ya han sufrido algún tipo de transformación en otras plantas (reprocesos), que aporta alrededor del 30% y 10% de las materias primas utilizadas para el procesamiento de agar agar y colagar, respectivamente.

Respecto de las exportaciones para los principales subproductos del pelillo, se observó que la exportación de colagar sufrió un repentino quiebre a partir del 2014, dejando de registran más envíos internacionales.

Por otro lado, los volúmenes de exportación de agar agar tendieron a reducirse en el tiempo, a una tasa promedio anual del 3,2% para el agar agar y del 5,6% para el caso del alga seca. Se bien esta última tuvo un alza importante entre los años 2010 y 2012, posteriormente los volúmenes han descendido por debajo de lo registrado el 2006. Más aún, durante el periodo 2016-2019, los descensos han sido del orden del 1,4% para el caso del agar agar y del 7% para las algas secas, evidenciando una contracción de la actividad.

Por su parte los precios de exportación presentaron dos tendencias. En el caso del agar agar, este tuvo un alza en su valor FOB desde el 2010 hasta el 2015, alcanzado un precio cercano a los US$/kg 27, para posteriormente disminuir a una tasa anual del 2,9% hasta llegar a los US$/kg 24; mientras que, en el caso del secado de alga, entre el 2010 al 2014 se observó un alza en sus precios FOB del orden del 22% hasta alcanzar los US$/kg 3,5 para posteriormente disminuir hasta alcanzar los US$/kg 2 el 2016. A su vez, durante los últimos 3 años el precio ha disminuido en un 0,8%, con una leve alza el 2018.

5.3.4.2 Otras Algas

Productos finales de otras algas diferentes de pelillo son usados para consumo humano directo. Otros productos intermedios forman parte de preparación de platos. Se constata un margen importante entre el valor de los productos vendidos en playa y su venta en retail o comodities. Un ejemplo de esto es el cochayuyo, en donde su precio en playa es de hasta \$400 kilo^{-1} mientras que s precio de venta en supermercados es entre \$21.800 y \$27.000. El alto número de intermediarios se indica como una brecha en el ámbito de la elaboración de alimentos para consumo humano.

Las principales algas y formatos que se comercializan en Chile son cochayuyo (como alga seca, cocida refrigerada, mermelada), luche (como alga seca en sobres, alga cocida-ahumada-deshidratada) y chicoria (como alga seca decolorada). Para el recurso cochayuyo se identificaron 7 empresas

exportadoras (Industria Pesquera Costa Azul, Comercial Poseidón, Com. de algas Bioseaweeds, Seaweeds Chile ICSA, I Ping Industrial y Cía. Ltda., Ind Sea Chance y Terra Natur). Para el recurso chicoria se identifica un creciente volumen de exportación para consumo humano, con precios que fluctúan entre 23 y 32 USD·kg-1. Se identificaron 4 empresas que participan en la exportación de chicoria para consumo humano (Rico Foods S.A., Com. de algas BioSeaweeds S.A., Terra Natur S.A., Miguel Depolo S.A. y VCR S.A.)

5.3.5. Descripción Mercados de Destino

5.3.5.1 Pelillo

Los productos elaborados presentaron como principal destino a Japón que concentró el 52% de los destinos de agar agar, el 100% del colagar y el 43% de las algas secas. En el caso del agar agar, sus otros destinos principales corresponde a Estados Unidos (17%) y Rusia (9%); mientras que en el caso de las algas secas estos corresponden a Corea del Sur (23%) y Tailandia (18%).

A nivel internacional, la evolución de la producción acuícola y extractiva de algas rojas, especialmente tipo *Gracilaria*, presenta un constante crecimiento desde principios de siglos, principalmente por la aparición de la actividad de cultivo proveniente China durante el 2002, quien concentra alrededor del 72% de la producción mundial, siendo el principal productor de algas, mucha de la cual es destinada a la elaboración de productos dentro de su propio país, y siendo una parte menor la exportadas hacia otros países.

De la producción mundial, hasta el año 2000 Chile aportó cerca del 26% de las algas Tipo *Gracilaria* totales a nivel mundial; no obstante, con la llegada de China, la participación internacional se vio afectada llegando a aportar durante los últimos 10 años sólo el 2% de la producción mundial.

Si bien Chile presenta como principal mercado de exportación a Japón, este último también adquiere insumos de otros países, siendo China la principal competencia en el abastecimiento de agar agar.

Al comparar las dinámicas de importación de Japón con los niveles de exportación de Chile, se observa que mientras el primero presenta una tendencia al alza desde el año 2010, el segundo, exportaciones de Chile, presentó un comportamiento descendiente. Por otro lado, si bien los precios de exportación FOB han presentado una tendencia al alza desde el 2006, el precio CIF proveniente de Japón se ha estabilizado y reducido desde el 2010 a la fecha, generando que los precios de exportación nacional se tengan que ajustar a la baja. Por otro lado, se observa que la evolución del precio de exportación FOB de China ha seguido una trayectoria similar, pero con un menor efecto durante los últimos periodos, presumiendo que ambos productos presentan una cierta competencia por el mismo mercado y un efecto entre ellos.

Al realizar las proyecciones de mercado del agar agar para el periodo 2018 a 2023 bajo los modelos de serie de tiempo multivariado Corrección del Error Vectorial (VEC), se observó que, basado en la dinámica comercial desde los años 1994 al 2017, se espera que para el año 2025 las exportaciones tiendan a descender en el orden de un 2,8% para el periodo; mientras que el precio FOB se espera que tenga un alza del 6,5% para el mismo periodo. Por otro lado, China presentó un incremento tanto en los volúmenes como en los precios FOB cercanos al 8%.

5.3.5.2 Otras Algas

Los recursos cochayuyo y luche son destinados a mercado nacional e internacional (China, Taiwán, Canada), mientras que el recurso chicoria es destinado principalmente a mercados internacionales. Seaweed noodles (en base a cochayuyo) se exportan a Taiwán, Hong-Kong, España, Canadá, Suecia alcanzando valores de USD 2000/t. El producto chicoria seco/salado/deshidratado es vendido en mercados de países orientales (principalmente Japón, Corea, Taiwán, Estados Unidos) y también en Perú.

5.3.5.3 Fertilizantes - Demanda

Por otra parte, a través de proyectos de investigación financiados en el país por FONDEF y el FIC se han desarrollado y están en desarrollo productos fertilizantes. Entre ellos está Macromix que se genera a partir del proyecto "investigación y desarrollo de tecnología de aprovechamiento de recursos hidrobiológicos para la producción de fertilizantes orgánicos sobre la base de especies algales y desechos de la industria pesquera", realizado por la Universidad de los Lagos.
Como resultado del proyecto se obtuvo dos productos; MAKROMIX®: Producto líquido obtenido a partir de algas Ulva y Macrocystis, sometidas a procesos de extracción, secado, molienda, digestión ácida y alcalina, y filtrado; y MAKROMIX POLVO: Producto sólido obtenido a partir de algas Ulva y Macrocystis, sometidas a procesos de extracción, secado, molienda, digestión ácida y alcalina, filtrado y secado. Ambos productos se han caracterizado químicamente, a través de la determinación de la composición proximal (Humedad, cenizas, proteínas, grasas, fibras y extracto no nitrogenado), contenido de cloruros, minerales y metales pesados, hormonas (citoquininas y auxinas). Además, se evaluó en terreno a través de ensayos en parcelas demostrativas e invernaderos en especies como: ballica, lechuga, papas, rábanos, eucaliptus, uva, entre otras.
De acuerdo con lo informado por la investigadora de la Universidad de Los Lagos señora Lucia de la Fuente, en la actualidad la propiedad de Macromix está en la mano de privados y se vende como Fartum.
En cuanto al proyecto financiado por el Fondo de Innovación para la competitividad (FIC) del gobierno regional de la región de Los Lagos “Aplicación de algas como fertilizante natural para el cultivo de hortalizas de invernadero una alternativa de diversificación productiva para familias de recolectores orilleros y/o pescadores artesanales de zonas costeras de la región de Los Lagos, se espera conocer sus resultados dentro del próximo año.

5.3.5.4. Suplemento alimenticio animales

En Chile la experimentación con el uso de las algas para la alimentación animal no ha sido un tema muy explotado y al menos en la década del 90 dada las experiencias logradas más bien se tendió a minimizar uso en este tipo de aplicaciones. Es así que experiencias desarrolladas en el año 1997 a través de un proyecto FONTEC señalaban que "Los antecedentes acumulados muestran que la harina de algas de *Macrocystis* de Magallanes no representa actualmente un insumo con potencial importante en la industria de la alimentación animal”. Ello deja limitado su uso a los acuacultivos de especies que

la reconocen como su alimento natural (erizos, abalones, etc.), especies que todavía mantienen un bajo desarrollo a nivel industrial. Agregando en otro acápite que "El mercado para harinas de algas como alimento es pequeño, y está dominado en su producción y uso por empresas localizadas en países con una larga tradición en el tema". No obstante, lo anterior, reconociendo el potencial de las algas aconseja estar atentos a los permanentes adelantos en nutrición animal, pues no sería extraño que se encuentre una valorización económica del alga, hoy desconocida. (Vilicic, 1998).

Un tanto consecuente con lo anterior, está el hecho que hoy en día en nuestro país las algas *Lessonia* spp., *Macrocystis* spp., y en menor cantidad de *Gracilaria* spp., y *Ulva* spp., se utilizan principalmente para alimentar abalones (Mardones et al., 2013) y no existen otras aplicaciones en la alimentación animal que se desarrollen en el país que sea relevantes de mencionar. No obstante, se promocionan una serie de alimentos para diferentes animales que tienen incorporadas diferentes concentraciones y tipos de macroalgas, pero todos ellos son importados.

No obstante, lo anterior, en nuestro país se abre nuevos desafíos para utilizar algunas macroalgas en la nutrición animal. Por ejemplo, una problemática que enfrenta la industria salmonera actual, es la alta concentración de Fito estrógenos (compuesto que se estima interfiere los procesos de reproducción) presente en la soja, que es la principal fuente de alimentación. Las algas podrían suplir la necesidad proteica que requieren los peces, además de entregar: vitaminas, antioxidantes y una gran cantidad de minerales sin presentar ese inconveniente. Principalmente, se podrían aprovechar las cualidades nutritivas presentes en las especies *Cryptonemia obovata* y *Ulva lactuca*, atendiendo al alto contenido proteico que poseen. Y a las especies *Rhodymenia corallina* y *Codium fragile* de las cuales resaltan las concentraciones de compuestos carotenoides precursores de la coloración (astaxantina) en los salmones señala Ortiz (2011).

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

5.4. Obtención de semillas/plántulas de algas e invertebrados para cultivos multi-especies

Para la realización de los cultivos multi-especies en la región de Los Lagos, la obtención de material vegetativo de chicorea de mar, se realizó mediante compra al hatchery de Algas Chile Spa ubicado en el sector de Quillaipe, Puerto Montt. Para el caso de pelillo se obtuvieron, desde la empresa Algas Marinas SA ubicada en la ciudad de Ancud. Semillas de ostra japonesa provenientes de hatchery fueron adquiridas en Cultivos Cholche, Hueihue, Chiloé. Para el caso del chorito y choro zapato, se obtuvieron semillas provenientes de captación natural del Estero Castro, Chiloé.
Para el cultivo en el sitio Chungungo, la obtención de semillas y plántulas se realizó mediante compra al hatchery del consorcio Aquapacífico. Para este periodo se obtuvieron las semillas de los bivalvos. Sin embargo, las algas, debido a que el hatchery tuvo problema de funcionamiento por la contingencia sanitaria, se entregarán y sembrarán durante el segundo semestre del año 2021.

5.5. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos de algas y multi-especies en el norte y sur de Chile

5.5.1. Implementación de cultivos

5.5.1.1. Sitio Chungungo

El cultivo consiste en 2 long-lines independientes de 50 m. Las líneas se instalaron en el polígono identificado en la Etapa 2 del Programa y que se especifica en el permiso correspondiente (**Tabla 15, Figura 90**). En uno de ellos, se instalarán 25 metros con 24 reinales con plántulas de huiro y 20 linternas para cultivo de ostión del norte. En la otra línea, se instalaron 24 reinales con sustrato artificial para cultivo de chicorea y 20 linternas para cultivo de ostra japonesa (**Figura 91**). Esta actividad se realizó bajo el marco del permiso de ampliación del AEAMERB otorgado en febrero del 2021 mediante Res Ex. 270/2021 (**Anexo 5**) La siembra de algas se realizará posteriormente debido a retrasos en la entrega por parte de los proveedores debido a la contingencia sanitaria.

Tabla 15.
Vértices en WGS-84 del polígono solicitado para realizar Acuicultura 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"

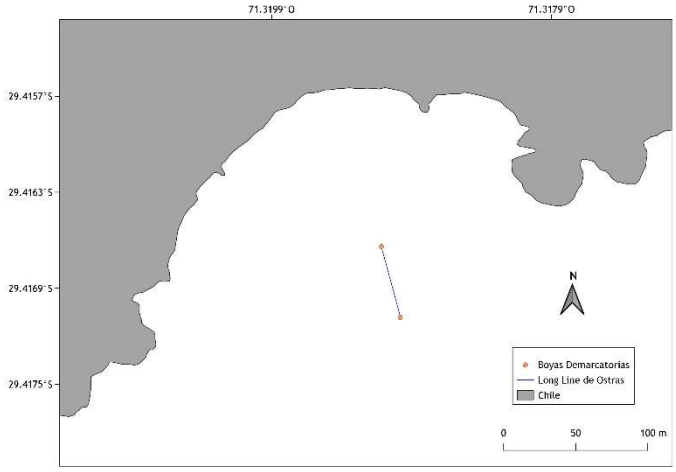


Figura 90. Ubicación de la línea de cultivo instalada con linternas de ostras y ostiones en AMERB Chungungo B.

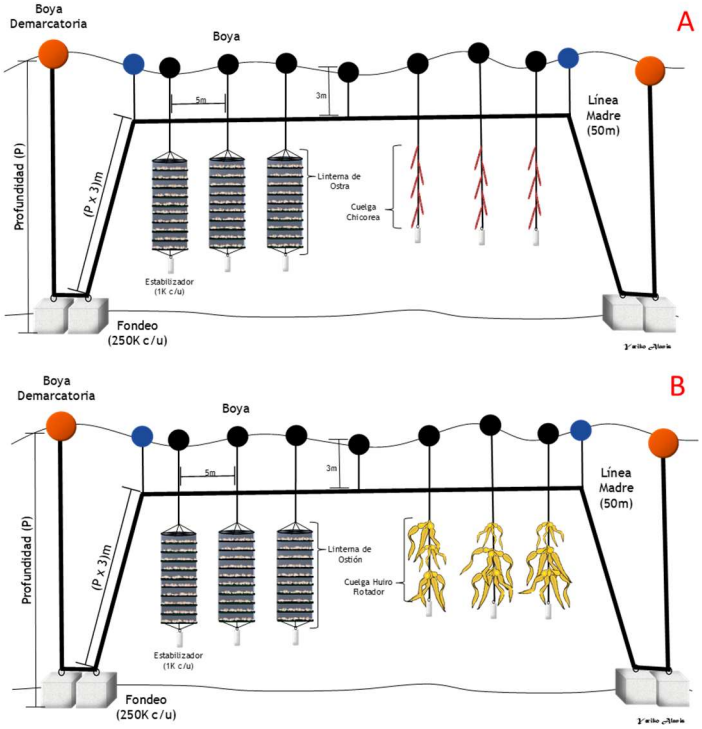


Figura 91. Representación gráfica de Long-lines de cultivo multi-especies, considerar que para efectos prácticos no se incluyeron la totalidad de reinales y linternas solicitadas. A) Línea 1 con linternas de ostras y reinales de chicoria en sustrato hortofrutícola. B) Línea 2 con linternas de ostión y reinales con plántulas de huiro.

5.5.1.2. Sitio Quinchao

En la CCAA administrada por la Corporación Municipal de Quinchao, se está ejecutando cultivo multi-especies de algas (chicorea y pelillo) en sistema de plansas dispuestos en un sistema reticulado. Este sistema permite que el cuadrilátero de cultivo fluctúe con las variaciones de marea y la hidrodinámica del lugar sin sufrir mayor tensión en las líneas que lo conectan con los fondeos (**Figura 92A**). Se dispuso un sistema de plansas donde se instalaron 1.125 metros de cuerdas inoculadas para cada especie y en distintas densidades (chicorea: Densidad Alta: 0.5 kg, y Baja: 0.25 kg; pelillo: Densidad Alta: 1 kg, y Baja: 0.5 kg) (**Figura 92B, C y D**). Esto permitió aumentar la superficie de cultivo para ambos recursos y evaluar su desempeño productivo, con una mayor cantidad de biomasa que la dispuesta en cultivos anteriores.

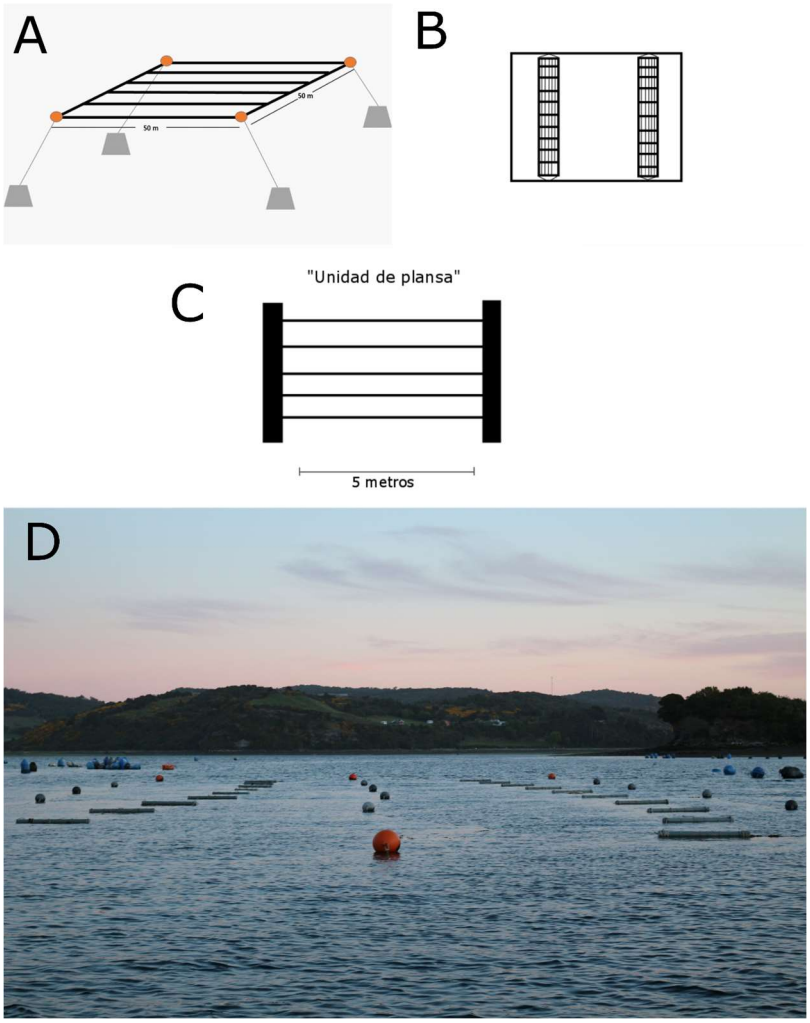


Figura 92. A) Esquema del sistema de cultivo reticulado, B) Esquema del sistema de plansas en el reticulado, C) Detalle de la unidad de plansa, y D) Vista del sistema de plansas instalado.

El sistema de cultivo base se encuentra instalado desde el año 2019. Con la ayuda de funcionarios de la Corporación Municipal de Quinchao, durante el primer semestre del año 2020 se realizaron mantenciones, como la incorporación de más boyas de demarcación y tensión del sistema reticulado (**Figura 93**). Durante agosto del 2020, se sembraron las algas.

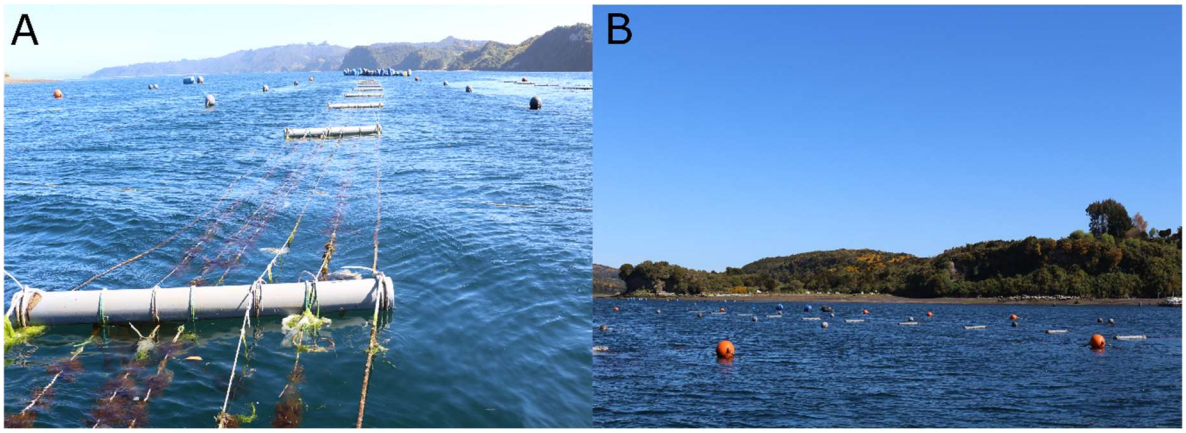


Figura 93. Sistema de cultivo en Quinchao. A) Algas instaladas en sistema plansas. B) Boyas de demarcación del sistema reticulado.

5.5.1.3. Sitio Pudeto

En la CCAA del rio Pudeto, se ejecutaron co-cultivos de ostra japonesa - pelillo y choro zapato – pelillo, utilizando camillas como módulos de cultivo. Las camillas son de aproximadamente 1 m de alto, 1 m de ancho y 5 m de largo (**Figura 94A**). Para el caso de la ostra, sobre cada camilla se dispusieron 10 bolsas de malla plástica (apertura de malla de 1-1.5 cm) conteniendo aproximadamente 200 semillas de ~3 cm de longitud. Para el caso del choro zapato, se dispusieron 10 cajas plásticas de 26 x 34 x 47 cm con 300 semillas de ~6 cm de longitud y ~20 gr de peso (**Figura 94B**). En el caso de los co-cultivos, bajo las camillas se dispusieron cuerdas inoculadas con pelillo. Se evaluaron los siguientes tratamientos, cada uno con 3 réplicas (camillas):

- Cultivo de choro zapato
- Cultivo de ostra
- Co-cultivo de choro zapato y pelillo
- Co-cultivo de ostra y pelillo
- Control que corresponde a cultivo de pelillo en cuerdas a 20-30 cm del fondo.

Durante agosto del 2020, se sembraron las algas y bivalvos.

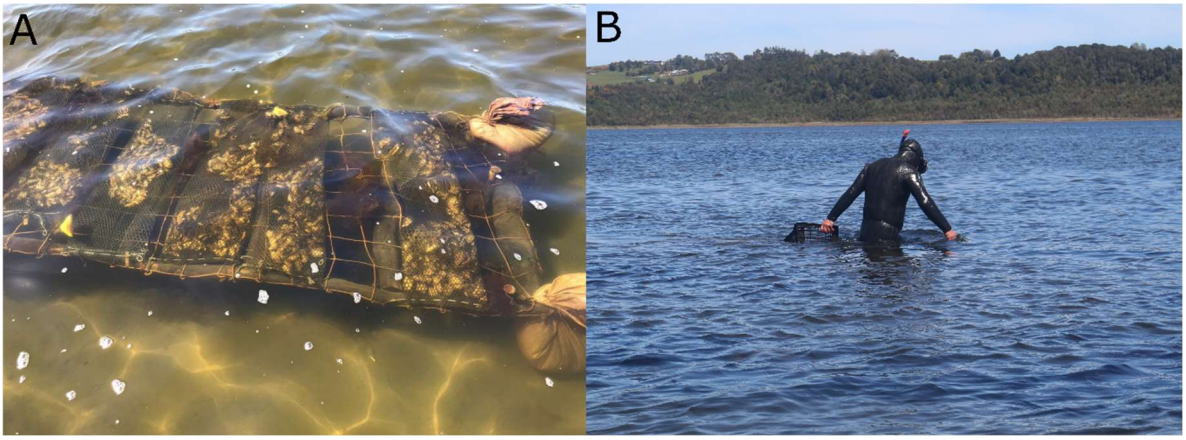


Figura 94. Sistema de cultivo en Pudeto. A) Vista superior co cultivo ostras y algas, B) Instalación de cajas de choro zapato en camillas de co-cultivo.

5.5.1.4. Sitio Dalcahue

En la CCAA en el canal Dalcahue, se ejecutaron dos experiencias de cultivo. La primera correspondiente a un cultivo multi-especies de algas (chicorea y pelillo) en sistema de plansas dispuestos en un long-line. En un sistema de plansas se instalaron 1.125 metros de cuerdas inoculadas para cada especie y en distintas densidades (chicorea: Densidad Alta: 0.5 kg, y Baja: 0.25 kg; pelillo: Densidad Alta: 1 kg, y Baja: 0.5 kg) (**Figura 95**).

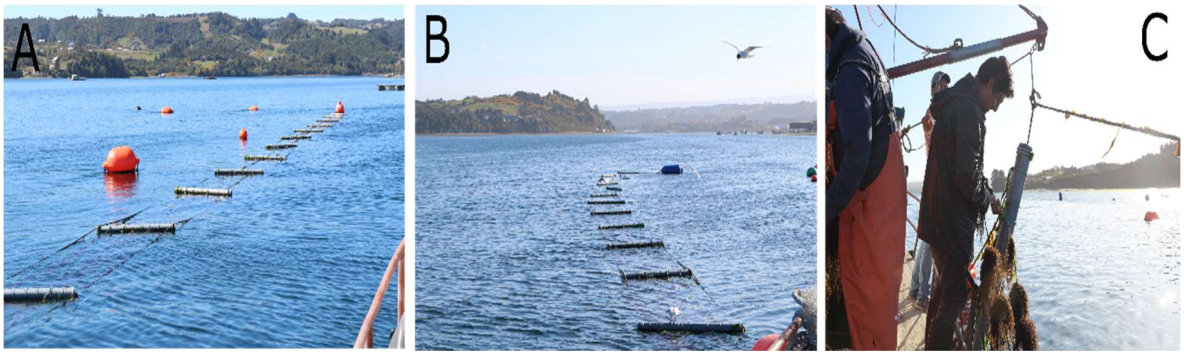


Figura 95. Sistema de cultivo en Dalcahue. A) y B) vista horizontal del sistema de plansas para cultivo de algas. C) Instalación de cuerdas inoculadas en el sistema.

La segunda experiencia consistió en un co-cultivo, dispuesto en un módulo de 5 x 5 m, similar a la balsa gallega (**Figura 96**). Se dispusieron 12 cuelgas de engorda de choritos de 5 m de longitud en conjunto con 30 cuelgas verticales de 5 m inoculadas con material vegetativo de pelillo (1 kg). Se instalaron 3 cuelgas a una distancia aproximada de 200 metros como cultivo de referencia para los choritos.

Figura 96. Balsa para el sistema de co-cultivo bivalvos-algas en Dalcahue. A) y B) Vista horizontal de la balsa de cultivo. C) Instalación de algas y bivalvos en la balsa de cultivo

La instalación del sistema de plansas para los cultivos de pelillo y chicorea se realizó durante agosto del 2020 con apoyo de una embarcación. Una vez instaladas las algas se procedió a la tensión del sistema (**Figura 97**).

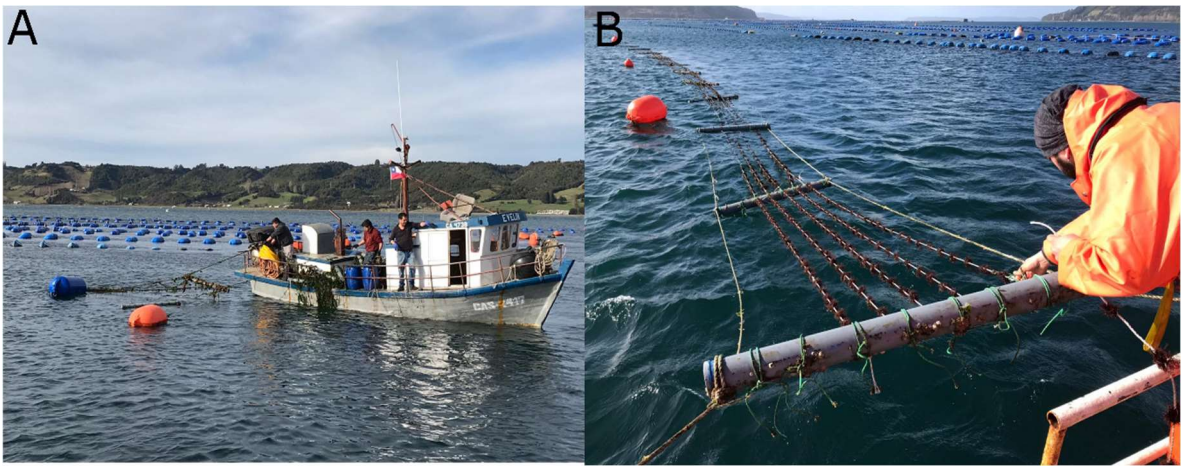


Figura 97. A) Instalación de sistema de plansas desde la embarcación y B) Tensión del sistema de cultivo.

Para el caso de la balsa de cultivo, el sistema se encuentra instalado y en buenas condiciones desde el año 2019, por ello, no fueron necesarias mejoras en su infraestructura. También durante agosto del 2020, se instalaron cuelgas de choritos en conjunto con las líneas de cultivo vertical de pelillo en la balsa de cultivo (**Figura 98**).

Figura 98. Instalación de cuelgas de choritos y de pelillo en la balsa de cultivo en Dalcahue.

5.5.2. Monitoreo del desempeño productivo

5.5.2.1. Sitio Chungungo

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

Ostra japonesa (*C. gigas*)

El día 01 de abril del 201 se realizó la siembra de 24.000 semillas de ostras japonesas en 24 linternas de 10 pisos cada una. Se sembró cada piso con una densidad de 100 individuos con un peso promedio de 1 kg g aproximadamente. Para hacer seguimiento del crecimiento, mortalidad y peso por piso, se identificaron 6 pisos que serán monitoreados mensualmente. Tres de ellos corresponden a los pisos superiores de la linterna a una profundidad de 1,5m y los otros 3 son de pisos inferiores a una profundidad de 3,5 m aproximadamente. La longitud máxima de la valva fue medida en cada uno de los individuos sembrados en los pisos antes mencionados, además se pesaron la totalidad de los individuos por piso para obtener el peso total. La longitud promedio de los individuos sembrados fue de 49,71 ± 8,89 mm para los pisos superiores y 49,51 ± 9,48 mm para los pisos inferiores. El peso total de los pisos superiores fue de 1 ± 0,13 kg y para los pisos inferiores de 1,1 ± 0,08 kg. La preparación de las linternas fue realizada en la caleta de Chungungo y luego fueron llevadas al área de manejo para la siembra (**Figura 99)**.
El día 5 de mayo se realizó la primera evaluación y mantenimiento de las linternas (**Figura 100)**. El mantenimiento consistió en mover las linternas y la evaluación visual de la presencia de fouling. En

cuanto al crecimiento, las ostras de los pisos superiores registraron en promedio de 57,73 ± 9,33 mm y los pisos inferiores, 56 ± 9,63 mm. La supervivencia de los pisos superiores fue de 98 ± 1,15 % y de los pisos inferiores de 98 ± 3,46 %. El peso total promedio en pisos superiores fue de 1,76 ± 0,11 kg y en pisos inferiores de 1,65 ± 0,21 kg (**Figura 101**). Con los resultados de los monitoreos posteriores se realizarán análisis para determinar si existen diferencias significativas en la profundidad de cultivo.

Figura 99. Fotografías de la instalación de cultivo de ostra japonesa en AMERB Chungungo B. A) Ostras entregadas por el proveedor. B) Tamaño de ostras sembradas. C) y D) Socios OPA Organización comunitaria de Buzos mariscadores Los Castillo. E) Linternas de cultivo de 10 pisos. F) Linternas con ostras en el AMERB Chungungo B.

Figura 100. Fotografía de primer monitoreo de linternas de cultivo de ostras japonesas en AMERB Chungungo B.

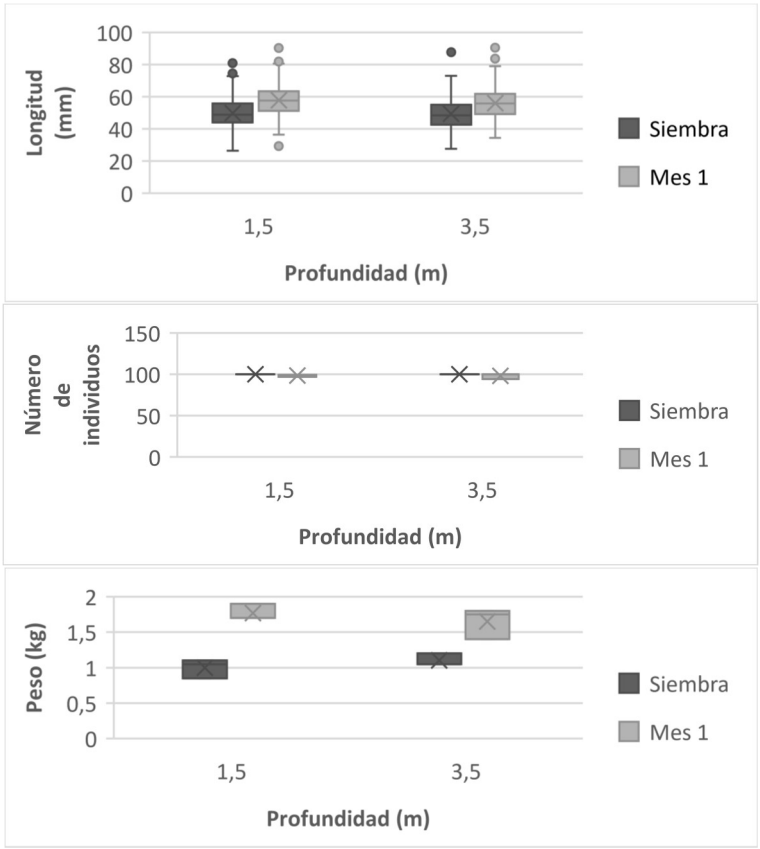


Figura 101. Longitud, mortalidad y peso total de los pisos monitoreados en cultivo de ostra japonesa en AMERB Chungungo B, ubicados a distintas profundidades (1,5 m y 3,5 m) al momento de la siembra y al mes de cultivo.

Ostión del norte (A. *purpuratus*)

El día 28 de mayo del 2021 se realizó la preparación de linternas de cultivo en Caleta de Chungungo. La densidad de siembra fue de 100 semillas de ostión por piso, en 18 linternas de 10 pisos cada una **(Figura 102**). Para estimar el crecimiento, la mortalidad y peso por piso, se seleccionaron al azar 3 pisos superiores que quedarán a una profundidad de 1,5 m y 3 pisos inferiores que quedarán a 3,5 m de profundidad. En cada piso seleccionado se pesaron la totalidad de las semillas y se midieron una muestra de 25 individuos por piso. El tamaño de siembra promedio fue de 12,4 ± 1,8 mm y el peso fue de 32,6 ± 4,5 g (**Figura 103**).

Figura 102. Implementación de cultivo de ostión del norte en Chungungo B. A) y B) Preparación entrega de semillas (cortesía Aquapacifico). C) Semillas de ostión. D) Semillas previo al llenado de linternas. E) F) y G) Linternas con semillas. H) embarcación recibiendo linternas de cultivo.

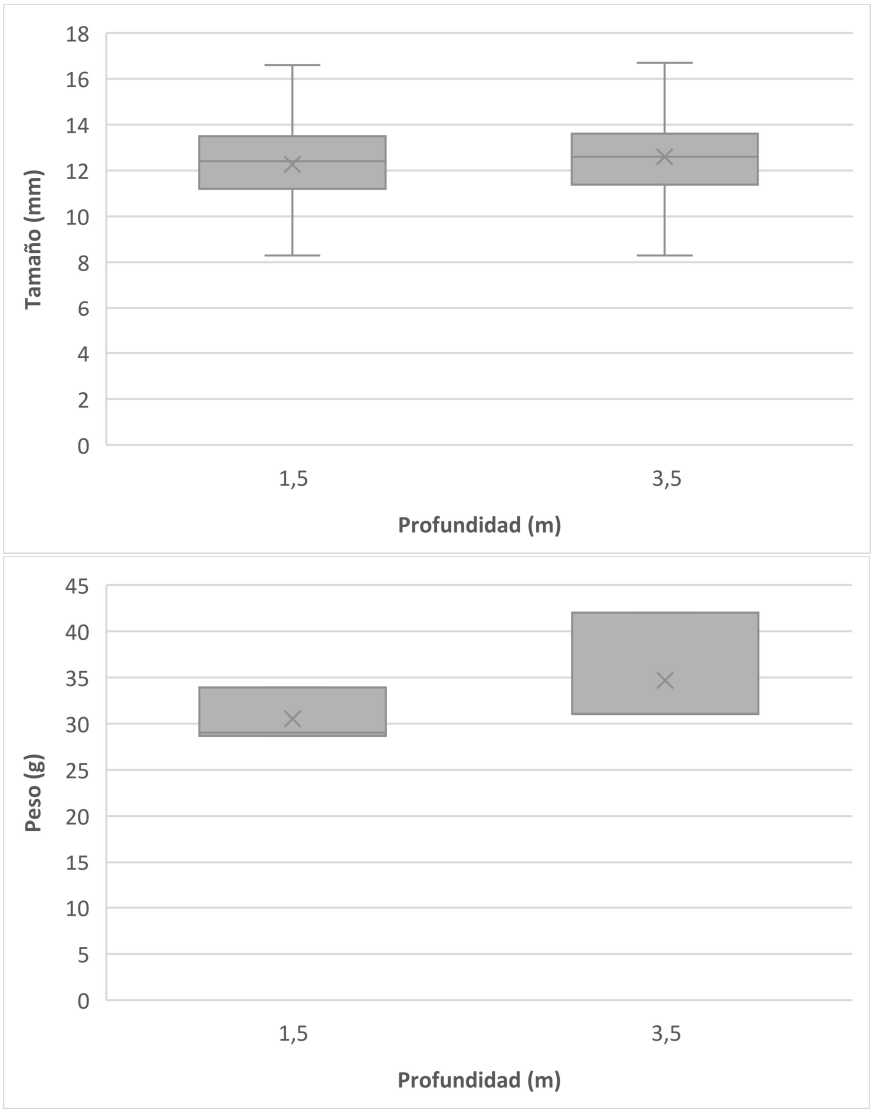


Figura 103. **L**ongitud de semillas y peso total de los pisos sembrados de ostión del norte en AMERB Chungungo B, a distintas profundidades (1,5 m y 3,5 m).

5.5.2.2. Sitio Quinchao

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

Chicorea (*C. chamissoi*)

El cultivo se mantuvo por 162 días. Mensualmente, se cuantificó el peso húmedo del alga y de los epibiontes presentes al momento de la extracción de las muestras desde las unidades de plansa (i.e., segmentos de cinco metros). En las Tablas **16** y **17**, se presentan resultados de biomasa húmeda en cinco metros (alta y baja densidad), y en las Tablas **18** y **19**, el peso húmedo de los epibiontes (alta y baja densidad), respectivamente.

Tabla 16.
Peso húmedo promedio del alga *C. chamissoi* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), alta densidad, en el sitio de cultivo Quinchao. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR
Siembra	04-08-2020	0.5	0	0	0.00
1° monitoreo	01-09-2020	0.55	0.05	0.02	0.34
2° monitoreo	15-10-2020	0.92	0.21	0.07	1.18
3° monitoreo	18-11-2020	1.20	0.14	0.05	0.78
4° monitoreo	03-12-2020	0.86	0.15	0.05	-2.24
5° monitoreo	13-01-2021	0.32	0.12	0.04	-2.42

Tabla 17.
Peso húmedo promedio del alga *C. chamissoi* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), baja densidad, en el sitio de cultivo Quinchao. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR
Siembra	04-08-2020	0.25	0	0	0.
1° monitoreo	01-09-2020	0.29	0.03	0.01	2.52
2° monitoreo	15-10-2020	0.87	0.24	0.08	1.18
3° monitoreo	18-11-2020	1.30	0.34	0.11	-1.17
4° monitoreo	03-12-2020	1.09	0.33	0.11	-2.54
5° monitoreo	13-01-2021	0.39	0.13	0.04	0.50

Tabla 18.
Peso húmedo promedio de los epibiontes en *C. chamissoi* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), alta densidad, en el sitio de cultivo Quinchao. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE
Siembra	04-08-2020	0.0	0.0	0.0
1° monitoreo	01-09-2020	0.0	0.0	0.0
2° monitoreo	15-10-2020	0.04	0.03	0.01
3° monitoreo	18-11-2020	0.11	0.04	0.02
4° monitoreo	03-12-2020	0.09	0.13	0.04
5° monitoreo	13-01-2021	0.19	0.03	0.02

Tabla 19.
Peso húmedo promedio de los epibiontes en *C. chamissoi* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), baja densidad, en el sitio de cultivo Quinchao. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE
Siembra	04-08-2020	0.0	0.0	0.0
1° monitoreo	01-09-2020	0.0	0.0	0.0
2° monitoreo	15-10-2020	0.04	0.03	0.01
3° monitoreo	18-11-2020	0.15	0.09	0.04
4° monitoreo	03-12-2020	0.08	0.08	0.03
5° monitoreo	13-01-2021	0.08	0.03	0.02

La mayor de biomasa luego de 162 días de cultivo, se registró durante el mes de noviembre alcanzando sobre los 1.200 gramos para el cultivo con alta densidad y sobre los 1.300 gramos para baja densidad (**Figura 104**). El aumento de los epifitos se observó desde el día 72, alcanzando un máximo en el mes de enero del 2021 para el cultivo de alta densidad y en noviembre del 2020 para el de baja densidad. Los valores de SGR para ambas densidades, muestran que luego del tercer monitoreo comienzan a disminuir el crecimiento diario. Al comparar la biomasa final, no se observaron diferencias significativas entre ambas densidades (t-student; f=0,51; g.l.=16; p=0,26).

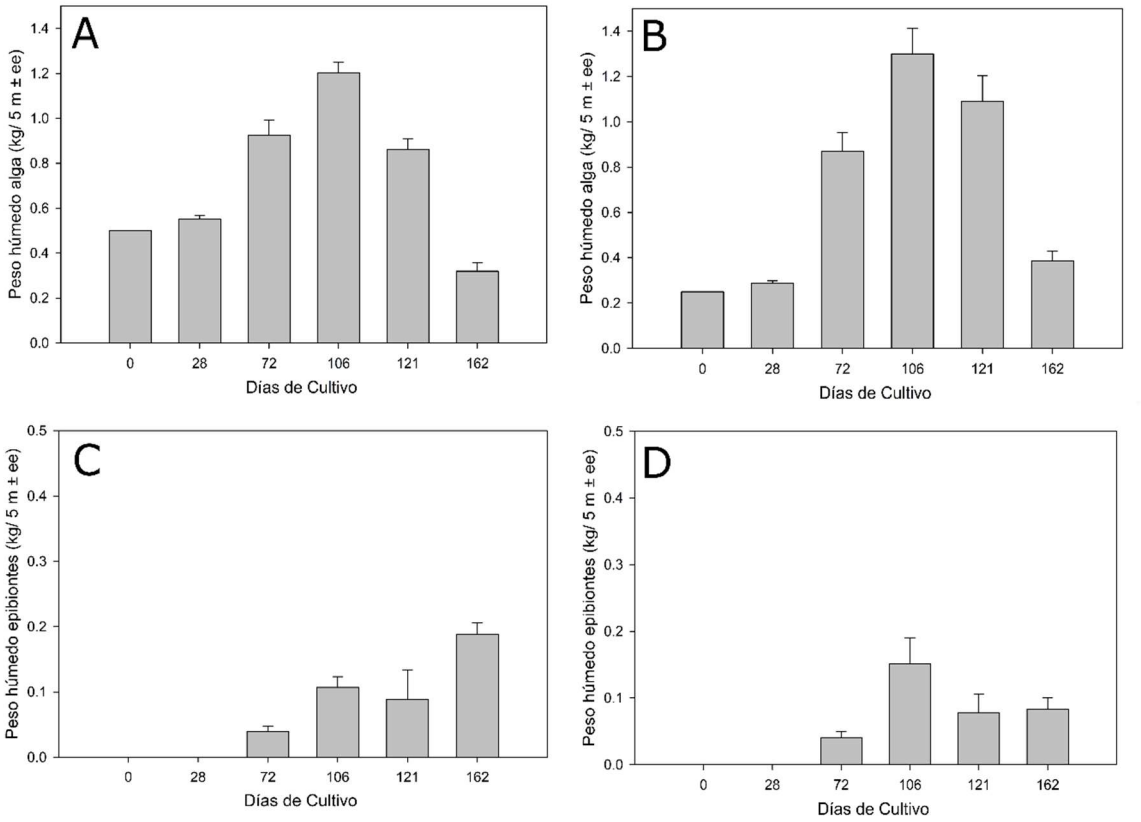


Figura 104. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg / 5m ± EE) en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros) de cultivo de chicorea (*C. chamissoi*), sitio Quinchao. A) Algas en Alta densidad, B) Algas en Baja densidad, C) Epibiontes en Alta densidad, y D) Epibiontes en Baja densidad.

Pelillo (*A. chilense*)

El cultivo se mantuvo por 162 días. Mensualmente, se cuantificó el peso húmedo del alga y de los epibiontes presentes al momento de la extracción de las muestras desde las unidades de plansa (i.e., segmentos de cinco metros). En las Tablas **20** y **21** se presentan resultados de biomasa húmeda en cinco metros (alta y baja densidad), y en las Tablas **22** y **23**, el peso húmedo de los epibiontes (alta y baja densidad), respectivamente.

Tabla 20.
Peso húmedo promedio del alga *A. chilense* en unidades de plansa (N= 9 segmentos), alta densidad, en el sitio de cultivo Quinchao. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR
siembra	04-08-2020	1.0	0.0	0.0	0.00
1° monitoreo	01-09-2020	1.08	0.06	0.02	0.26
2° monitoreo	15-10-2020	1.38	0.43	0.14	0.57
3° monitoreo	18-11-2020	2.05	1.07	0.38	1.16
4° monitoreo	03-12-2020	2.12	1.13	0.40	0.21
5° monitoreo	13-01-2021	0.90	0.83	0.29	-2.09

Tabla 21.
Peso húmedo promedio del alga *A. chilense* en unidades de plansa (N= 9 segmentos), baja densidad, en el sitio de cultivo Quinchao. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR
siembra	04-08-2020	0.5	0.0	0.0	0.00
1° monitoreo	01-09-2020	0.50	0.03	0.01	0.00
2° monitoreo	15-10-2020	0.78	0.18	0.06	1.02
3° monitoreo	18-11-2020	1.75	0.84	0.30	2.36
4° monitoreo	03-12-2020	1.96	1.06	0.37	0.77
5° monitoreo	13-01-2021	0.92	0.65	0.27	-1.86

Tabla 22.
Peso húmedo promedio de los epibiontes en *A. chilense* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), alta densidad, en el sitio de cultivo Quinchao. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE
Siembra	04-08-2020	0.0	0.0	0.0
1° monitoreo	01-09-2020	0.0	0.0	0.0
2° monitoreo	15-10-2020	0.00	0.00	0.00
3° monitoreo	18-11-2020	0.10	0.00	0.00
4° monitoreo	03-12-2020	0.04	0.03	0.01
5° monitoreo	13-01-2021	0.57	0.55	0.27

Tabla 23.
Peso húmedo promedio de los epibiontes en *A. chilense* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), baja densidad, en el sitio de cultivo Quinchao. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE
Siembra	04-08-2020	0.0	0.0	0.0
1° monitoreo	01-09-2020	0.0	0.0	0.0
2° monitoreo	15-10-2020	0.02	0.00	0.00
3° monitoreo	18-11-2020	0.05	0.06	0.04
4° monitoreo	03-12-2020	0.04	0.04	0.02
5° monitoreo	13-01-2021	0.21	0.14	0.10

La mayor biomasa luego de 162 días de cultivo, se registró durante el mes de diciembre, alcanzando sobre los 2.100 gramos para el cultivo con alta densidad y aproximadamente 2.000 gramos para baja densidad (**Figura 105**). El aumento de los epifitos se observó desde el día 72 y 106, para la baja y alta densidad de cultivo, respectivamente. Alcanzando para ambas, valores máximos en enero del 2021. Los valores de SGR para ambas densidades, muestran que luego del tercer monitoreo comienzan a disminuir el crecimiento diario. Al comparar la biomasa final, no se observaron diferencias significativas entre ambas densidades (t-student; f=0,22; g.l.=14; p=0,58).

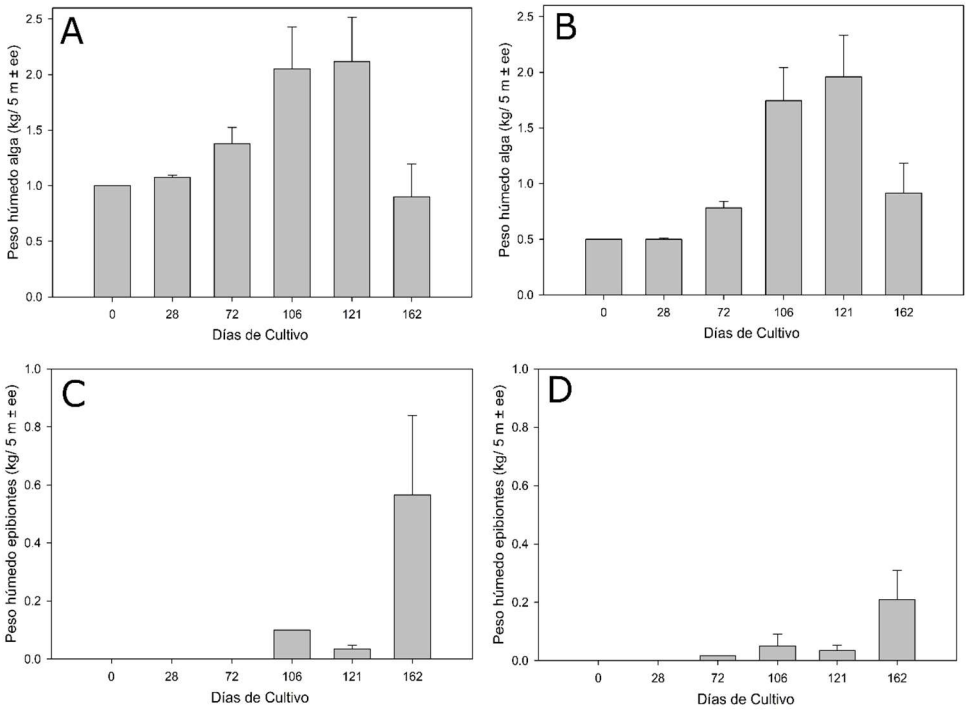


Figura 105. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg / 5m ± EE) en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros) de cultivo de pelillo (*A. chilense*), sitio Quinchao. A) Algas en Alta densidad, B) Algas en Baja densidad, C) Epibiontes en Alta densidad, y D) Epibiontes en Baja densidad.

5.5.2.3. Sitio Pudeto

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

Pelillo (*A. chilense*)

El cultivo se mantuvo por 150 días. Mensualmente, se cuantificó el peso húmedo del alga para cada uno de los tratamientos y el peso de los epibiontes presentes al momento de la extracción de las muestras (i.e., segmentos de cinco metros) en las camillas de cultivo. En la **Tabla 24**, se presentan resultados de biomasa húmeda en cinco metros, para tratamiento solo algas, co-cultivo con ostras, y co-cultivo con choro zapato. No se observó la aparición de organismos espibiones hasta el último monitoreo.

Tabla 24.

Peso húmedo promedio de *A. chilense* en cinco metros lineales (N=6 segmentos), en camillas solo con algas, co-cultivo con ostras y co-cultivo con choro zapato, sitio Pudeto. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

		Solo Algas				Algas + Ostras				Algas + Choros			
	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR
siembra	15-08-2020	1.35	0.18	0.03	0	1.35	0.18	0.03	0	1.35	0.18	0.03	0
1° monitoreo	04-09-2020	2.29	0.30	0.17	2.66	2.09	0.24	0.09	2.21	1.42	0.21	0.09	0.27
2° monitoreo	22-10-2020	7.00	1.92	0.86	2.32	4.08	0.78	0.35	1.39	1.83	0.50	0.20	0.52
3° monitoreo	10-11-2020	7.64	2.48	1.11	0.46	5.08	1.52	0.68	1.15	1.52	0.49	0.20	-0.98
4° monitoreo	01-12-2020	7.78	3.24	1.45	0.09	4.98	2.29	1.03	-0.09	1.33	0.42	0.17	-0.64
5° monitoreo	12-01-2021	3.46	1.67	0.75	-1.93	4.47	2.36	1.06	-0.26	0.84	0.38	0.15	-1.10

La acumulación mayor de biomasa en el tratamiento control (solo algas), se registró durante el mes de diciembre alcanzando 7.600 (**Figura 106A**). En los tratamientos de co-cultivo con ostras y choro zapato, la acumulación de mayor biomasa ocurrió durante noviembre, alcanzando 5.080 gramos, y en octubre con 1.830 gramos, respectivamente (**Figura 106B** y **C**). Los valores de SGR para el tratamiento control y co-cultivo con ostras, comienzan a disminuir desde el tercer monitoreo, y para el co-cultivo con choro zapato, luego el segundo.

Al comparar la biomasa final (GLM ANOVA; Tukey test), se observaron diferencias significativas entre las densidades (f=7,4; g.l.=2; p=0,007), principalmente por los mayores valores observados en el tratamiento control. No se observó una presencia significativa de los epifitos durante todo el periodo de cultivo.

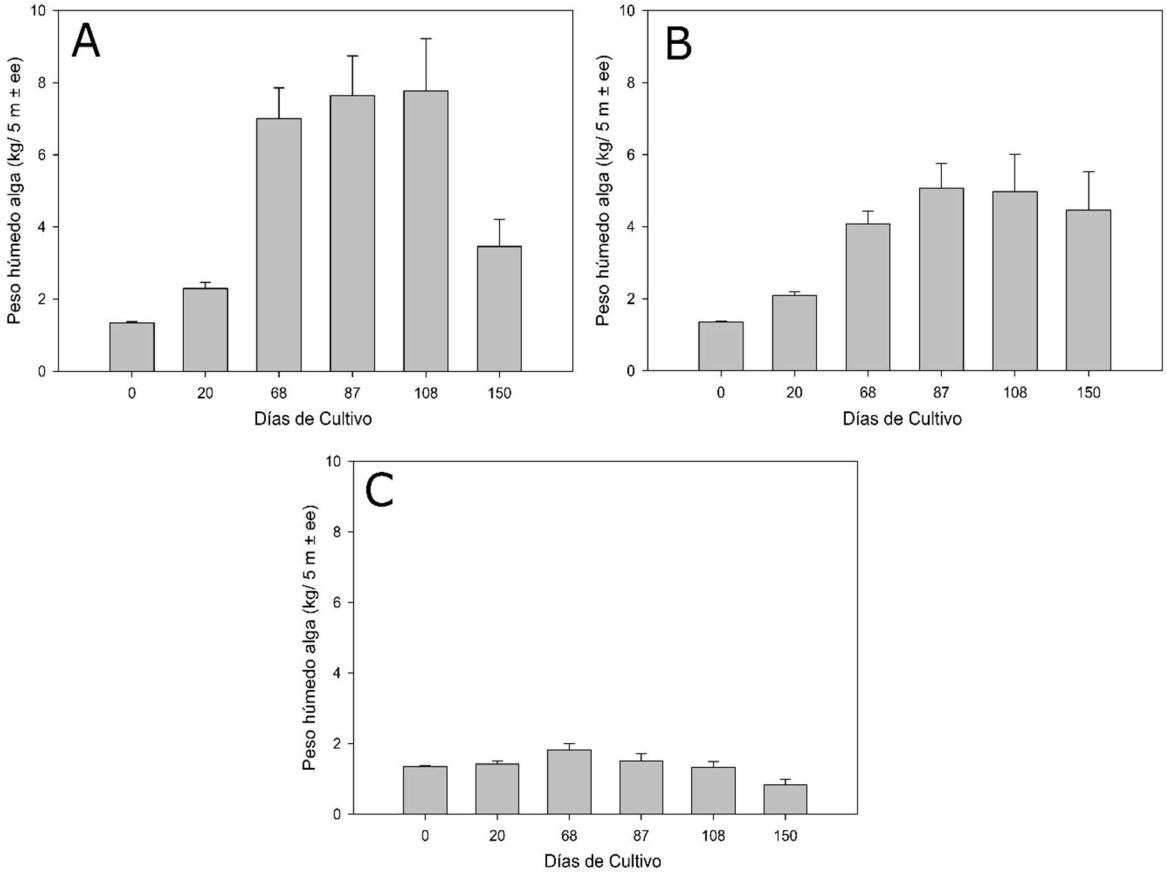


Figura 106. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg / 5m ± EE) de *A. chilense* en cinco metros lineales (N=6 segmentos), sitio Pudeto. A) Solo algas; B) Co-cultivo con *C. gigas*; C) Co-cultivo con *C. chorus*.

Ostras (*C. gigas)*

El cultivo se mantuvo por 223 días. Mensualmente, se cuantificó el peso húmedo de las mallas de ostras. En la **Tabla 25**, se presentan resultados de biomasa húmeda para los tratamientos solo ostras (6) y co-cultivo algas y ostras (6). La densidad inicial de siembra fue de 200 individuos por malla de cultivo (10 mallas por camilla de cultivo).

Tabla 25.
Peso húmedo promedio de las mallas de ostra *C. gigas*, sitio Pudeto. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

		Solo Ostra				Algas + Ostras			
	Fecha	Peso húmedo (kg)	DS	EE	SGR	Peso húmedo (kg)	DS	EE	SGR
siembra	15-08-2020	1.02	0.33	0.06	0	1.02	0.33	0.06	0
1° monitoreo	04-09-2020	1.32	0.36	0.15	1.27	1.15	0.18	0.07	0.59
2° monitoreo	22-10-2020	1.84	0.34	0.14	0.69	1.87	0.23	0.09	1.01
3° monitoreo	10-11-2020	2.31	0.43	0.17	1.20	2.28	0.39	0.16	1.03
4° monitoreo	01-12-2020	3.30	0.51	0.21	1.70	3.54	0.53	0.22	2.10
5° monitoreo	12-01-2021	5.49	0.80	0.33	1.21	6.47	1.32	0.54	1.43
6° monitoreo	18-02-2021	7.16	1.39	0.57	0.72	8.43	1.19	0.48	0.72
7° monitoreo	26-03-2021	9.87	1.67	0.68	0.89	8.99	1.92	0.79	0.18

Ambos tratamientos mostraron un crecimiento sostenido durante el período de cultivo (**Figura 107**), obteniéndose los mayores incrementos en el período final de primavera y verano. Luego de 223 días de cultivo, el tratamiento ostra+ alga, obtuvo un valor menor (8.99 kg) en comparación al tratamiento solo ostra (9.87 kg). Sin embargo, dichas diferencias no fueron estadísticamente significativas (t-student; f=0,055; g.l. = 10; p=0,420). Los valores de SGR muestran que las mayores tasas de crecimiento se obtienen entre noviembre y enero.
No se observó una presencia significativa de los epifitos en las mallas durante todo el periodo de cultivo.

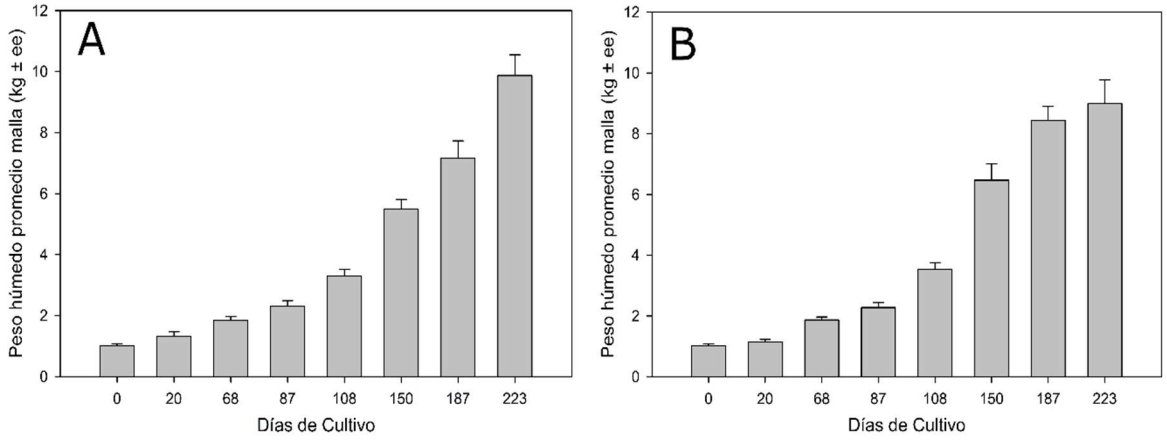


Figura 107. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg ± EE) para ostra *C. gigas* cultivadas en mallas, sitio Pudeto. A) solo ostras, y B) Co-cultivo con *A. chilense*.

Índice de Condición e índice de rendimiento productivo.

En la **Tabla 26**, se presentan resultados de rendimiento productivo de *C. gigas* para los tratamientos solo ostras y ostra + alga. En la **Figura 108** se presentan los gráficos para el índice de condición (IC) y para el índice de rendimiento productivo (IRP) en ambos tratamientos. Ambos índices están asociados a la reproducción y alimentación de los organismos, permitiendo observar si estos se encuentran en una condición de alta o baja calidad.

Tabla 26.
Rendimiento productivo para ostra *C. gigas* cultivadas en mallas, sitio Pudeto. IC = índice de condición, IRP = índice de rendimiento productivo; EE = error estándar.

		Solo Ostra				Algas + Ostras			
	Fecha	IC%	EE	IRP%	EE	IC%	EE	IRP%	EE
1° monitoreo	04-09-2020	14.98	6.29	13.03	5.21	14.98	6.29	13.03	5.21
2° monitoreo	22-10-2020	24.48	5.64	19.67	4.60	42.79	10.25	29.97	7.29
3° monitoreo	10-11-2020	16.73	7.43	14.33	5.80	22.20	6.05	18.17	4.87
4° monitoreo	01-12-2020	35.00	11.66	25.92	7.87	45.80	10.52	31.41	7.61
5° monitoreo	12-01-2021	36.03	12.15	26.49	8.12	41.53	12.45	29.35	8.37
6° monitoreo	18-02-2021	32.61	14.83	24.59	9.50	43.60	18.57	30.36	10.59
7° monitoreo	26-03-2021	22.76	6.62	18.54	5.31	35.24	10.29	26.04	7.57

Se observaron valores mayores en el índice de condición en el co-cultivo ostra y algas en comparación al tratamiento solo ostra, pero la tendencia fue similar para ambos, alcanzando un máximo de 45% para ostra + alga y un 36% para solo ostra, en diciembre y enero, respectivamente (**Figura 108A**). Para el índice de rendimiento productivo, la tendencia fue similar para ambos tratamientos, pero los valores del tratamiento ostra + alga fueron siempre levemente mayores. Se observó una baja en los valores para ambos tratamientos durante los 87 días de cultivo (**Figura 108B**).
Al comparar los índices finales durante el período de cultivo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (t-student; f=0,523; g.l.=38; p=0,474).

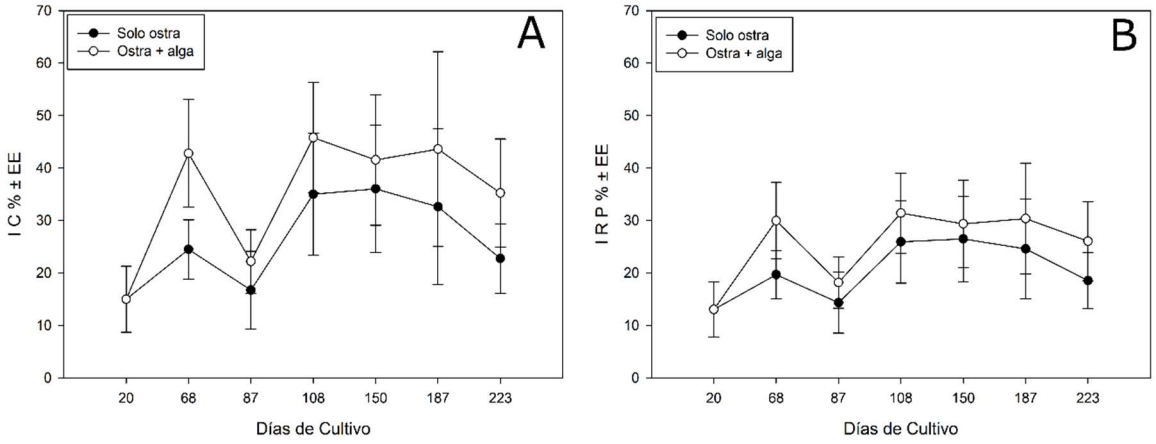


Figura 108. Rendimiento productivo promedio (% ± EE) para ostra *C. gigas* (N=20) cultivadas en mallas, sitio Pudeto. A) Índice de condición promedio, B) Índice de rendimiento productivo.

Choro zapato (*C. chorus)*

El cultivo se mantuvo por 223 días. Mensualmente, se cuantificó el peso húmedo de las cajas de choro zapato. En la **Tabla 27**, se presentan resultados de biomasa húmeda para los tratamientos solo choro zapato y algas + choro zapato. La densidad inicial de siembra fue de 300 individuos por caja de cultivo (10 cajas por camilla de cultivo).

Tabla 27.
Peso húmedo promedio de choro zapato *C. chorus*, en cajas de cultivo, sitio Pudeto. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

		Solo Choro zapato				Algas + Choro zapato			
	Fecha	Peso húmedo (kg)	DS	EE	SGR	Peso húmedo (kg)	DS	EE	SGR
siembra	15-08-2020	5.00	0.00	0.00	0	5.00	0.00	0.00	0
1° monitoreo	04-09-2020	5.02	0.23	0.09	0.02	5.62	0.26	0.11	0.59
2° Monitoreo	22-10-2020	5.60	0.36	0.15	0.23	5.59	1.85	0.76	-0.01
3° monitoreo	10-11-2020	6.27	0.34	0.14	0.60	5.42	1.71	0.70	-0.16
4° Monitoreo	01-12-2020	7.20	0.41	0.17	0.65	6.53	1.93	0.79	0.89
5° monitoreo	12-01-2021	7.82	0.53	0.21	0.20	7.82	1.80	0.74	0.43
6° Monitoreo	18-02-2021	8.86	1.95	0.79	0.34	8.73	1.95	0.79	0.30
7° Monitoreo	26-03-2021	8.57	0.49	0.20	-0.09	8.74	1.75	0.72	0.00

Luego de los 223 días de cultivo, el tratamiento solo choro zapato, obtuvo un valor levemente mayor (8.86 kg) al tratamiento de co-cultivo choro zapato y alga (8.73 kg). Los valores de SGR muestran que las mayores tasas de crecimiento se obtienen entre noviembre y diciembre, y entre diciembre y enero para los tratamientos solo choro zapato y co-cultivo, respectivamente (**Figura 109**). No se observaron diferencias estadísticamente significativas al comparar los pesos finales obtenidos entre tratamientos (t-student; f=1,663; g.l.=38; p=0,205). No se observó una presencia significativa de los epifitos en las cajas durante todo el periodo de cultivo.

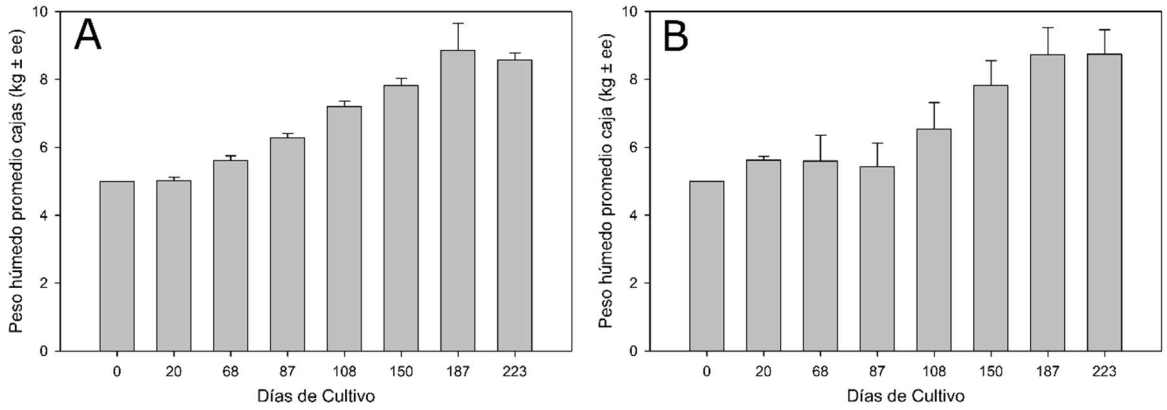


Figura 109. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg ± EE) para choro zapato *C. chorus* en cajas, sitio Pudeto. A) solo choro zapato, y B) Co-cultivo con *A. chilense*.

Índice de Condición e índice de rendimiento productivo.

En la **Tabla 28**, se presentan resultados de rendimiento productivo de *C. chorus* para los tratamientos solo choro y algas + choro. En la **Figura 110** se presentan los gráficos para el índice de condición (IC) y para el índice de rendimiento productivo (IRP) en ambos tratamientos.

Tabla 28.
Rendimiento productivo para *C. chorus* cultivadas en cajas, sitio Pudeto. IC = índice de condición, IRP = índice de rendimiento productivo; EE = error estándar.

		Solo choro zapato				Algas + choro zapato			
	Fecha	IC%	EE	IRP%	EE	IC%	EE	IRP%	EE
1° monitoreo	04-09-2020	57.99	11.24	36.70	7.73	57.99	11.24	36.70	7.73
2° monitoreo	22-10-2020	73.27	18.61	42.29	11.44	71.94	17.64	41.84	12.98
3° monitoreo	10-11-2020	65.39	16.11	39.54	10.76	62.41	28.13	38.43	13.21
4° monitoreo	01-12-2020	58.16	14.97	36.77	10.28	61.93	16.11	38.24	9.81
5° monitoreo	12-01-2021	56.07	23.08	35.93	12.05	68.07	20.43	40.50	10.90
6° monitoreo	18-02-2021	66.50	25.90	39.94	13.03	67.68	23.00	40.36	11.59
7° monitoreo	26-03-2021	51.05	19.96	33.80	10.86	57.90	22.87	36.67	12.21

Para el índice de condición, ambos tratamientos alcanzaron un valor máximo en el segundo monitoreo (octubre) (solo choro zapato 73 % y co-cultivo 71%) (**Figura 110A**). Para el índice de rendimiento productivo, la tendencia de los porcentajes fue similar para ambos tratamientos, aunque los valores del co-cultivo, luego del segundo monitoreo, fueron levemente mayores.
Al comparar los índices finales del período de cultivo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (t-student; f=1,663; g.l.=8; p=0,205).

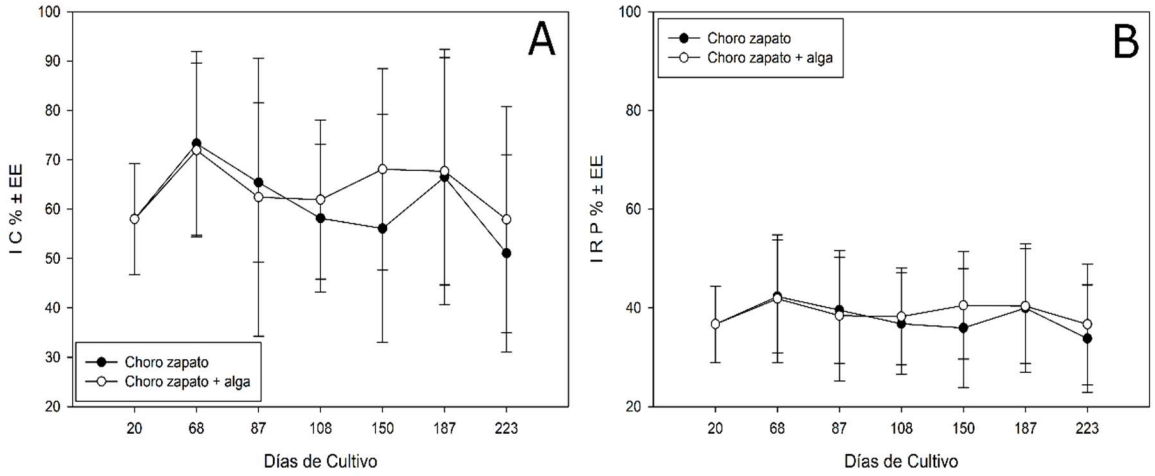


Figura 110. Rendimiento productivo promedio (% ± EE) para *C. chorus* (N=20) cultivados en cajas, sitio Pudeto. A) Índice de condición promedio, B) Índice de rendimiento productivo.

5.5.2.4. Sitio Dalcahue

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

Chicorea (*C. chamissoi*)

El cultivo se mantuvo por 171 días. Mensualmente, se cuantificó el peso húmedo del alga y de los epibiontes presentes al momento de la extracción de las muestras desde las unidades de plansa (i.e., segmentos de cinco metros). En las **Tablas 29** y **30**, se presentan resultados de biomasa húmeda en cinco metros (alta y baja densidad), y en las **Tablas 31** y **32**, el peso húmedo de los epibiontes (alta y baja densidad), respectivamente.

Tabla 29

Peso húmedo promedio del alga *C. chamissoi* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), alta densidad, en el sitio de cultivo Dalcahue. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR
Siembra	28-07-2020	0.5	0	0	0.0
1° monitoreo	02-09-2020	0.70	0.13	0.04	0.9
2° monitoreo	16-10-2020	2.43	0.72	0.24	2.8
3°Monitoreo	12-11-2020	3.83	1.40	0.47	1.7
4°Monitoreo	02-12-2020	3.75	1.74	0.58	-0.1
5°Monitoreo	15-01-2021	0.68	0.30	0.10	-3.9

Tabla 30.

Peso húmedo promedio del alga *C. chamissoi* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), baja densidad, en el sitio de cultivo Dalcahue. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR
Siembra	28-07-2020	0.25	0	0	0.0
1° monitoreo	02-09-2020	0.72	0.19	0.06	3.0
2° monitoreo	16-10-2020	2.06	0.60	0.20	2.4
3°Monitoreo	12-11-2020	3.38	1.31	0.44	1.8
4°Monitoreo	02-12-2020	3.36	1.08	0.36	0.0
5°Monitoreo	15-01-2021	0.90	0.33	0.11	-3.0

Tabla 31.

Peso húmedo promedio de los epibiontes en *C. chamissoi* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), alta densidad, en el sitio de cultivo Dalcahue. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE
Siembra	28-07-2020	0.0	0.0	0.0
1° monitoreo	02-09-2020	0.0	0.0	0.0
2° monitoreo	16-10-2020	0.26	0.16	0.05
3°Monitoreo	12-11-2020	0.35	0.32	0.11
4°Monitoreo	02-12-2020	0.27	0.26	0.09
5°Monitoreo	15-01-2021	0.15	0.04	0.01

Tabla 32.
Peso húmedo promedio de los epibiontes en *C. chamissoi* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), baja densidad, en el sitio de cultivo Dalcahue. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE
Siembra	28-07-2020	0.0	0.0	0.0
1° monitoreo	02-09-2020	0.0	0.0	0.0
2° monitoreo	16-10-2020	0.40	0.33	0.11
3°Monitoreo	12-11-2020	0.19	0.11	0.04
4°Monitoreo	02-12-2020	0.38	0.22	0.07
5°Monitoreo	15-01-2021	0.26	0.11	0.04

La mayor biomasa algal se registró durante el mes de noviembre, alcanzando 3.830 y 3.338 gramos, para cultivo de alta y baja densidad, respectivamente (**Figura 111**). Para ambos tratamientos, los valores de SGR fueron positivos durante los meses de primavera. Al comparar la biomasa final obtenida, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambas densidades (t-student; f=0,020; g.l.=16; p=0,15).
El aumento de los epifitos se observó desde los 80 días de cultivo para ambas densidades de cultivo, alcanzando un máximo en el mes de noviembre y octubre, para alta y baja densidad, respectivamente.

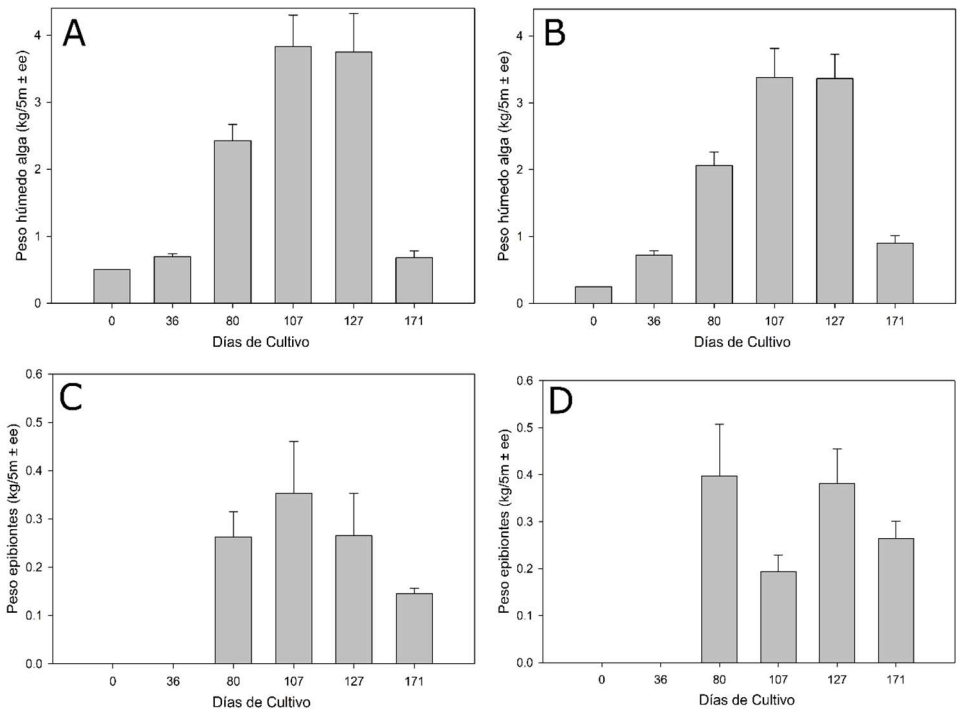


Figura 111. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg / 5m ± EE) en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros) de cultivo de chicorea (*C. chamissoi*), sitio Dalcahue. A) Algas en Alta densidad, B) Algas en Baja densidad, C) Epibiontes en Alta densidad, y D) Epibiontes en Baja densidad.

Pelillo (*A. chilense*)

El cultivo se mantuvo por 171 días. Mensualmente, se cuantificó el peso húmedo del alga y el peso de los epibiontes presentes al momento de la extracción de las muestras (i.e., segmentos de cinco metros). En las **Tablas 33** y **34**, se presentan resultados de biomasa húmeda en cinco metros (alta y baja densidad), y en las **Tablas 35** y **36**, el peso húmedo de los epibiontes (alta y baja densidad), respectivamente.

Tabla 33.
Peso húmedo promedio del alga *A. chilense* en unidades de plansa (N= 9 segmentos), alta densidad, en el sitio de cultivo Dalcahue. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR
Siembra	28-07-2020	1.00	0.00	0.00	0.00
1° monitoreo	02-09-2020	1.72	0.31	0.10	1.5
2° monitoreo	16-10-2020	3.54	1.58	0.53	1.6
3°Monitoreo	12-11-2020	4.68	1.66	0.55	1.0
4°Monitoreo	02-12-2020	5.30	2.49	0.87	0.6
5°Monitoreo	15-01-2021	3.54	2.33	0.82	-0.9

Tabla 34.
Peso húmedo promedio del alga *A. chilense* en unidades de plansa (N= 9 segmentos), baja densidad, en el sitio de cultivo Dalcahue. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR
Siembra	28-07-2020	0.50	0.00	0.00	0.00
1° monitoreo	02-09-2020	0.85	0.22	0.07	1.5
2° monitoreo	16-10-2020	2.92	0.93	0.31	2.8
3°Monitoreo	12-11-2020	3.71	1.65	0.55	0.9
4°Monitoreo	02-12-2020	3.84	1.19	0.45	0.2
5°Monitoreo	15-01-2021	3.28	2.64	0.93	-0.4

Tabla 35.
Peso húmedo promedio de los epibiontes en *A. chilense* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), alta densidad, en el sitio de cultivo Dalcahue. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE
Siembra	28-07-2020	0.0	0.0	0.0
1° monitoreo	02-09-2020	0.0	0.0	0.0
2° monitoreo	16-10-2020	0.43	0.24	0.08
3°Monitoreo	12-11-2020	0.40	0.37	0.12
4°Monitoreo	02-12-2020	0.41	0.35	0.12
5°Monitoreo	15-01-2021	0.41	0.21	0.08

Tabla 36.
Peso húmedo promedio de los epibiontes en *A. chilense* en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros), baja densidad, en el sitio de cultivo Dalcahue. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE
Siembra	28-07-2020	0.0	0.0	0.0
1° monitoreo	02-09-2020	0.0	0.0	0.0
2° monitoreo	16-10-2020	0.42	0.24	0.08
3°Monitoreo	12-11-2020	0.27	0.15	0.05
4°Monitoreo	02-12-2020	0.66	0.66	0.25
5°Monitoreo	15-01-2021	0.38	0.15	0.05

La mayor biomasa algal se registró durante el mes de diciembre, alcanzando 5.300 y 3.840 gramos, para cultivo de alta y baja densidad, respectivamente (**Figura 112**). Para ambos tratamientos, los valores más altos de SGR se obtuvieron durante los meses de primavera (septiembre y octubre, principalmente). Al comparar la biomasa final obtenida, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambas densidades (t-student; f=0,020; g.l.=16; p=0,89). El aumento de los epifitos se observó desde el día 80 para ambas densidades, alcanzando valores máximos en diciembre.

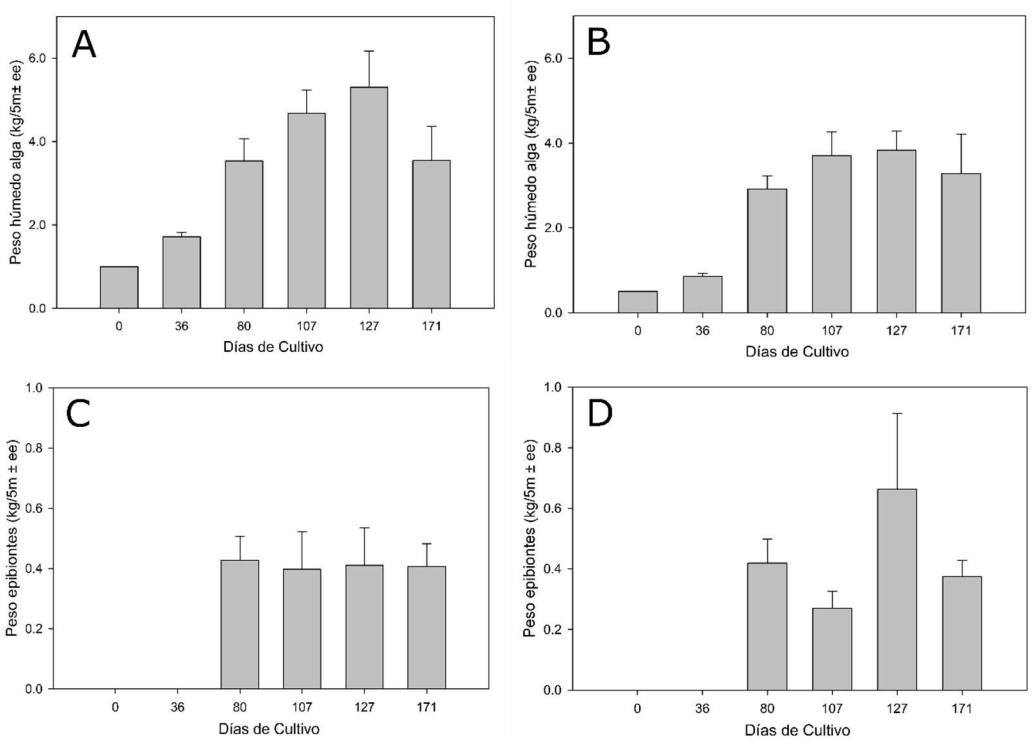


Figura 112. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg / 5m ± EE) en unidades de plansa (N= 9 segmentos de cinco metros) de cultivo de pelillo (*A. chilense*), sitio Dalcahue. A) Algas en Alta densidad, B) Algas en Baja densidad, C) Epibiontes en Alta densidad, y D) Epibiontes en Baja densidad.

Balsa de cultivo para algas y bivalvos

A continuación, se presentan los resultados del primer ciclo productivo en balsa realizado en el sitio Dalcahue.

Pelillo (*A. chilense*)

El cultivo se mantuvo por 171 días. Se cuantificó el peso húmedo del alga y el peso de los epibiontes presentes al momento de la extracción de las muestras (i.e., segmentos de cinco metros en cultivo vertical). En las **Tablas 37** y **38** se presentan resultados de peso húmedo promedio del alga y peso húmedo promedio de epibiontes en líneas verticales de cinco metros.

Tabla 37.
Peso húmedo promedio del alga *A. chilense* en cinco metros de cultivo vertical (N= 6 segmentos), sistema de balsa en el sitio Dalcahue. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE	SGR
Siembra	28-07-2020	1.0	0.0	0.0	0.0
1°Monitoreo	02-09-2020	1.02	0.12	0.05	0.1
2°Monitoreo	16-10-2020	1.07	0.25	0.10	0.1
3°Monitoreo	12-11-2020	0.78	0.18	0.07	-0.3
4°Monitoreo	02-12-2020	0.52	0.34	0.14	-0.3
5°Monitoreo	15-01-2021	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 38.
Peso húmedo promedio de los epibiontes en *A. chilense* en cinco metros de cultivo vertical (N=6 segmentos), sistema de balsa en el sitio Dalcahue. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

	Fecha	Peso húmedo (kg / 5m)	DS	EE
Siembra	28-07-2020	0.0	0.0	0.0
1° monitoreo	02-09-2020	0.03	0.01	0.01
2° monitoreo	16-10-2020	0.08	0.06	0.02
3°Monitoreo	12-11-2020	0.26	0.16	0.07
4°Monitoreo	02-12-2020	0.11	0.11	0.05
5°Monitoreo	15-01-2021	0.0	0.0	0.0

La mayor biomasa algal se registró durante el mes de octubre, alcanzando 1.070 gramos, valor levemente superior al de siembra, luego de esto, la biomasa comenzó a decaer (**Figura 113**). Los valores de SGR muestran que, a partir del mes de noviembre, las algas comienzan a disminuir su crecimiento diario, el cual fue muy inferior en comparación al alga cultivada en el sistema de plansas. Al final del ciclo de cultivo, se observó que las cuelgas con algas comenzaron a descomponerse.
Los epibiontes aumentaron desde el día 36 de cultivo, alcanzando un máximo en el mes de noviembre (**Figura 113**).

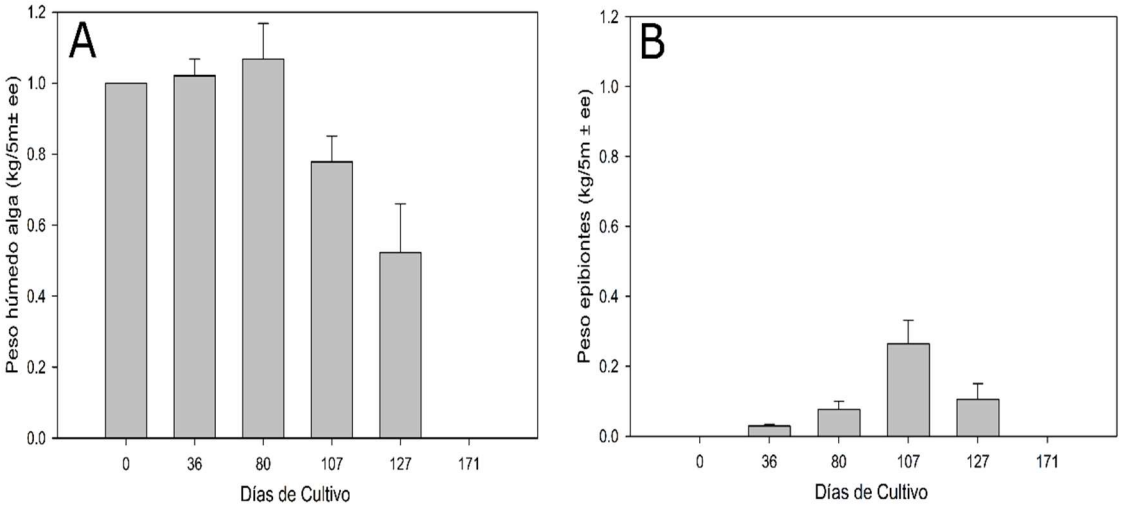


Figura 113. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg / 5m ± EE) en cinco metros de cultivo vertical para pelillo (*A. chilense*) (N= 6 segmentos), sistema de balsa en el sitio Dalcahue. A) Algas y B) Epibiontes.

Chorito (*M. chilensis*)

El cultivo se mantuvo por 216 días. Mensualmente, se cuantificó el peso húmedo de las cuelgas de choritos (N= 6) cultivadas en conjunto con pelillo en la balsa. En la **Tabla 39**, se presentan resultados de crecimiento en biomasa húmeda. La densidad inicial de siembra fue de aproximadamente 3.000 semillas, dispuestas en cuelgas de 5 metros.

Tabla 39.
Peso húmedo promedio de cuelgas de *M. chilensis* (N=6), sistema de balsa en el sitio Dalcahue. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

	Fecha	Peso húmedo (Kg)	DS	EE	SGR
Siembra	28-07-2020	6.69	0.73	0.20	0.0
1° monitoreo	02-09-2020	7.17	0.91	0.52	0.19
2° Monitoreo	16-10-2020	8.43	1.96	1.13	0.37
3° Monitoreo	12-11-2020	10.67	1.89	1.09	0.87
4° Monitoreo	02-12-2020	10.71	0.63	0.36	0.02
5° Monitoreo	15-01-2021	15.49	1.34	0.77	1.85
6° Monitoreo	17-02-2021	18.17	1.48	0.85	0.48
7° Monitoreo	25-03-2021	19.47	1.92	1.10	0.19

Las cuelgas de chorito mostraron un crecimiento sostenido durante el cultivo, alcanzado aproximadamente 20 kilos al final del período. Los valores de SGR mostraron que los organismos fueron en aumento con su crecimiento diario hasta el tercer monitoreo (noviembre), luego de esto presentaron una baja, para luego volver a aumentar en el quinto monitoreo (enero), donde se obtuvo el valor máximo de SGR (1.85) (**Figura 114**). Se observó la presencia de organismos epibiontes en las cuelgas de cultivo, pero en cantidades muy bajas.

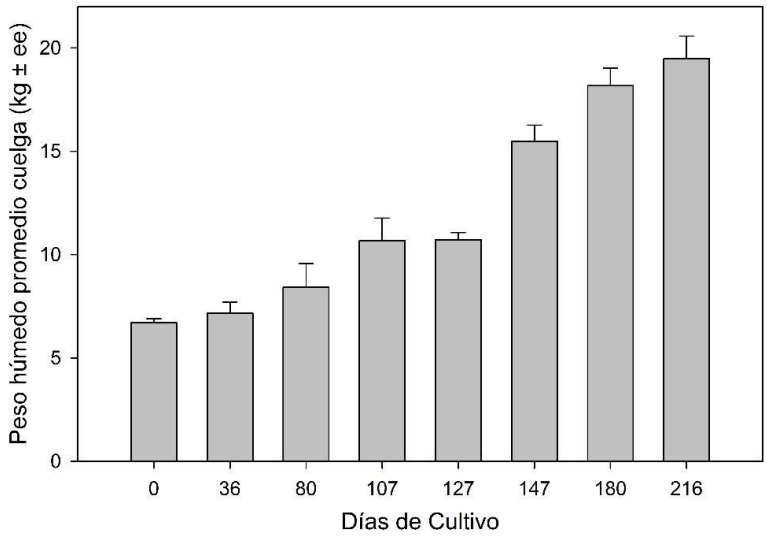


Figura 114. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg ± EE)) de cuelgas de *M. chilensis* (N=6) en co-cultivo con pelillo, sistema de balsa en el sitio Dalcahue.

Índice de Condición e índice de rendimiento productivo.

En la **Tabla 40**, se presentan resultados de rendimiento productivo de *M. chilensis* para los tratamientos balsa de cultivo y control. En la **Figura 115** se presentan los gráficos para el índice de condición (IC) y para el índice de rendimiento productivo (IRP) en ambos tratamientos.

Tabla 40.
Rendimiento productivo para *M. chilensis* cultivadas en balsa y en sistema control, sitio Dalcahue. IC = índice de condición, IRP = índice de rendimiento productivo; EE = error estándar.

		Balsa				Control			
	Fecha	IC%	EE	IRP%	EE	IC%	EE	IRP%	EE
1° monitoreo	12-09-2019	28.81	6.25	22.37	5.88	29.97	9.27	23.06	7.11
2° monitoreo	18-10-2019	32.61	10.25	24.59	7.33	24.80	7.92	19.87	5.97
3° monitoreo	20-11-2019	31.65	20.75	24.04	12.47	40.08	13.30	28.61	8.53
4° monitoreo	18-12-2019	59.53	17.32	37.32	9.95	39.65	13.96	28.39	9.11
5° monitoreo	15-01-2020	61.84	17.94	38.21	10.64	43.24	15.48	30.19	10.11
6° monitoreo	11-02-2020	90.81	25.49	47.59	12.34	67.57	19.30	40.32	11.48
7° monitoreo	10-03-2020	72.24	24.34	41.94	11.99	65.71	23.22	39.65	11.65

Se observaron valores mayores en el indicie de condición para el tratamiento balsa desde los 127 días de cultivo. Para el caso del tratamiento control, los valores fueron menores, exceptuando a los 107 días de cultivo, donde el valor fue mayor (40%) (**Figura 115A**). Para el caso del índice de rendimiento productivo, la tendencia fue similar (**Figura 115B**). Al comparar los índices finales del tratamiento balsa y control, luego de 7 meses en crecimiento, no se observaron diferencias significativas (t-student; f=0,59; g.l.=38; p=0,454).

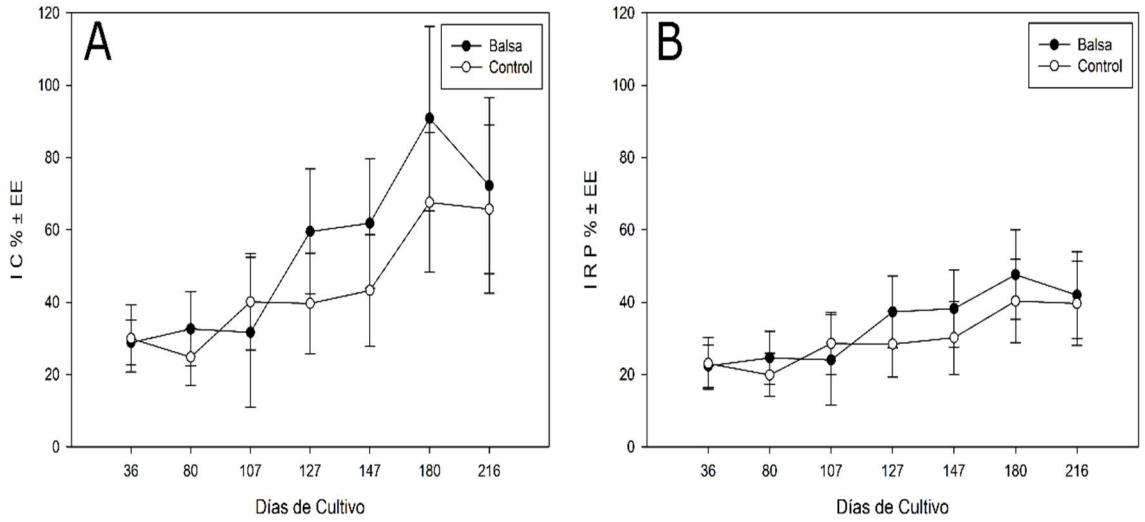


Figura 115. Rendimiento productivo promedio (% ± EE) para *M. chilensis* (N=20) cultivados en balsa y sistema control, sitio Dalcahue. A) Índice de condición promedio, B) Índice de rendimiento productivo.

5.5.3. Monitoreo ambiental. Variables físicas

5.5.3.1. Sitio Quinchao

La variable temperatura (°C) del agua de mar a 2.5 metros de profundidad, tuvo un comportamiento con tendencia sostenida al alza hasta el fin del periodo de cultivo. Se observan unas bajas y alzas en el registro de temperatura durante el mes de enero, debido a labores de limpieza realizadas por la presencia de organismos en los sensores. El rango de esta variable estuvo entre los 10 a los 21 °C (**Figura 116A**).

La intensidad lumínica (lux) muestra una tendencia a valores más bajos (menores a 20.000 lux y respecto a años anteriores) entre el inicio de las mediciones y el final del ciclo de cultivo. Algunas mediciones puntuales sobre 40.000 lux se observaron durante los meses de noviembre, diciembre y enero. El rango de esta variable estuvo entre los 3.100 a los 88.000 lux (**Figura 116B**).

La conductividad (µS/cm) muestra en general una tendencia sostenida a alza luego de octubre, con fluctuaciones, para alcanzar valores mayores durante el mes de enero 2021. El rango de esta variable estuvo entre los 30.000 a los 34.000 µS/cm (**Figura 116C**).

Para el oxígeno disuelto (mg/l) la tendencia de esta variable se mantuvo relativamente estable entre los meses de septiembre a noviembre 2020, luego de esto, los valores comenzaron a disminuir. Entre noviembre 2020 a enero 2021, los valores mostraron una variabilidad mayor. El rango de esta variable estuvo entre los 5 a los 13 mg/l (**Figura 116D**).

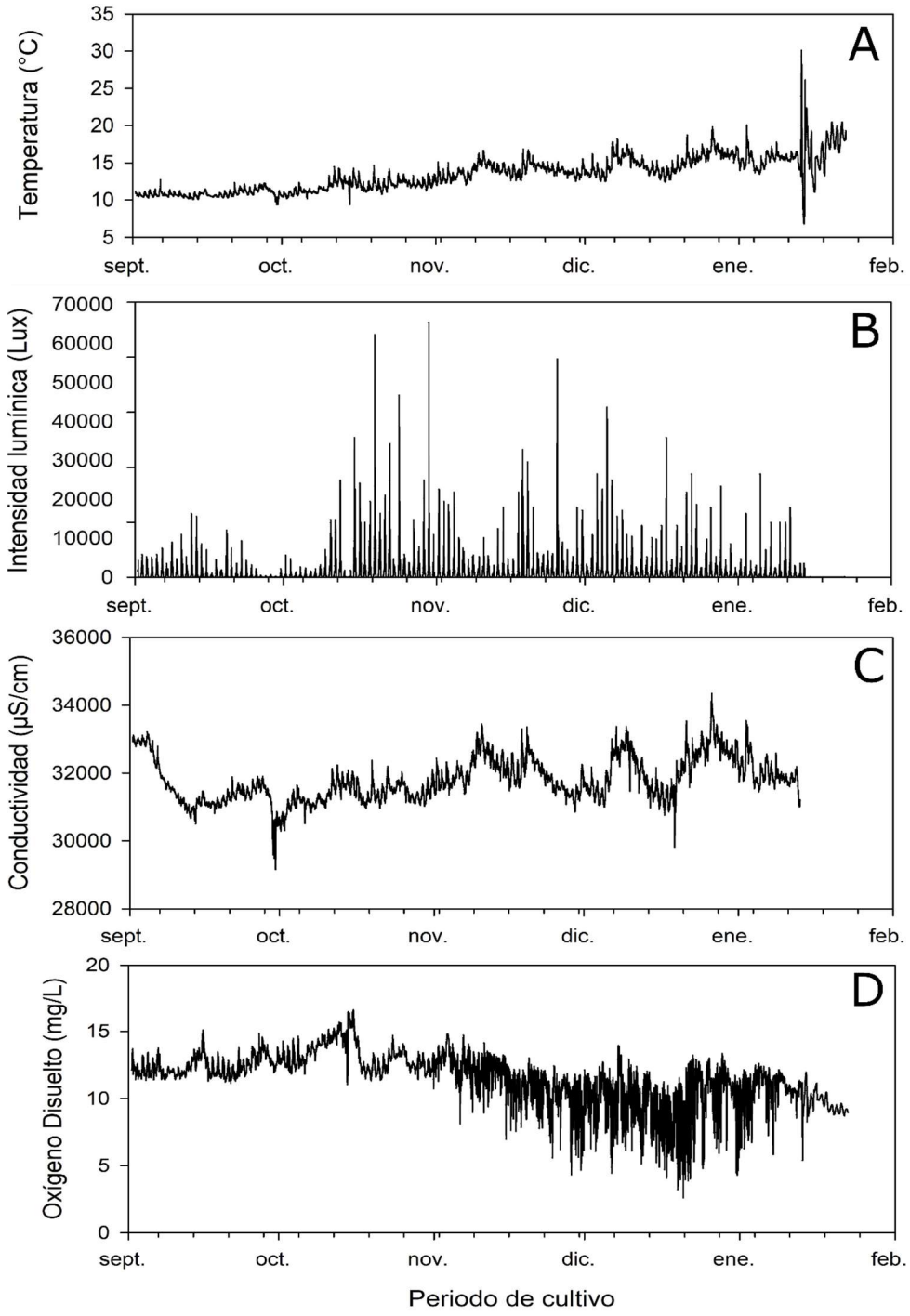


Figura 116. Gráfico de A) Temperatura (°C), B) Intensidad lumínica (Lux), C) Conductividad (µS/cm) y D) Oxígeno disuelto (mg/L) en sitio de cultivo Quinchao.

5.5.3.2. Sitio Pudeto

La variable temperatura (°C) del agua de mar a 2.5 metros de profundidad, tuvo un comportamiento con tendencia sostenida al alza entre la fecha de inicio de registros y el final de ciclo de cultivo, observándose un incremento más marcado, desde octubre 2020. Se observan peaks entre noviembre 2020 y febrero 2021. La variación de la temperatura en el estuario del rio Pudeto, puede ser explicada por los cambios de marea que influencian la dinámica del lugar. El rango de esta variable estuvo entre los 8 a los 21 °C (**Figura 117A**).

La intensidad lumínica (Lux), al inicio del cultivo presento valores muy variables, pero relativamente bajos (menos de 10.000 Lux). Se observaron mediciones sobre los 10.000 lux, desde octubre 2020 hasta marzo 2021, influenciadas por el fouling que crece en las estructuras de cultivo, lo que pudo generar estos valores fuera de la tendencia. El rango de esta variable estuvo entre los 1.500 a los 85.000 lux (**Figura 117B**).

La conductividad (µS/cm) presenta una tendencia variable desde el inicio de las mediciones, pero con una marcada tendencia al alza, se observan las fluctuaciones mensuales del estuario por el cambio en las mareas. Desde diciembre 2020 hasta el final del ciclo de cultivo se observa una menor variabilidad en los datos obtenidos (**Figura 117C**), explicada, probablemente, por el menor aporte de aguas lluvia asociada a la temporada de verano El rango de esta variable estuvo entre los 8.000 a los 32.000 µS/cm.

La tendencia del oxígeno disuelto (mg/L) durante los primeros meses de cultivo, osciló, principalmente, entre los 8 a 10 mg/l. Problemas asociados al funcionamiento del equipo, no permitieron obtener datos entre los meses de noviembre 2020 a febrero 2021. A finales del ciclo de cultivo los valores se mantuvieron sobre los 10 mg/l. El rango de esta variable estuvo entre los 2 a los 14 mg/l (**Figura 117D**).

.

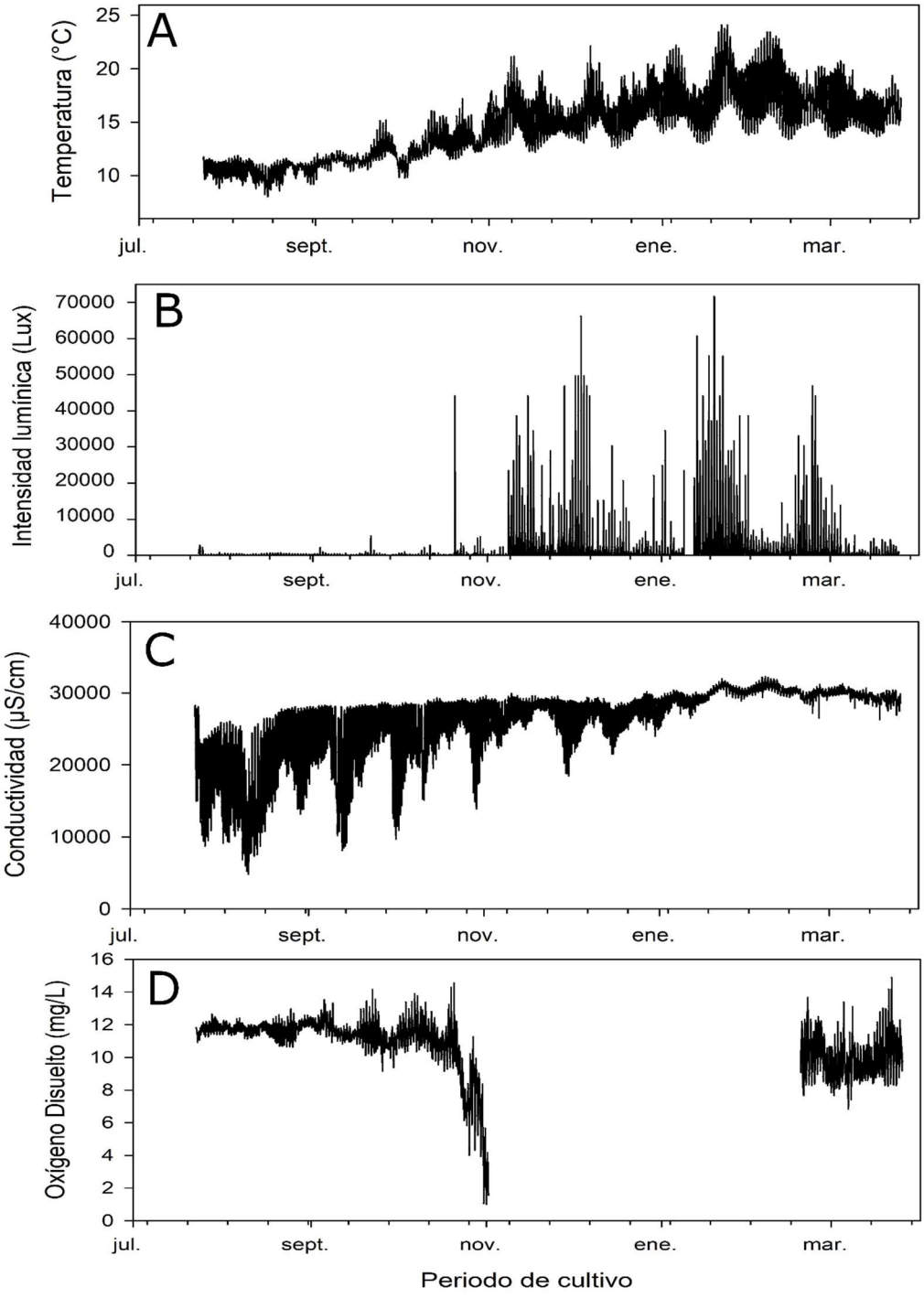


Figura 117. Gráfico de A) Temperatura (°C), B) Intensidad lumínica (Lux), C) Conductividad (µS/cm) y D) Oxígeno disuelto (mg/L), en sitio de cultivo Pudeto.

5.5.3.3. Sitio Dalcahue

La variable temperatura (°C) del agua de mar a 2.5 metros de profundidad, tuvo un comportamiento con tendencia al alza entre el mes de octubre hasta el final del ciclo de cultivo. Se observa una tendencia bastante particular en los meses de diciembre 2020 y febrero 2021, donde se producen alzas en la temperatura, las que luego comienzan a disminuir durante marzo 2021. El rango de esta variable estuvo entre los 9 a los 20 °C (**Figura 118A**).

La intensidad lumínica (Lux) muestra mayoritariamente valores bajo los 10.000 Lux, con alzas marcadas durante los meses de septiembre y octubre 2020, y luego entre los meses de diciembre 2020 a febrero 2021. Posteriormente entre marzo y abril, los valores disminuyen. El rango de esta variable estuvo entre los 33.000 a los 42.000 µS/cm (**Figura 118B**).

La conductividad (µS/cm) presenta una tendencia estable desde el inicio de las mediciones hasta el mes de octubre 2020, luego de esto, los valores comienzan a aumentar hasta el mes de febrero 2021, para luego disminuir (**Figura 118C**).

La tendencia del oxígeno disuelto (mg/L) presenta valores estables hasta finales de septiembre 2020 luego de esto se observa un peak llegando a octubre 2020. Problemas asociados al funcionamiento del equipo, no permitieron obtener datos entre los meses de noviembre 2020 a febrero 2021. Desde mediados de febrero 2021 a marzo 2021, los datos mostraron una gran variabilidad, en donde se observan dos peaks marcados al final del ciclo de cultivo, lo que podría estar influenciado por la dinámica de mareas del canal Dalcahue. El rango de esta variable estuvo entre los 6 a los 15 mg/l (**Figura 118D**).

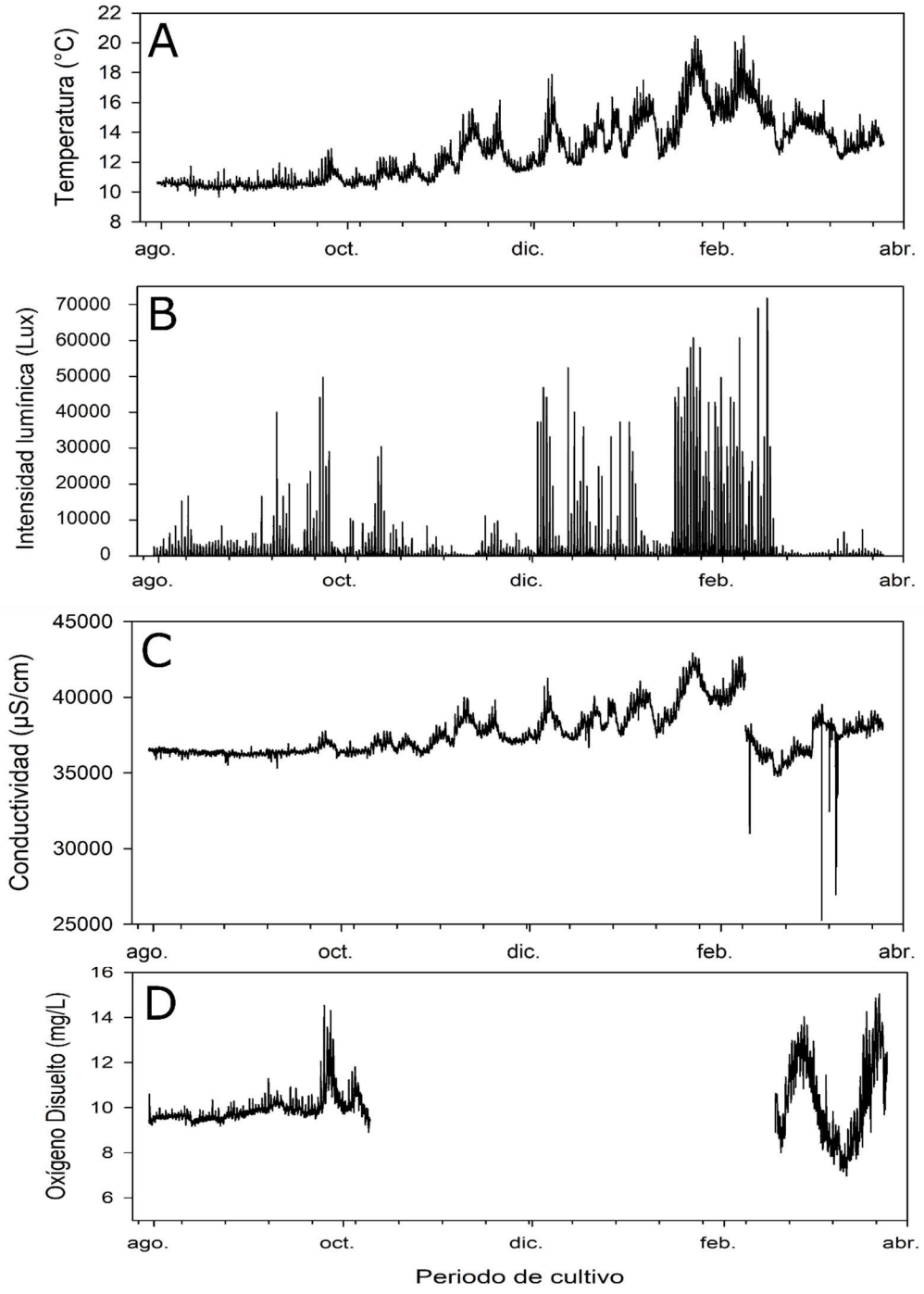


Figura 118. Gráfico de A) Temperatura (°C), B) Intensidad lumínica (Lux), C) Conductividad (µS/cm) y D) Oxígeno disuelto (mg/L), en sitio de cultivo Dalcahue.

5.5.4. Monitoreo ambiental. Nutrientes

En general, la concentración promedio de nitratos totales (NO_2^- + NO_3^-) no superó los 0.25 mg l^{-1} en las localidades (**Figura 119**). Para la localidad de Pudeto, los valores se mantuvieron relativamente estables, con valores entre 0.15 y 0.20 mg l^{-1} , exceptuando la concentración registrada en diciembre. En Dalcahue, la tendencia fue similar que lo observado en Pudeto, pero con valores promedio mayores.
Las diferencias entre sitios estuvieron asociadas con valores menores en el caso de Quinchao y a valores promedio cercanos a los 0.20 mg l^{-1} en las otras localidades.

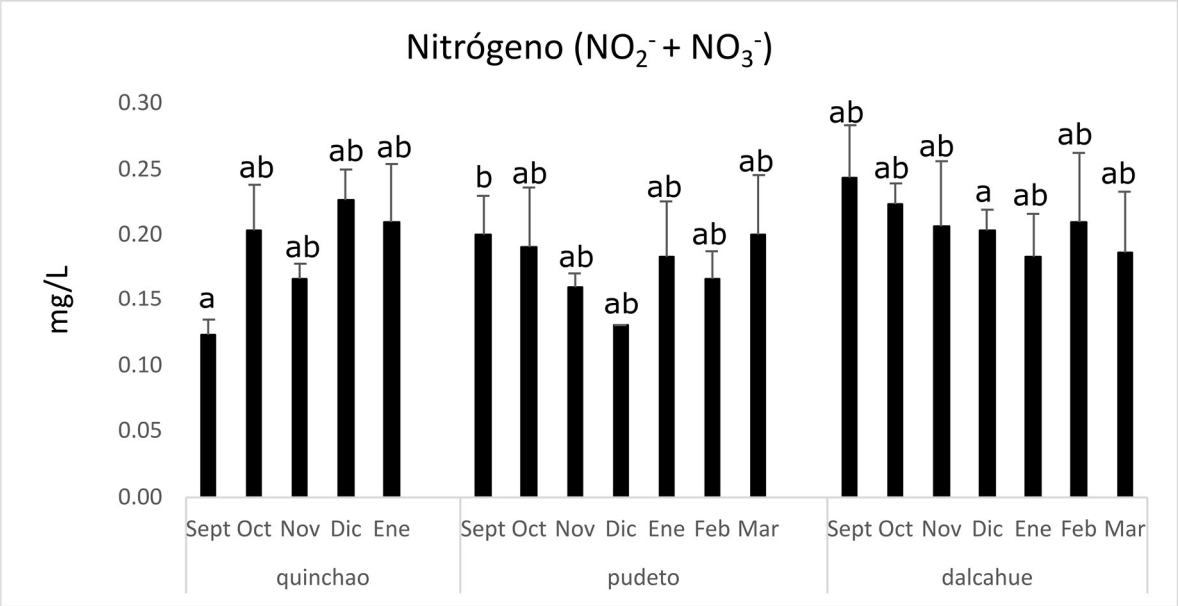


Figura 119. Concentración de nitratos totales (Media ± DE) en el agua durante el período de cultivo para cada sitio de estudio. Letras muestran la agrupación de las diferencias temporales de valores promedio entre sitios de cultivo (Duncan, P = 0.05).

En general, la concentración promedio de fosfatos (PO_4^-) osciló entre 0.20 y 0.40 mg l^{-1} en todos los sitios. Se observaron valores máximos durante febrero 2021 en Pudeto (~ 0.45 mg l^{-1}) y febrero-marzo 2021 en Dalcahue (0.40–0.72 mg l^{-1}, respectivamente) (**Figura 120**).

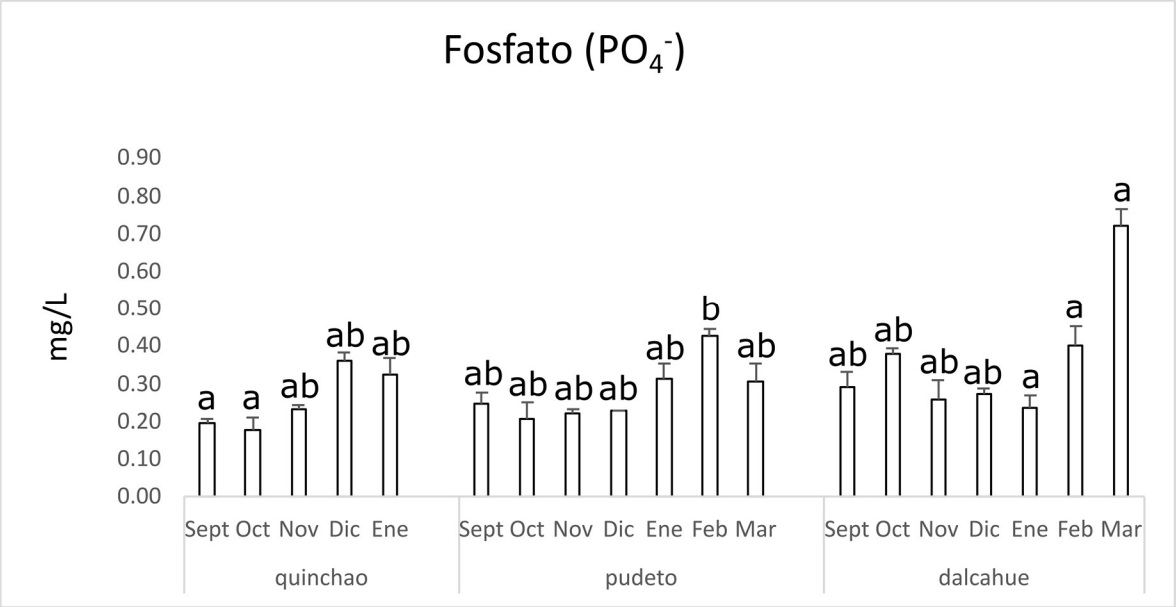


Figura 120. Concentración de fosfato total (Media ± DE) en el agua durante el período de cultivo para cada sitio de estudio. Letras muestran la agrupación de las diferencias temporales de valores promedio entre sitios de cultivo (Duncan, P = 0.05).

5.5.5. Análisis multivariado

Las variables ambientales registradas en todo el período de cultivo (temperatura, conductividad, oxígeno, luz, fosfato, nitrito y nitrato) mostraron que su dinámica y distribución en el ambiente físico predominante tienen una respuesta particular en Dalcahue, diferenciándose de los otros sitios de Chiloé (i.e., Pudeto y Quinchao). Esta tendencia se explica principalmente por diferencias en la conductividad (proxy de Salinidad), pero principalmente por variaciones sitio-específicas en los valores de temperatura y O_2. Los nutrientes y la luz parecen no ser factores determinantes de la separación entre diferentes sitios de cultivo (PCO, Correlación de Spearman = 0,5; **Figura 121**). Un análisis de ANOVA permutacional mostró diferencias significativas entre el comportamiento de factores físicos en cada sitio (Pseufo-F = 21,2; df = 2; p < 0,01). El análisis pareado de distancia promedio sugiere que Dalcahue difiere mayormente respecto a los demás sitios en todas las variables (**Tabla 41**). El modelo explica un porcentaje importante de la variación de los datos alcanzando un 68% de la variación total.

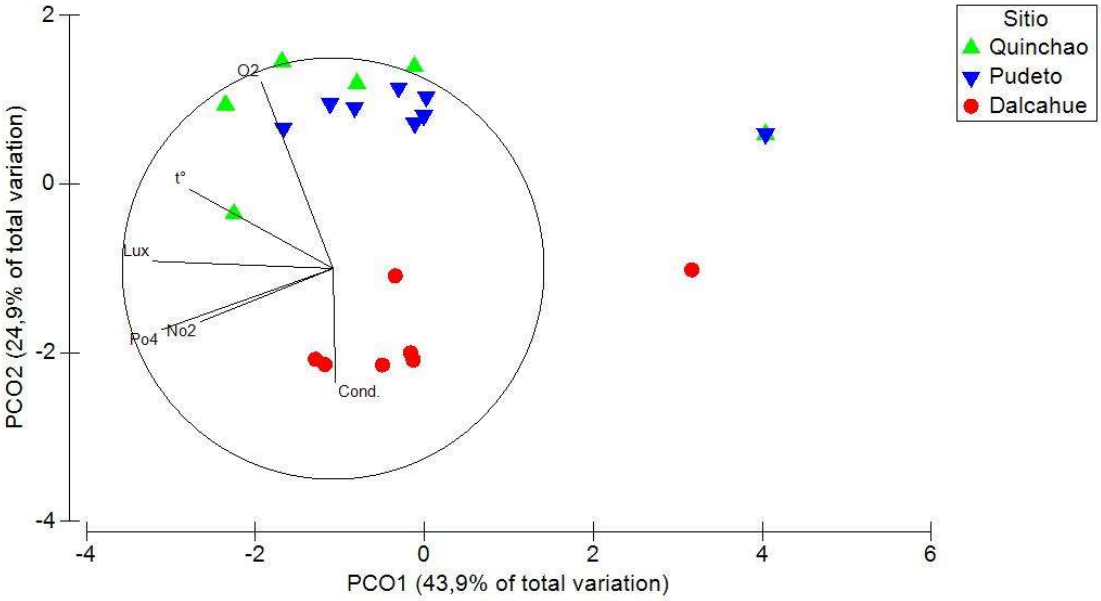


Figura 121. Análisis de ordenación de componentes principales (PCO) para las variables ambientales entre sitios de cultivo (El círculo indica una correlación = 1, vectores muestran una correlación de Spearman ≥ 0,5).

Tabla 41.
Análisis pareado de distribuciones de las variables ambientales entre sitios.

	Distancia promedio entre/dentro de grupos		
	Quinchao	Pudeto	Dalcahue
Quinchao	3,654		
Pudeto	**3,632**	2,4302	
Dalcahue	4,359	**3,7929**	2,1646

El análisis de redundancia basado en distancias (dbRDA) que calcula la similitud entre la variabilidad de las matrices ambiental y de crecimiento macroalgal (kg) y la carga de epibiontes del período de muestreo en cada sitio, sugiere que los predictores más importantes para explicar la separación entre sitios de cultivo en 2020-2021 (**Figuras 122** y **123**) fueron la temperatura (test marginal $p < 0.01$), la cual explicó un 28% de la variación total. Mientras que el oxígeno disuelto explicó un 11% y la conductividad un 4% (test marginal, $p = 0.06$). La amplia variación espacio-temporal del período de muestreo permitió que el modelo explicara un 41% de la variación total. No existieron grandes diferencias entre la distribución de biomasas bajo diferentes técnicas de cultivo que difieran del patrón principal de separación entre sitios.

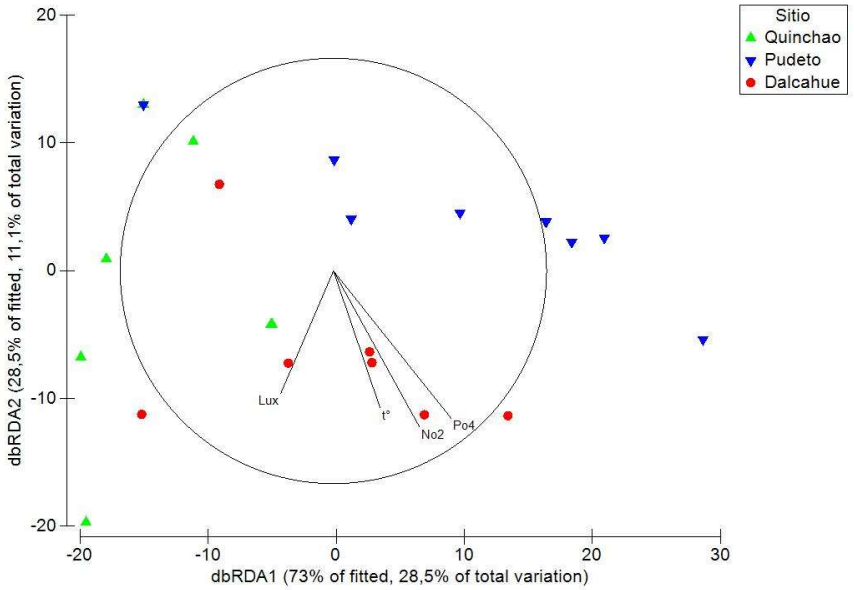


Figura 122. Análisis de redundancia basado en distancias (dbRDA)para biomasa máxima por período de muestreo y variables ambientales de cada sitio de cultivo. Ordenación por sitio. El círculo representa una correlación Spearman = 1, vectores una correlación de Spearman ≥ 0,5).

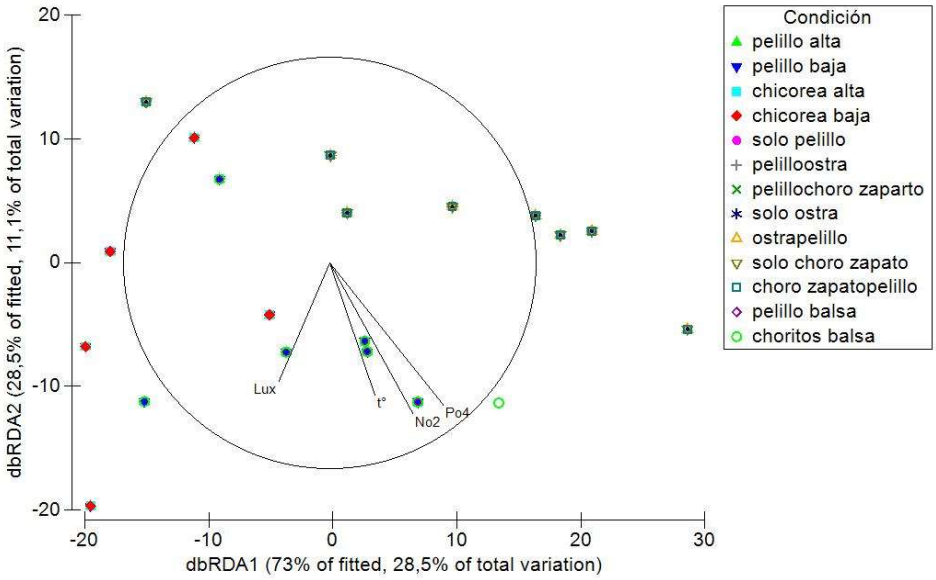


Figura 123. Análisis de redundancia basado en distancias (dbRDA) para biomasa máxima por período de muestreo y variables ambientales de cada sitio de cultivo. Ordenación por especie y condición de cultivo. El círculo representa una correlación Spearman = 1, vectores una correlación de Spearman ≥ 0,5.

5.6. Seguimiento y evaluación de experiencias de cultivo de fondo de algas pardas y rojas en el norte y sur de Chile

5.6.1. Cultivo de fondo de huiro palo en AMERB Chungungo

Se realizó un análisis de comunidades previo a la adhesión de plántulas con el objeto de conocer los cambios en el ensamble comunitario estacionalmente en el sector de la siembra/cultivo. La evaluación de comunidades, consistió en 4 transectas de 50 metros perpendiculares a la costa, con 6 estaciones de muestreo cada una (**Figura 124**). En cada estación se realizaron 2 fotocuadrantes de 0.25 m^2 con 100 puntos de intersección. En cada lance se identificó y contaron los invertebrados móviles o semi-sésiles y la cobertura de los invertebrados sésiles y algas conspicuas. El área evaluada presenta una comunidad de fondos blanqueados (**Figura 125**), con las mayores abundancias de *Alia unifasciata* (1203 ind m^{-2}) y *Tegula atra* (143 ind m^{-2}) (**Figura 126**). En cuanto al sustrato el área estudiada presenta una cobertura de 37 % de arena. En sustrato rocoso las mayores coberturas de especies sésiles corresponden a *Lythophyllum sp* (30%) y *Balanus sp*. (21%) (**Figura 127**). Con esta información se identificaron sitios para la adhesión de plántulas.

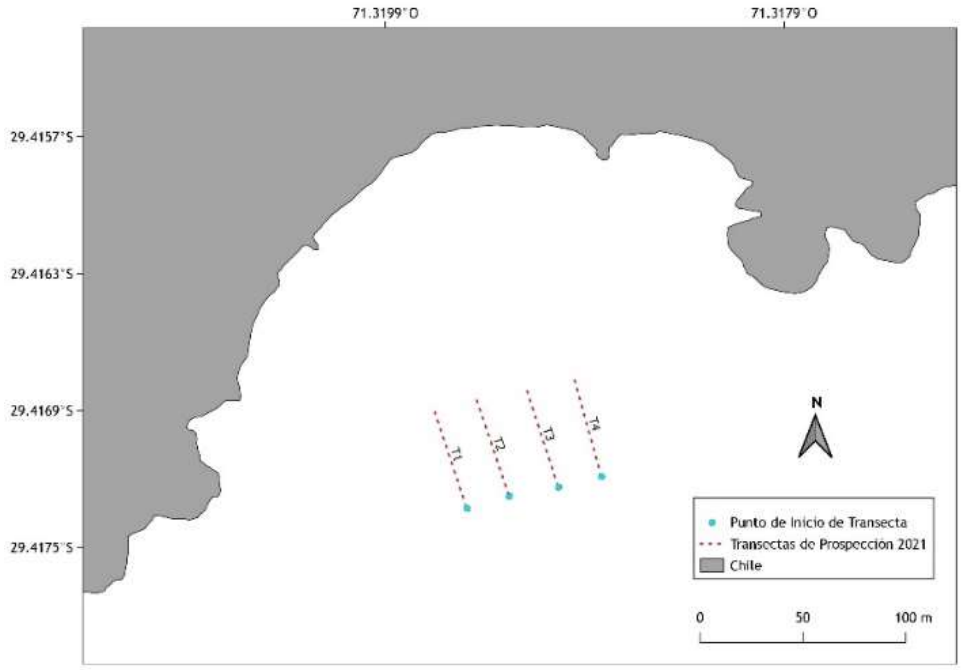


Figura 124. Mapa con las transectas utilizadas en la evaluación de comunidades en AMERB Chungungo B.

Figura 125. Sustrato rocoso en AMERB Chungungo B.

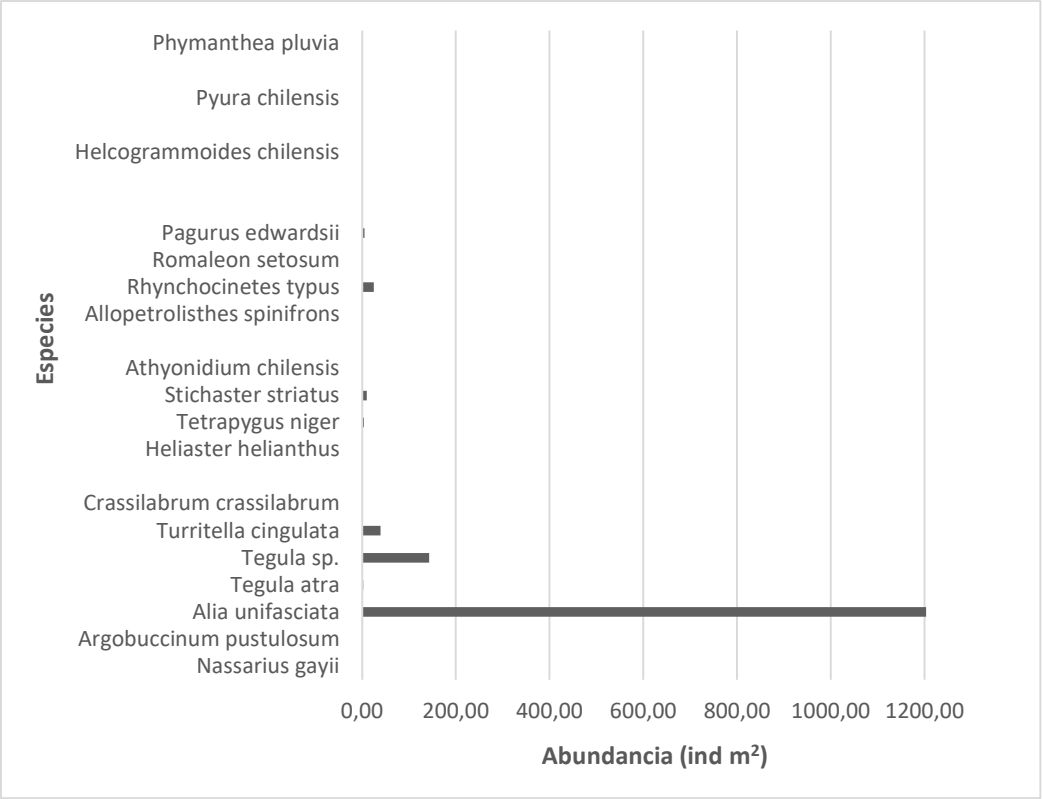


Figura 126. Abundancia (ind m^{-2}) de especies móviles en AMERB Chungungo B.

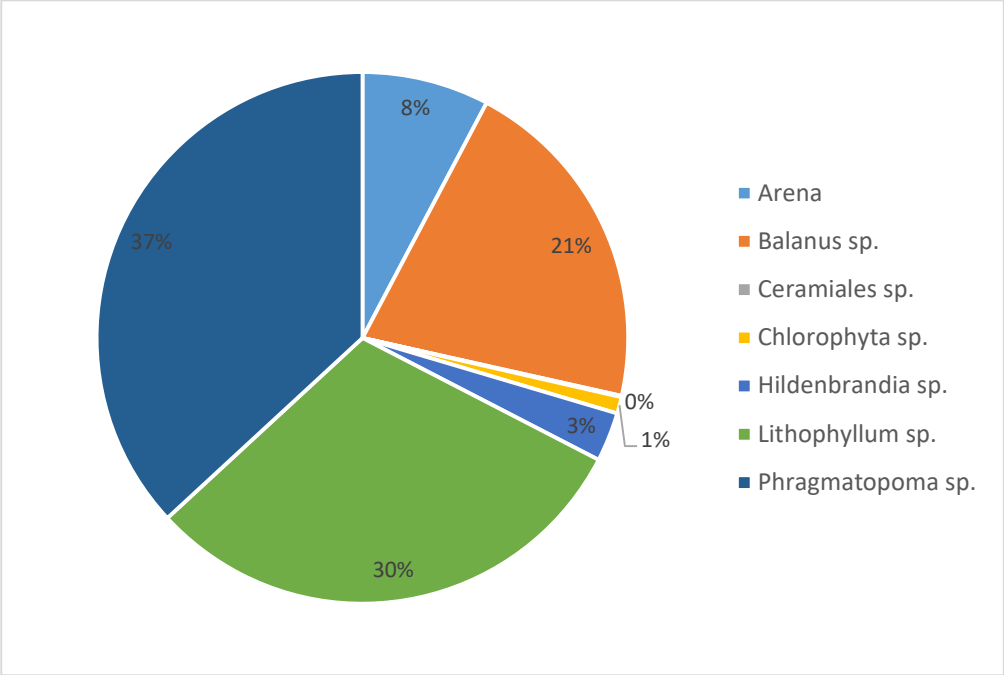


Figura 127. Cobertura (%) de sustrato y especies sésiles en AMERB Chungungo B.

El día 30 de abril del 2021 se realizó la extracción de plántulas en el AMERB Chañaral de Aceituno y fueron trasladadas para ser adheridas en AMERB Chungungo B (**Figura 128**). Esta actividad se desarrolló una vez obtenido el permiso de repoblación de *L. trabeculata* otorgado el 3 de diciembre del 2020 (Res ex. 2651 2020, **Anexo 5**) Se seleccionaron plántulas desde 3 a 13 cm de diámetro de disco con una mayor frecuencia de 5 a 7 cm **(Figura 129**).

La extracción fue realizada por socios de la AMERB Chañaral de Aceituno y por personal IFOP con ayuda de cuchillos, intentando en lo posible no dañar el disco **(Figura 130).** Las plántulas fueron trasladadas en cajas térmicas con agua de mar y gel packs para mantener la temperatura**.** El mismo día se procedió al traslado a la localidad de Chungungo, marcado y adhesión de plántulas en los sitios seleccionados.

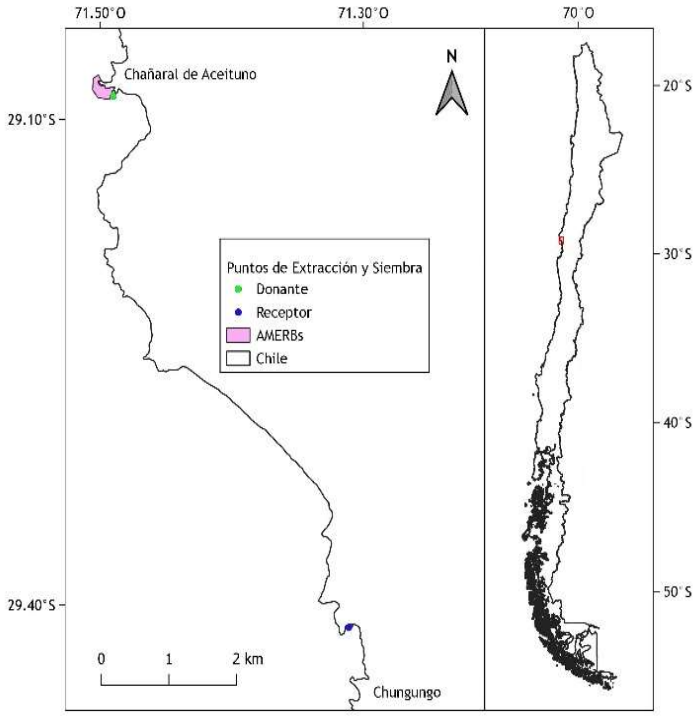


Figura 128. Ubicación de las áreas de extracción de plántulas (AMERB Chañaral de aceituno) y repoblamiento (AMERB Chungungo B).

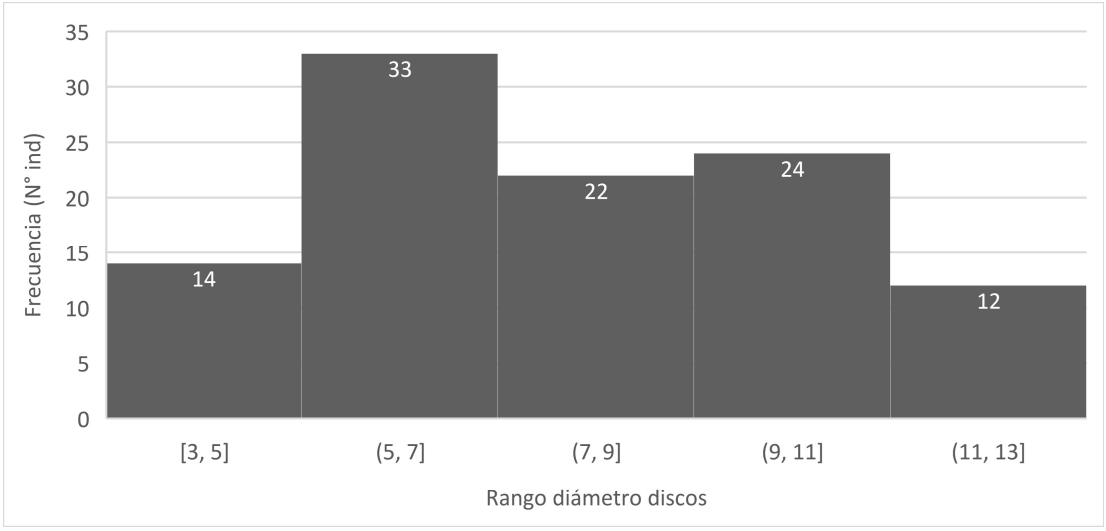


Figura 129. Histograma de frecuencia (N° ind) de diámetro de disco (cm) de las plántulas extraídas en AMERB Chañaral de aceituno.

Figura 130. Fotografías de la extracción de plántulas de *L. trabeculata* para traslocación en AMERB Chañaral de Aceituno. A y B) Fotografías de la condición de la pradera de *L. trabeculata*. C) y D) Buzos extrayendo las plántulas. E), F) y G) Plántulas extraídas de *L. trabeculata*.

Las plántulas fueron llevadas a sector con sombra, en donde fueron clasificadas por tamaño de disco. Se formaron grupos de 5 algas de diversos tamaños. Cada grupo fue identificado con un número

particular que posteriormente fue adherido con masilla epóxica al sustrato en cada sitio. Cada alga del grupo fue marcada con amarracales de colores y mostacillas para diferenciarlos entre sí (**Tabla 42**)**.** Una vez marcadas las algas se pusieron nuevamente en las cajas térmicas para ser transportadas al AMERB. Cada sitio fue marcado por GPS **(Figura 131)**. Previamente se limpió la superficie con cepillos metálicos para eliminar la mayor cantidad de individuos de especies sésiles y sedimentos, posteriormente, cada alga fue adherida con cianoacrilato (Blue Reef) **(Figura 132**). Cinco días después se monitoreo la presencia de las plántulas en los sectores de adhesión con una persistencia del 57% de las algas (**Figura 133**). Se realizará un monitoreo mensual de la persistencia de las algas en los sitios y el crecimiento de los discos para evaluar la efectividad del procedimiento.

Tabla 42.
Sistema de marcaje de plántulas adheridas en AMERB Chungungo B, por sitio número de identificación de grupo, marca individual y diámetro de disco.

Sitio	Identificación de grupo	Marca individual	Diámetro del disco (cm)
1	31	Verde y marca rosada	7
1	31	Verde	4
1	31	Negra y marca amarilla	10
1	31	Negra	8
1	31	Blanca y marca naranja	13
1	30	Verde y marca rosada	5
1	30	Verde	4
1	30	Negra y marca amarilla	11
1	30	Negra	7
1	30	Blanca y marca naranja	11
1	87	Verde y marca rosada	7
1	87	Verde	12
1	87	Negra y marca amarilla	10
1	87	Negra	13
1	87	Blanca y marca naranja	12
1	89	Verde y marca rosada	4
1	89	Verde	11
1	89	Negra y marca amarilla	11
1	89	Negra	12
1	89	Blanca y marca naranja	11
2	26	Verde y marca rosada	8
2	26	Verde	4
2	26	Negra y marca amarilla	8
2	26	Negra	12
2	26	Blanca y marca naranja	13
2	64	Verde y marca rosada	7
2	64	Verde	8
2	64	Negra y marca amarilla	8
2	64	Negra	11
2	64	Blanca y marca naranja	11
2	20	Verde y marca rosada	9
2	20	Verde	11
2	20	Negra y marca amarilla	13
2	20	Negra	10
2	20	Blanca y marca naranja	13
2	12	Verde y marca rosada	5
2	12	Verde	9

2	12	Negra y marca amarilla	10
2	12	Negra	9
2	12	Blanca y marca naranja	13
3	76	Verde y marca rosada	3
3	76	Verde	6
3	76	Negra y marca amarilla	11
3	76	Negra	7
3	76	Blanca y marca naranja	9
3	17	Verde y marca rosada	9
3	17	Verde	8
3	17	Negra y marca amarilla	7
3	17	Negra	6
3	17	Blanca y marca naranja	7
3	25	Verde y marca rosada	8
3	25	Verde	7
3	25	Negra y marca amarilla	7
3	25	Negra	6
3	25	Blanca y marca naranja	10
3	69	Verde y marca rosada	6
3	69	Verde	7
3	69	Negra y marca amarilla	6
3	69	Negra	7
3	69	Blanca y marca naranja	11
4	45	Verde y marca rosada	7
4	45	Verde	6
4	45	Negra y marca amarilla	9
4	45	Negra	7
4	45	Blanca y marca naranja	8
4	34	Verde y marca rosada	7
4	34	Verde	6
4	34	Negra y marca amarilla	9
4	34	Negra	7
4	34	Blanca y marca naranja	8
4	59	Verde y marca rosada	3
4	59	Verde	6
4	59	Negra y marca amarilla	6
4	59	Negra	8
4	59	Blanca y marca naranja	9
4	65	Verde y marca rosada	4
4	65	Verde	3
4	65	Negra y marca amarilla	7
4	65	Negra	6
4	65	Blanca y marca naranja	7
4	46	Verde y marca rosada	3
4	46	Verde	3
4	46	Negra y marca amarilla	6
4	46	Negra	8
4	46	Blanca y marca naranja	9
5	8	Verde y marca rosada	5
5	8	Verde	6
5	8	Negra y marca amarilla	8
5	8	Negra	9
5	8	Blanca y marca naranja	11
5	44	Verde y marca rosada	7
5	44	Verde	6
5	44	Negra y marca amarilla	11

5	44	Negra	11
5	44	Blanca y marca naranja	11
5	55	Verde y marca rosada	7
5	55	Verde	6
5	55	Negra y marca amarilla	11
5	55	Negra	11
5	55	Blanca y marca naranja	11
5	37	Verde y marca rosada	5
5	37	Verde	10
5	37	Negra y marca amarilla	12
5	37	Negra	10
5	37	Blanca y marca naranja	12

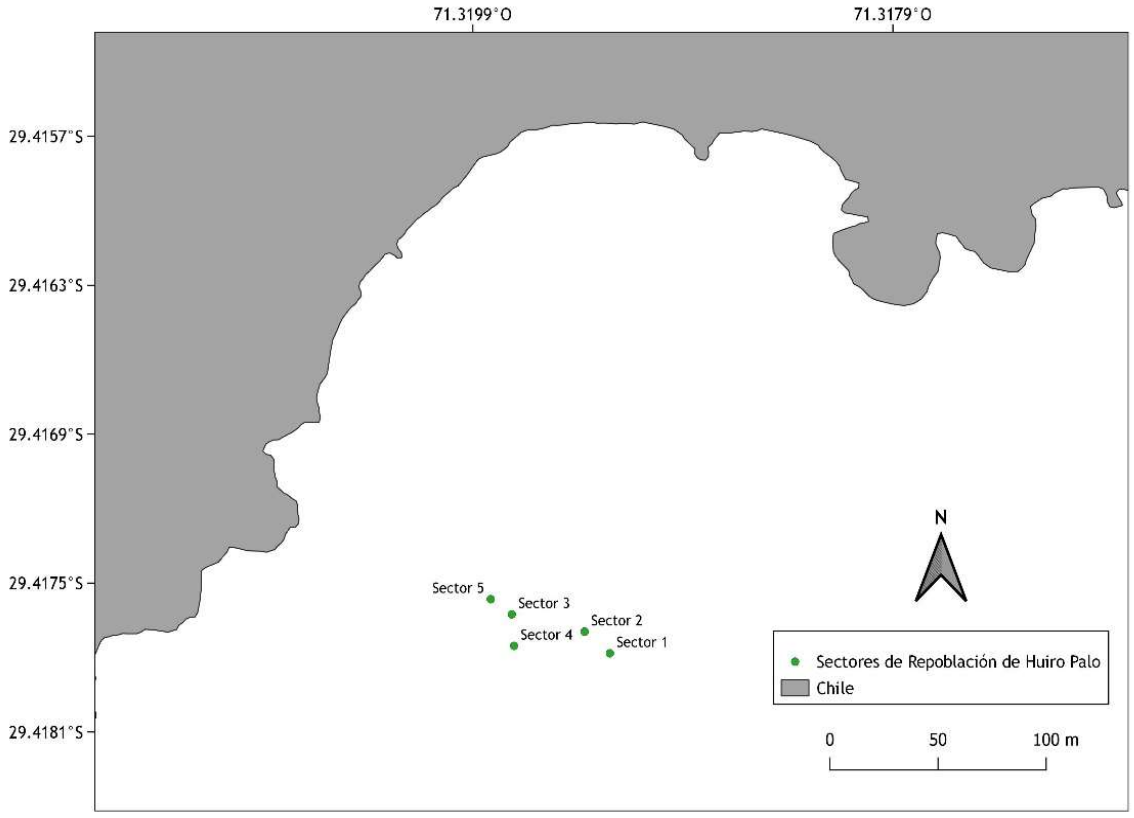


Figura 131. Ubicación de los sitios de adhesión de plántulas de *L. trabeculata* en AMERB Chungungo B.

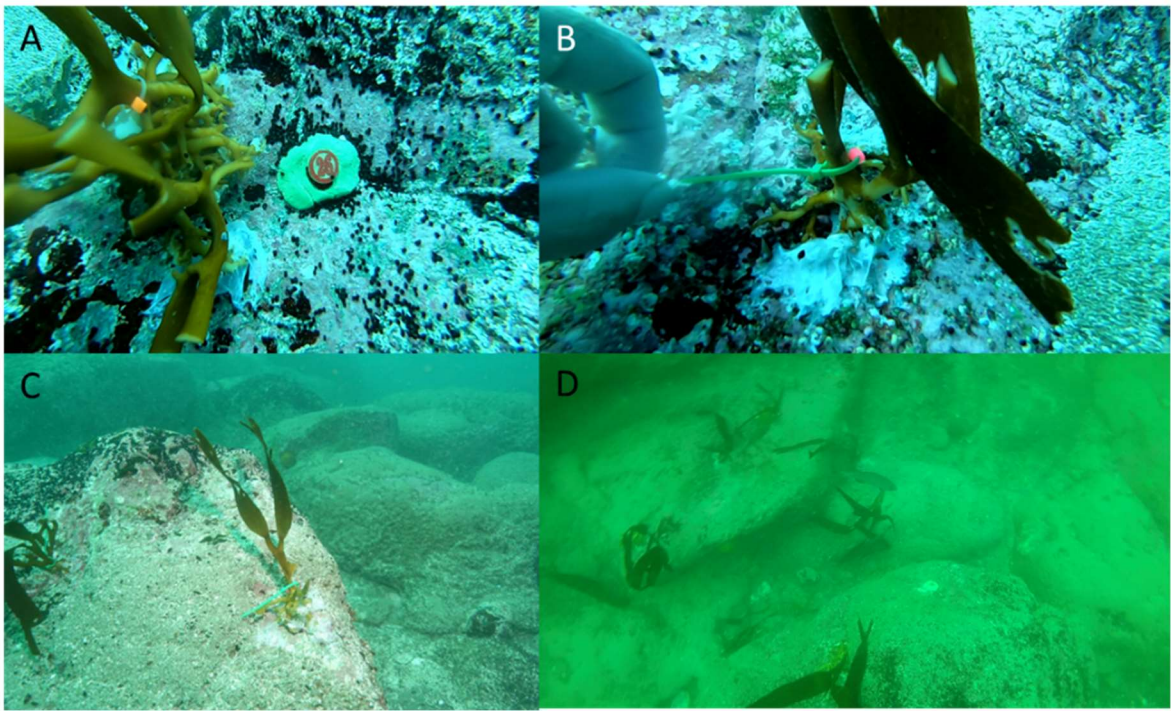


Figura 132. Adhesión de plántulas de *L. trabeculata* en AMERB Chungungo B. A) y B) Plántulas adheridas con sus respectivas marcas de identificación de grupo e individuales. C) Plántula ubicada en sitio de adhesión. D) Imagen general de un sitio de adhesión.

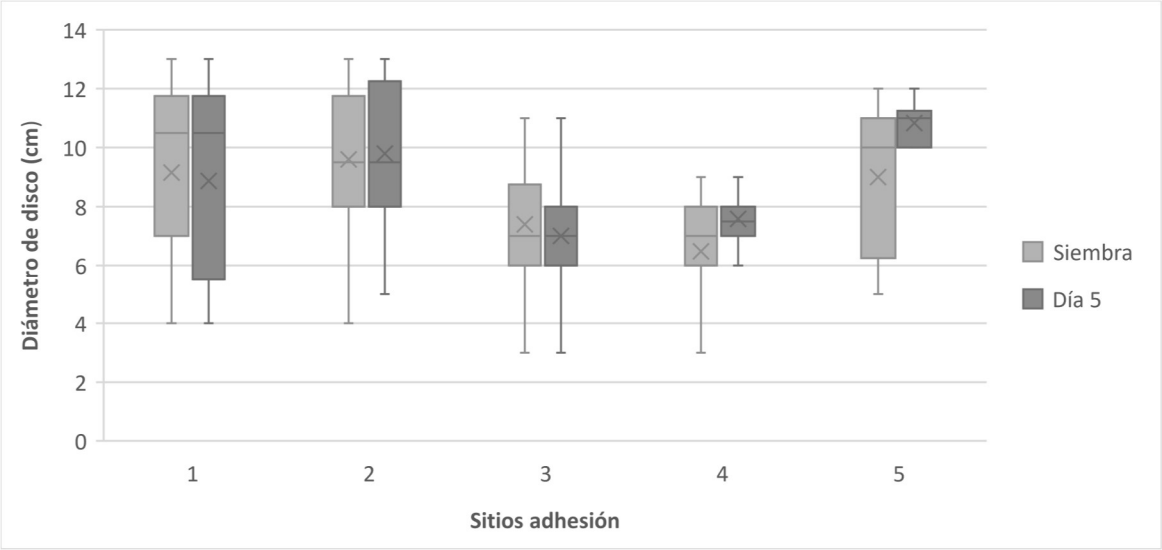


Figura 133. Diámetro de disco (cm) de las plántulas de *L. trabeculata* al momento de la siembra y al 5to día de adhesión en los distintos sitios seleccionados en AMERB Chungungo B.

5.6.2. Cultivo de fondo de luga negra en AMERB Punta Cementerio

El permiso sectorial para realizar esta actividad fue obtenido durante el año 2021. Las resoluciones, solicitudes e informes técnicos requeridos para la autorización de esta actividad se presentan en el **Anexo 5.**

5.6.2.1. Contexto de la Solicitud de Acción de Manejo.

Entre las actividades contempladas (por desarrollar) en esta etapa del estudio, se considera la ejecución de una acción de manejo[15] (~ cultivo de fondo) con el recurso luga negra (*Sarcothalia crispata*) en una AMERB de la región de Los Lagos. El foco de investigación de la acción de manejo que se desea ejecutar es monitorear dentro de una ventana de tiempo amplia el desempeño de este tipo de actividades dentro de una AMERB, más allá de la ejecución puntual de la acción de manejo (instalación) propiamente tal.

En relación a acciones de manejo similares a las que se desea desarrollar con luga negra, un análisis de la información obtenida desde el Programa de Seguimiento de Pesquerías Bentónicas bajo Régimen AMERB que también ejecuta IFOP logró constatar que ese tipo de acciones han sido frecuentemente implementadas dentro de AMERBs (sobre 20 ocasiones, principalmente en la región de Los Lagos), usando básicamente dos técnicas: i) inoculación directa de esporas sobre sustrato primario o ii) inoculación indirecta de esporas (también conocido como "siembra en altura"). La elección de una técnica por sobre otra dependerá principalmente de la energía del oleaje en el sitio elegido para realizar la acción de manejo: para sitios con alta energía de oleaje, en sectores próximos a rompientes, se recomienda la técnica de inoculación directa; por el contrario, sitios de baja energía y con una profundidad adecuada son ideales para la utilización de la técnica de inoculación indirecta.

Ambas técnicas se basan en la disponibilidad de frondas reproductivas maduras (frondas maduras cistocarpicas o tetraesporicas) presentes dentro de la misma AMERB en la cual se desee realizar la acción de manejo, las cuales son utilizadas como fuente donante de esporas usando alguna de las dos técnicas previamente descritas. Por este motivo, este tipo de acción es considerada de manejo y no de repoblación, ya que en ningún caso se considera la introducción de plantas juveniles originadas desde hatchery o trasladadas desde áreas de libre acceso u otras áreas de manejo.

Las acciones de manejo de luga negra que se han implementado en diferentes AMERB han reportado, en el mejor de los casos, resultados hasta la etapa de implementación o instalación, y en general se desconoce el desempeño en el tiempo de estas acciones (monitoreo post –instalación, permanencia en el tiempo de las praderas de luga negra originadas posteriores a la acción de manejo). Las preguntas de investigación que se desea abordar a través de la ejecución, monitoreo y evaluación de la acción de manejo que se desea implementar son las siguientes:

[15] En términos formas (SSPA) esta acción debe ser considerada como una acción de manejo. La repoblación considera el traslado de juveniles o donantes desde sitios externos a la AMERB donde se realizará la acción.

- Se logra un aumento efectivo de variables poblacionales como densidad (individuos·m^2) o biomasa (g·m^2) en sectores experimentales sometidos a este tipo de acciones de manejo respecto de sectores control no sometidos a este tipo de acciones de manejo?
- Si se logra un aumento efectivo de la densidad o biomasa de luga negra en un sector sometido a acción de manejo, ¿este aumento es permanente en el tiempo o tiende a decaer? Si tiende a decaer, ¿en cuánto tiempo se observa este efecto?
- ¿Es posible que, a través de este tipo de acciones de manejo y usando un tipo determinado de frondas maduras donantes de esporas se pueda lograr establecer sectores dentro de una AMERB donde sea posible cosechar principalmente frondas cistocárpicas o tetraespóricas?
- ¿La presión de herbivoría, energía del oleaje, corrientes u otras variables ambientales o de entorno son factores que podrían afectar negativamente el desempeño de este tipo de acciones de manejo?

5.6.2.2. Metodología asociada a la acción de manejo.

La acción de manejo que se implementó en la AMERB Punta Cementerio considera la utilización de la técnica de siembra indirecta de esporas ("siembra en altura"). El desarrollo de esta técnica considera en términos metodológicos los siguientes pasos (los cuales no son desarrollados en la misma secuencia que la descripción a continuación):

a.- Obtención de frondas reproductivas maduras: frondas reproductivas maduras de luga negra fueron obtenidas desde la propia área de manejo (AMERB Punta Cementerio). El período óptimo para la obtención de frondas reproductivas se ha descrito que comienza a principios de otoño (marzo), momento en que aparecen frondas maduras tetraesporicas. En otoño tardío y principios de invierno (junio) se hacen evidentes frondas reproductivas maduras tanto cistocarpicas como tetraesporicas, en iguales proporciones. A mediados de invierno (agosto) son más frecuentes frondas maduras cistocarpicas que tetraesporicas (Avila et al. 1996). Para efectos de la presente acción de manejo, se privilegió la obtención y uso de frondas maduras cistocárpicas, ya que son de más fácil identificación en terreno. Además, en consideración del ciclo biológico-reproductivo de luga negra, la utilización de frondas maduras cistocarpicas como fuente donante de esporas permitirá obtener plantas tetraespóricas cuando ellas germinen y crezcan. De esta forma, se podría formar una pradera o plantel experimental conformado principalmente por plantas tetraespóricas, que tienen un mayor valor agregado al momento de la cosecha.

b.- Selección de sitio para el desarrollo de la acción de manejo: dentro del polígono que define la superficie de la AMERB Punta Cementerio se seleccionaron 3 superficies experimentales (plots) de 45 m^2 (cada plot de 3 m ancho × 15 m de largo) y 3 superficies control de las mismas dimensiones que los plots experimentales (**Figura 134**). El total de plots será ubicado dentro de una franja o cinturón submareal a una profundidad máxima de entre 8 -12 m, de acuerdo a la distribución batimétrica descrita para este recurso algal, privilegiando sectores dominados por bolones y/o roca maciza (Hoffman & Santelices, 1997).

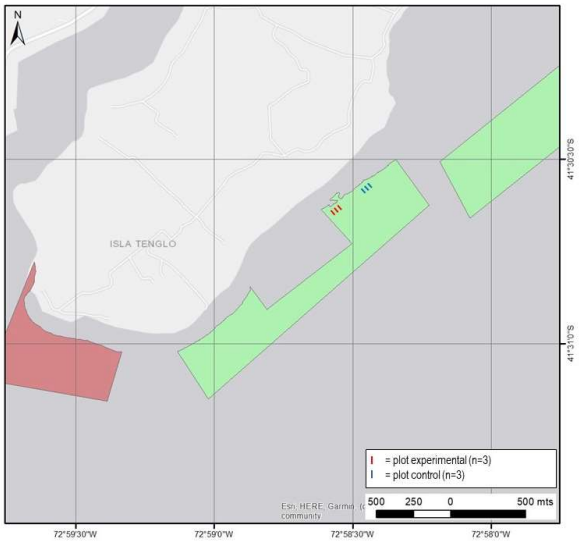


Figura 134. Selección de sitios para instalación de plots experimentales y control.

c.- Preparación de redes de soporte para frondas reproductivas maduras: se utilizará la técnica de inoculación indirecta de esporas (siembra en altura) en los plots experimentales. Para ello, se prepararon 3 redes de soporte de 4,5 m de ancho por 15 m de largo. En el perímetro de la red se utilizó cabo de polipropileno de 18 mm de diámetro. El espacio interior de la red fue subdividido transversalmente cada 30 cm con trozos de cabo de polipropileno de 4 a 6 mm de diámetro. Un trozo de cabo de 12 mm de diámetro fue dispuesto con flotadores separados cada 1 m a lo largo del eje mayor de cada red (**Figura 135**). Esta red servirá de soporte para las frondas cistocárpicas maduras.

Figura 135. Preparación de redes para acción de manejo.

d.- ***Preparación de sustratos testigo***: para evaluar la efectividad del reclutamiento de esporas y su crecimiento en el tiempo, es necesaria la preparación de sustratos que serán usados como testigos en las evaluaciones periódicas, tanto en los plots experimentales como en los plots control. La preparación de sustratos testigo consiste en la selección de bolones de tamaño medio (10 a 15 cm de diámetro), los cuales son marcados con masilla epóxica y una pequeña ficha plástica numerada para facilitar su reconocimiento en el submareal (**Figura 136**). En cada uno de los plots (experimentales y control) se dispondrán 225 rocas testigo, las que serán distribuidas homogéneamente dentro de cada plot a razón de 5 rocas testigo·m^{-2}.

Figura 136. Preparación de sustratos testigo.

e.- ***Instalación de trozos de frondas reproductivas maduras en redes***: trozos de frondas reproductivas maduras, preferentemente frondas cistocarpicas, serán instaladas en las redes previamente preparadas como soporte. Aproximadamente 20 trozos, cada uno idealmente de un tamaño no mayor a 10 × 10 cm, son instalados en cada uno de los trozos de cabo de cabo de polipropileno de 6 – 8 mm de diámetro dispuestos transversalmente en la red.

f.- ***Instalación de sustratos testigo en plots experimentales y control***: sustratos testigos preparados de acuerdo a lo indicado en el punto d. serán instalados en los plots experimentales (n=3) y control (n=3), a razón de 225 sustratos testigo en cada uno de los plots con una densidad estimada de 5 sustratos testigo·m^{-2}. Esta faena de instalación de sustratos testigo se realiza mediante buceo semiautónomo hooka, con el apoyo de pescadores artesanales de la propia organización. Se tendrá la precaución de dejar los sustratos testigo con la marca expuesta hacia la columna de agua.

g.- ***Instalación de redes con trozos de frondas reproductivas maduras en los plots experimentales***: redes con trozos de frondas reproductivas maduras serán instalas en los plots

experimentales, a razón de 1 red por plot experimental. Para ello, las redes serán cuidadosamente dobladas y mantenidas en coolers con humedad (espuma plástica humedecida en agua de mar) y temperatura adecuada entre el momento que son terminadas de preparar hasta el momento que son trasladadas para instalarlas en los plots experimentales, a fin de evitar la desecación y/o descomposición de las frondas reproductivas (este proceso no debería ser mayor a dos días). Una vez ubicadas en los plots experimentales, las redes serán mantenidas en su posición con la ayuda de fondeos confeccionados con bolsas de malla lobera en desuso rellenadas con piedras o bolones. Una vez verificado el deterioro total de los trozos de frondas reproductivas entrelazados a la red (producto de la liberación de esporas y posterior necrosis del tejido vegetal), las redes serán retiradas para una posterior reutilización.

h.- ***Control y monitoreo de variables poblacionales en plots experimentales y control***: a partir del momento en que sean retiradas las redes de los plots experimentales, se verificará con una frecuencia mensual el desempeño de variables poblacionales (densidad, crecimiento y biomasa [$g \cdot m^{-2}$]) en los plots asociados al tratamiento experimental (n=3) y control (n=3). Para ello, desde cada plot se extraerán 10 sustratos testigo, los cuales serán dispuestos en cajas contenedoras de plumavit preparadas con espuma plástica humedecida con agua de mar, evitando así el deterioro de las esporas, microtalos o pequeñas plántulas que pudieran estar creciendo en su superficie. Los sustratos testigo serán trasladados hacia laboratorio en contenedores diferentes de acuerdo al plot desde donde se extrajeron. En laboratorio, se realizará durante los primeros meses de monitoreo el conteo bajo lupa de esporas o microtalos de luga negra adheridas a la superficie de los bolones. Por cada bolón, se realizará el conteo en tres campos diferentes. La superficie de conteo de cada campo será equivalente a una superficie de 1 cm^2. En la misma oportunidad, se controlará el crecimiento de los microtalos de luga negra adheridos a la superficie de las rocas testigo, valiéndose de un ocular graduado, contando al azar 30 microtalos o plántulas desde los sustratos testigo obtenidos de cada tratamiento. Cuando las plántulas alcancen un tamaño en que sea posible distinguirlas a ojo desnudo (sin la ayuda de lupa), el control de densidad y crecimiento se realizará contando y midiendo todas las plántulas presentes en la superficie de las rocas testigo que se obtengan de cada tratamiento. Los resultados de densidad serán expresados de acuerdo a la superficie individual de cada roca testigo controlada.

i.- ***Control de variables ambientales: se instalarán data loggers*** para realizar mediciones continuas de luz y temperatura superficial (HOBO Onset Pendant Temp/light, 64k), conductividad (HOBO Onset U24-002-C) y oxígeno disuelto (HOBO Onset U26-001) y se obtendrán muestras de agua para el análisis de nutrientes (nitrato, nitritos, y fracción reactiva de fósforo).

j.- ***Evaluación de presión de herbivoría***: a partir del momento en que sean retiradas las redes de los plots experimentales, se evaluará mensualmente la presencia y diversidad de organismos herbívoros que puedan afectar negativamente el desempeño de la acción de manejo con luga negra, tanto en los plots experimentales como en los plots control. Para ello, mensualmente se extraerán todos los organismos herbívoros presentes en 3 cuadrantes de 50 × 50 cm (0,25 m^2) tanto de los plots experimentales (n=3) como control (n=3). Los ejemplares serán puestos en bolsas plásticas

debidamente rotuladas y fijados en alcohol (Etanol 70%). Las muestras serán trasladadas hasta el laboratorio. Las especies presentes en cada muestra serán identificadas hasta el nivel taxonómico más bajo posible, contadas y se determinará la biomasa total de cada entidad taxonómica por cuadrante.

5.6.2.3. Ubicación del sector dentro de la AMERB donde se desarrollará la acción de manejo.

De acuerdo al plano marítimo costero X-51 (Fuente: Visualizador de Mapas de SubPesca), indicado como referencia de la superficie destinada a la AMERB Punta Cementerio, se indican el sector donde se ubicarán los plots experimentales (n=3) y control (n=3) (**Figura 135**). La posición aproximada de la ubicación de los plots experimentales es 41°30'37'' S; 72°58'33'' W, mientras que la ubicación aproximada de los plots control es 41°30'34'' S; 72°58'27'' W.

5.6.2.4. Seguimiento y evaluación.

La acción de manejo (cultivo de fondo de algas rojas), fue planificada para desarrollarse a partir de la segunda quincena del mes de mayo 2021. Esto, debido a que antes de esa fecha no se obtuvo el permiso y no es factible encontrar en cantidades adecuadas material reproductivo. A la fecha de elaboración del presente informe final, se han cumplidos los siguientes hitos:

i. Compra de materiales para elaboración de redes y marcaje de sustratos testigos
ii. Elaboración de redes para soporte de trozos reproductivos de luga negra (n=6), de 12 m de largo × 3 m de ancho.
iii. Marcaje de sustrato para verificar fijación de esporas (600 piedras)
iv. Prospección inicial de sitios experimentales y control (para evaluar tipo de sustrato y presencia de herbívoros).

La acción de manejo, en su fase inicial (instalación de redes con material reproductivo sobre plots experimentales (n=3) y control (n=3) está suspendida por motivos de mal tiempo desde el 30-05-2021. Se espera que las condiciones meteorológicas cambien para poder completar esta actividad y ser informada en la siguiente etapa del Programa.

Objetivo específico 3: *Desarrollar una metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies.*

5.7. Validación de metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies

En esta etapa, la metodología **MAPEA** desarrollada en la etapa anterior, fue utilizada como base para el desarrollo y validación de un **M**odelo para la **APE** de **A**lgas y **M**ulti-**E**species (**MAPEAME**), considerando especies de moluscos bivalvos en sistemas suspendidos. En particular, se evaluó la aptitud de cultivo de sitios de las siguientes especies de moluscos bivalvos: ostión de norte y ostra japonesa para la región de Coquimbo, y mitílidos (chorito y choro zapato) y ostra japonesa para la región de Los Lagos. Se identificaron sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies en ambas zonas geográficas considerando la metodología adaptada MAPEAME.
Para la validación, los datos o salidas (índice de aptitud de APE georreferenciado) del modelo fue evaluado cruzando dicha información con la producción real usando las tasas de crecimiento *in situ* de especies de algas e invertebrados cultivadas en Chiloé (Dalcahue y Quinchao) y la región de Coquimbo (Chungungo u otros). La comparación permitirá corroborar la idoneidad espacial que sugiere la herramienta de selección (i.e., en términos de sus indicadores sociales, uso del espacio, indicadores físicos) con el crecimiento en biomasa de los sectores de cultivo.

5.7.1. Aplicación del modelo MAPEAME para la zona de estudio

El desarrollo metodológico del modelo en extenso y los productos cartográficos intermedios son presentados en el **Anexo 6.** Las salidas del modelo se encuentran en la Base de Datos.
Para el almacenamiento y gestión de toda la información espacial adquirida, procesada, analizada y generada de restricciones, factores ambientales e índices de aptitud de cultivo y la aplicación del modelo MAPEAME, se crearon en formato ArcGIS 10.3 documentos ArcMap (***.mxd**), geodatabases (***.gdb**), carpetas con salidas gráficas del modelo como mapas en formato ***.jpg** y otros archivos de texto con tablas de reclasificación y límites geográficos de la zona de estudio (**Figura 137**).

16 geodatabases de archivos construidas. Una geodatabase de restricciones legales ArcGIS (**restricc.gdb**) que almacena la información identificada, adquirida y procesada como vectores (líneas, puntos y polígonos) e imágenes raster generadas al aplicar funciones para la rasterización de los vectores. Las 13 geodatabases ambientales (oceanográficas y meteorológicas) generadas en el proyecto almacenan la información histórica entre enero 2010 y diciembre 2020, adquiridas y procesadas como imágenes (raster) mensuales de la zona de estudio, las cuales corresponden a las siguientes variables y archivos geodatabases (***.gdb)**: batimetría (**batim_mapea.gdb**), velocidad máxima de corrientes superficiales de componentes zonal y meridional (**corr_mapea.gdb**), altura máxima de ola (**ola_mapea.gdb**), velocidad máxima de viento superficial (**vto_mapea.gdb**), concentración de los nutrientes nitrato y fosfato (**nutr_mapea.gdb**), visibilidad del agua o profundidad del disco Secchi (**zsd_mapea.gdb**), temperatura superficial del mar (**tsm_mapea.gdb**), concentración de clorofila *a* (**clor_mapea.gdb**), materia orgánica particulada (**poc_mapea.gdb**), materia particulada

total (**mpt_mapea.gdb**), salinidad superficial del mar (**sal_mapea.gdb**), oxígeno disuelto (**oxi_mapea.gdb**) y los datos oceanográficos (CTD y nutrientes) de estaciones de muestreo de IFOP (**Estac_IFOP.gdb** y **ctd_ifop2017_19.gdb**). Los mapas fuzzy, índices de aptitud y otros archivos son almacenados en dos geodatabases que contienen principalmente las salidas del modelo MAPEA (**Apto_mapea.gdb**) correspondientes a modelaciones en fases anteriores del proyecto y las salidas actuales (2010 a 2020) del modelo MAPEAME (**IAMAPEAME.gdb**).

Toolbox y Toolsets de modelos espaciales. Se genera una caja de herramientas (toolbox) para el proyecto MAPEAME (**MAPEAME_2021.tbx**) para construir, editar, aplicar y almacenar los modelos espaciales (**Figura 138**) que utilizan un lenguaje de programación visual para crear y automatizar flujos de trabajo (modelación) bajo plataforma y estándar ArcGIS, permitiendo agrupar secuencias de herramientas de geoprocesamiento, alimentando la salida de una herramienta a otra como entrada. Los modelos espaciales se agrupan por especie y multiespecie en conjuntos de herramientas (toolsets) contenidos en el toolbox.

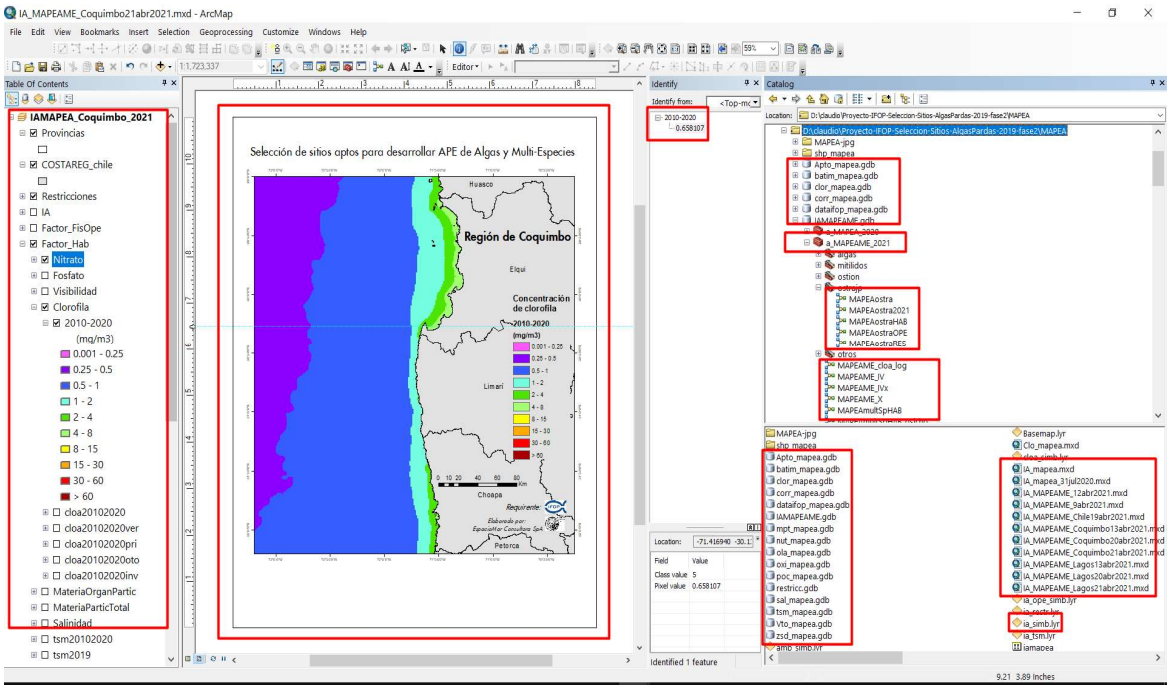


Figura 137. Ejemplo de documento de capas SIG en ArcMap y productos de información en ArcCatalog del software ArcGIS 10.3 generados para el desarrollo y aplicación del modelo MAPEAME: geodatabases de archivos, proyectos de documentos ArcMap (*.mxd), carpeta con salidas graficas del modelo como mapas en formato JPG, interfase con plantilla cartográfica por región para el mapeo de la información y otros archivos de texto con tablas de reclasificación y límites geográficos de la zona de estudio.

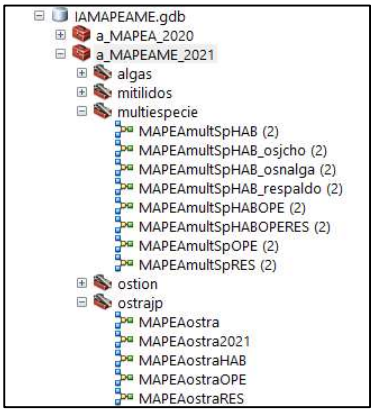


Figura 138. Toolbox o caja de herramientas desarrollada para el proyecto MAPEAME.

A la fecha, el tamaño total de las geodatabases, modelos espaciales, proyectos ArcMap y otros archivos de MAPEAME en formato ArcGIS equivalen a 43.8 GB con 30769 archivos.
A modo de ejemplo, el modelo espacial multiespecie **MAPEAmultSpRES.mbd** del toolset **multiespecie** estima el índice de aptitud de restricciones legales y sociales (**Figura 139**). Como resultado de la aplicación del modelo se obtiene el mapa del índice de aptitud de restricciones (**Figura 140**).

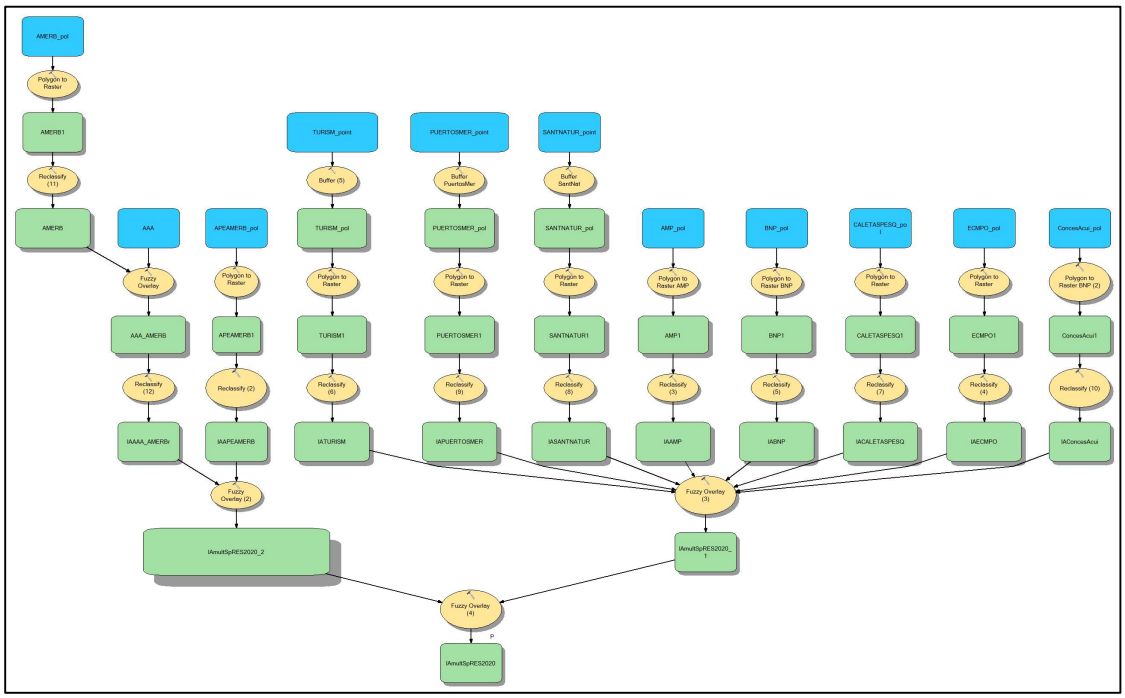


Figura 139. Modelo que estima el índice de aptitud de las restricciones legales y sociales.

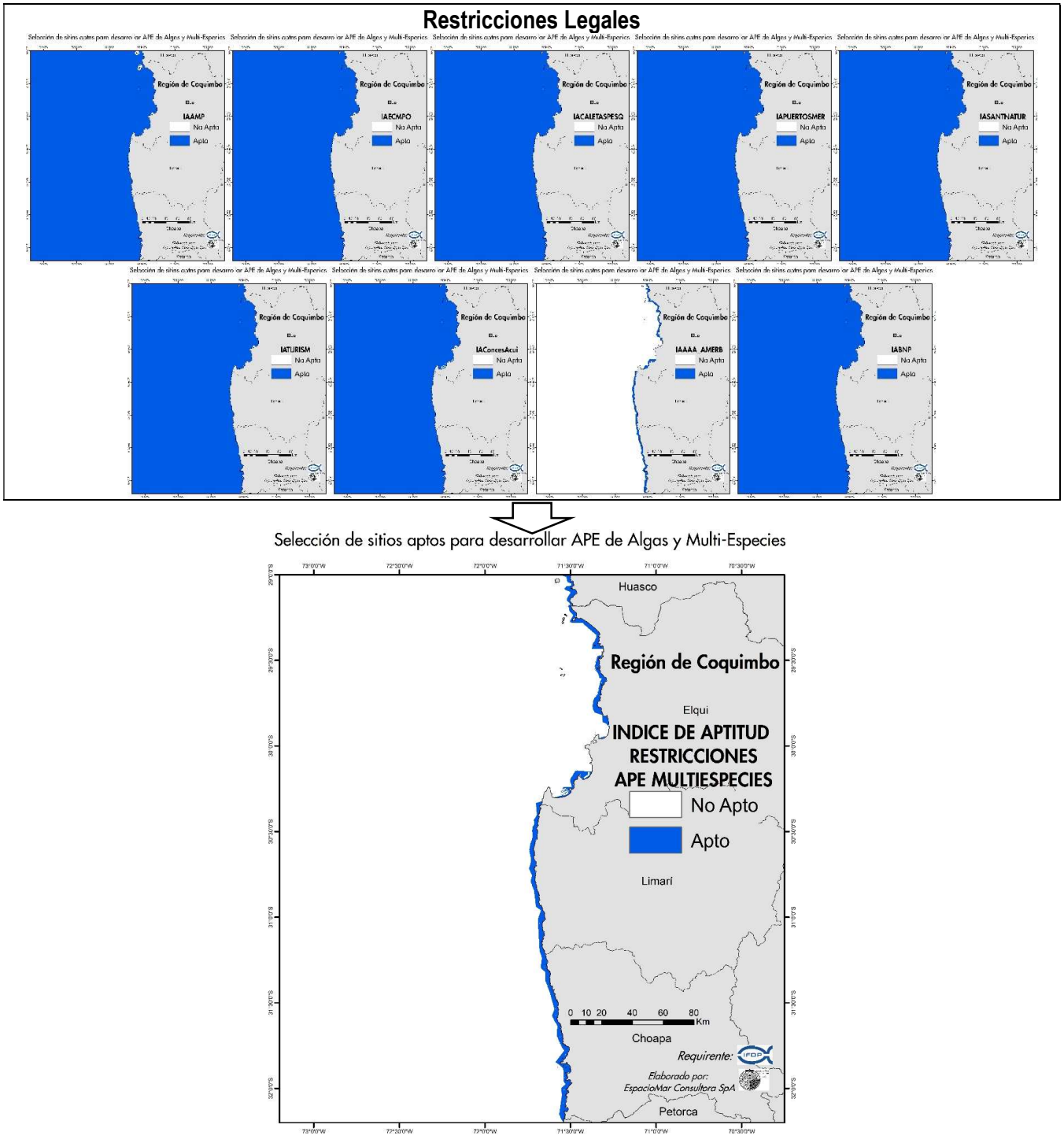


Figura 140. Mapas de restricciones legales y del índice de aptitud como resultado final de la aplicación del modelo de análisis espacial MAPEAmultSpRES.mbd en la Región de Coquimbo.

El modelo MAPEAME que estima el índice de aptitud para cada especie (**IA_MAPEAME.mbd**) es implementado en ArcGIS para simular la distribución espacial de zonas idóneas para el desarrollo de la APE de algas, ostión del norte, ostra japonesa y chorito en sistemas de cultivo suspendido long-line (**Figura 141**).

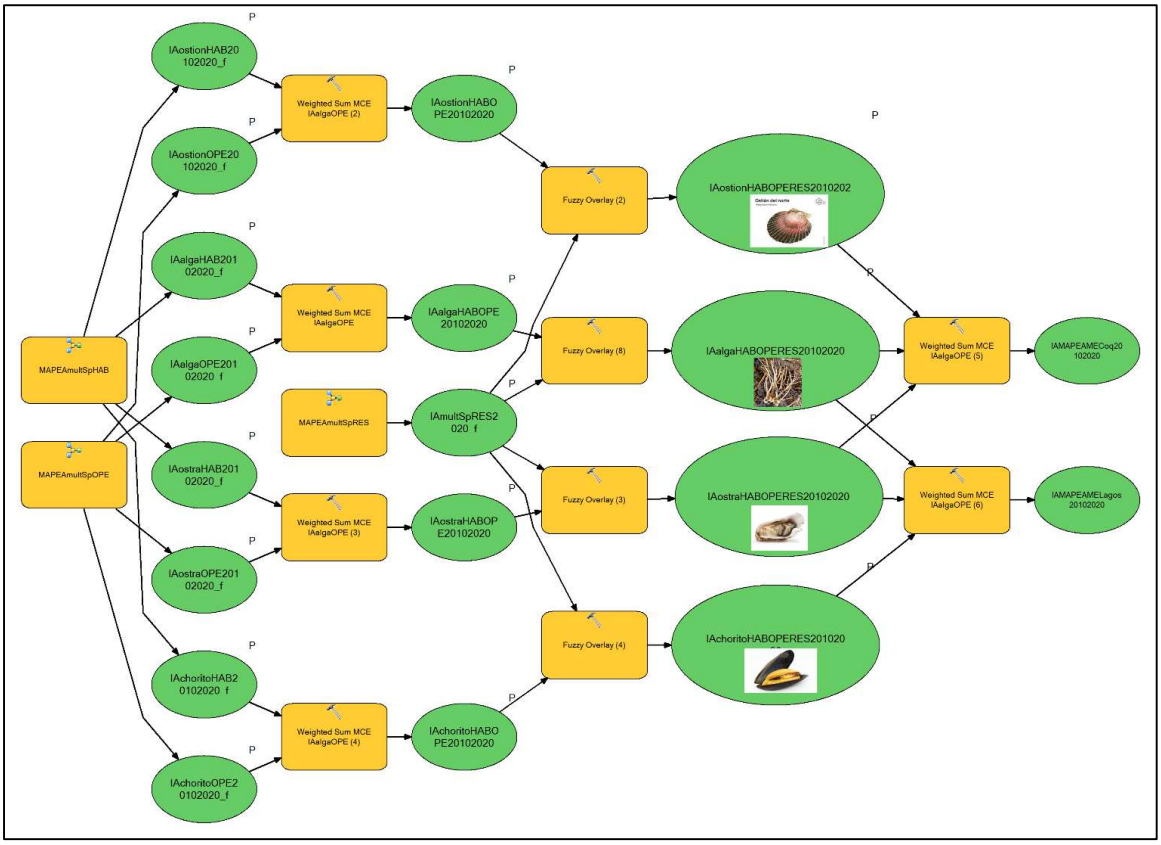


Figura 141. Modelo MAPEAME que estima el índice de aptitud para el desarrollo de la APE de multiespecies en sistemas de cultivo long-line en base a la evaluación multicriterio de las restricciones legales y los índices de aptitud de factores de hábitat y operacionales estimados con fuzzy logic y ponderados por el juicio experto. A modo demostrativo el modelo es aplicado utilizando climatologías ambientales de verano, otoño, invierno y primavera del período enero 2010 a diciembre 2020.

El modelo multiespecie MAPEAME está compuesto de los siguientes tres submodelos: i) **MAPEAmultSpRES.mbd** que estima el índice de aptitud de APE en base a las restricciones legales y sociales, ii) **MAPEAmultSpHAB.mbd** que simula la aptitud del hábitat para la APE de las especies objetivo en base a la distribución espacial de los factores ambientales que afectan el crecimiento, sobrevivencia y la biomasa cosechable (**Figura 142**), y iii) **MAPEAmultSpOPE.mbd** que predice sitios óptimos para la APE de multi-especies en base a factores de aptitud física y operacional (**Figura 143**).

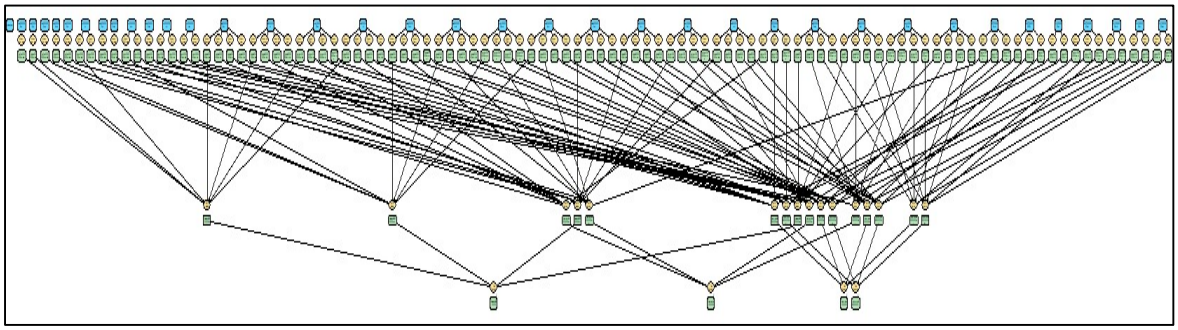


Figura 142. Submodelo MAPEAmultSpHAB.mbd que simula la aptitud del hábitat para la APE de las especies objetivo en base a la distribución espacial de los factores ambientales que afectan el crecimiento, sobrevivencia y la biomasa cosechable.

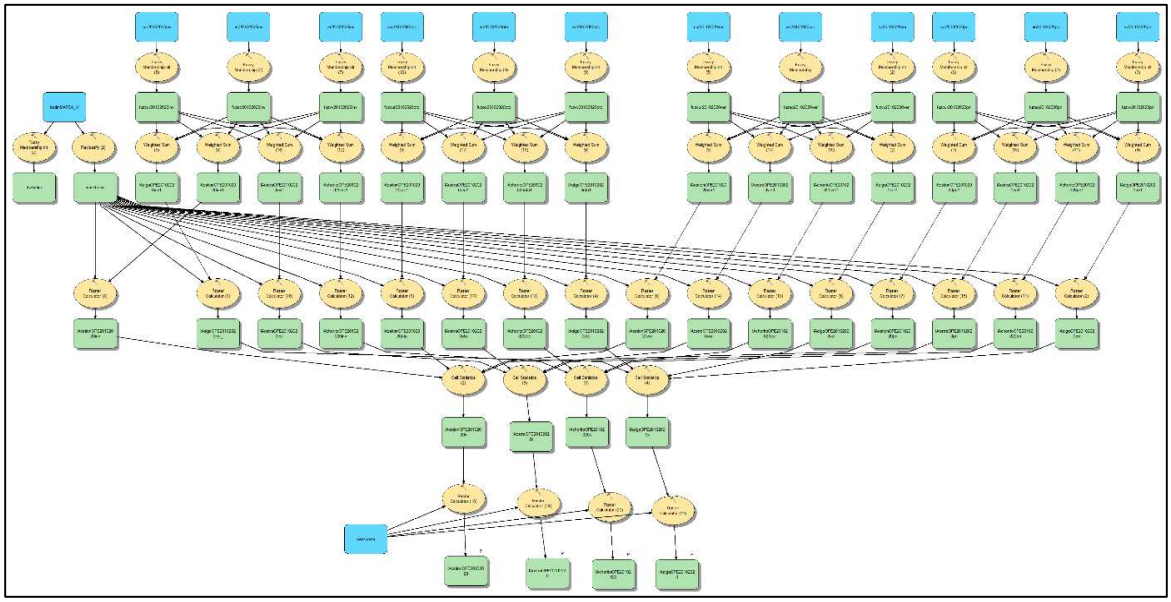


Figura 143. Submodelo MAPEAmultSpOPE.mbd que predice sitios óptimos para la APE de multi-especies en base a factores de aptitud física y operacional.

El modelo MAPEAME estima el índice de aptitud para el desarrollo de la APE de multiespecies en sistemas de cultivo long-line, en base a la evaluación multicriterio de las restricciones legales y factores ambientales de idoneidad de hábitat y operacionales estimados con la técnica de inteligencia artificial llamada fuzzy logic (lógica difusa) y ponderados en base a un Proceso de Jerarquía Analítica AHP que involucra las percepciones y juicios humanos realizado por un panel de expertos.

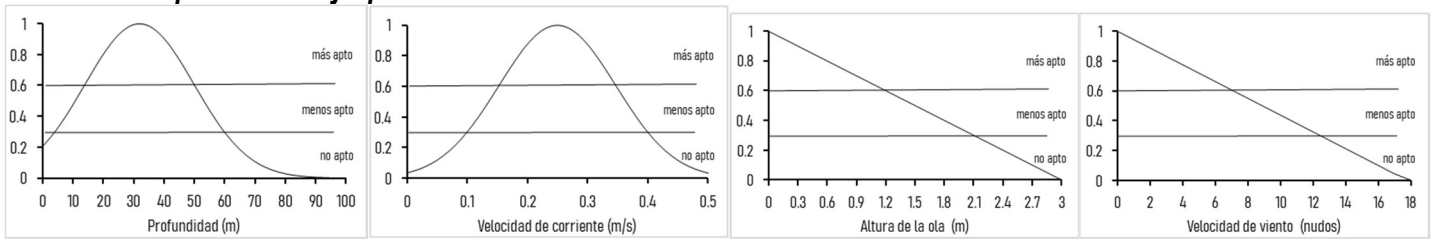
Cabe señalar, que a modo demostrativo el modelo es aplicado utilizando como datos de entrada las climatologías ambientales de verano, otoño, invierno y primavera del período enero 2010 a diciembre 2020 y para las Regiones de Coquimbo y Los Lagos. La corrida del modelo multiespecie completo y

para gran parte de la zona marina y costera de Chile (18-44°S; 70-80°W) se tarda aproximadamente 2 horas en su ejecución, obteniéndose como salidas del modelo un mapa de síntesis (climatología enero 2010 a diciembre 2020) del índice de aptitud para el desarrollo de la APE para cada especie objetivo (**IAalga20102020, IAostion20102020, IAostra20102020 y IAchorito20102020**).

Las imágenes de las variables ambientales que condicionan el hábitat y la operación para la APE de las especies, son transformadas y normalizadas al índice de aptitud (0 a 1) utilizando curvas de evidencia fuzzy que representan las relaciones funcionales entre los factores ambientales y el éxito de crecimiento y cultivo APE de las especies, las que fueron construidas en base al análisis de información bibliográfica y espacio-temporal del ambiente y recursos, la que fue recolectada durante los años del proyecto. A modo de ejemplo, la **Figura 144** muestra las curvas de evidencia fuzzy de los factores de aptitud física, operacional y de crecimiento para el desarrollo de la APE de algas pardas, construidas en base al análisis de la información espacio-temporal ambiente-recurso histórica y de referencias bibliográficas.

Como resultados de la aplicación del modelo espacial MAPEAME para la identificación de sitios aptos para el desarrollo de la APE de algas y cultivos multiespecies en sistemas de cultivo long-line construido, se obtienen mapas que simulan la aptitud final por especie a un tiempo determinado y para las regiones de Coquimbo y Los Lagos. Para el proyecto y a modo de demostración, el modelo MAPEAME es forzado con las imágenes ambientales estacionales de climatologías del período enero 2010 a diciembre 2020 disponibles en las geodatabases construidas, y posteriormente fueron estimados promedios del índice de Aptitud para el período de estudio. A modo de ejemplo, en las **Figuras 145-152** se presentan los mapas de síntesis final que muestran la zonificación del índice de aptitud para desarrollar la APE en 4 especies con potencial para la producción acuícola como algas, ostión del norte, ostra japonesa y chorito sistemas de cultivo suspendido para las comunidades costeras de pescadores artesanales en las dos regiones evaluadas, basado en las restricciones legales y sociales y a los factores de calidad de hábitat y operacionales que influyen en la actividad productiva.

Factores de aptitud física y operacional



Factores de crecimiento y sobrevivencia

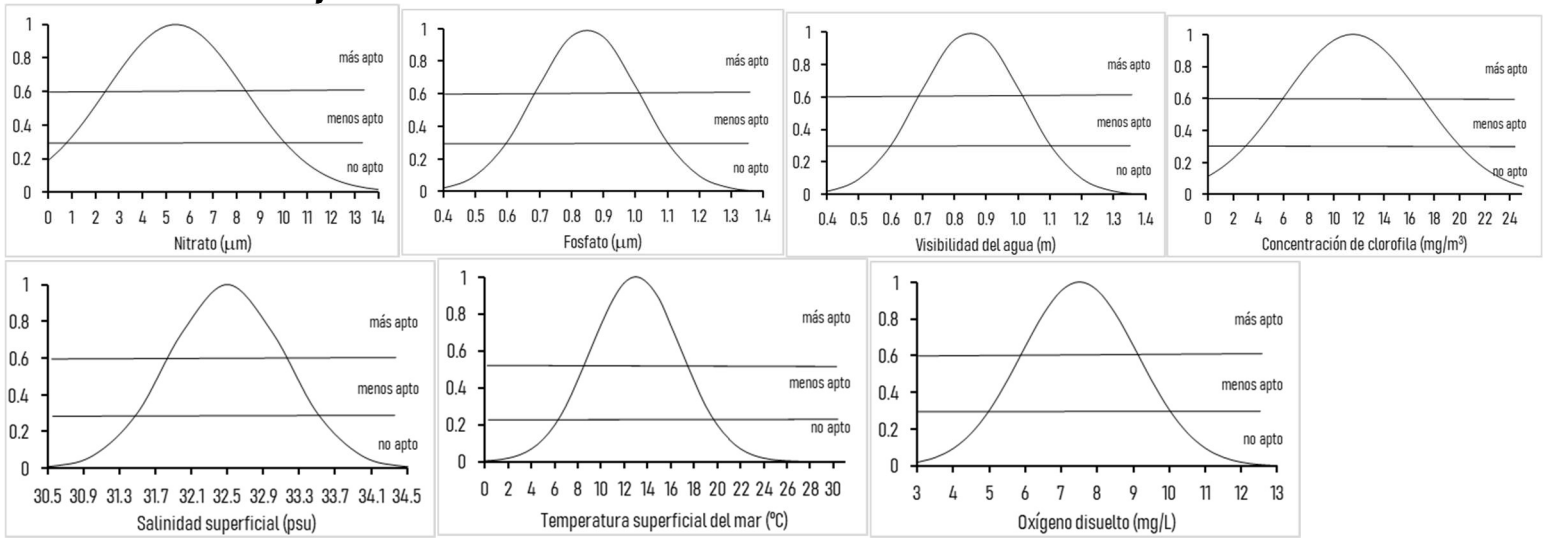


Figura 144. Curvas de evidencia fuzzy de los factores de aptitud física, operacional y de crecimiento (relaciones funcionales ambiente - APE de algas pardas), construidas en base al análisis de la información espacio-temporal bibliográfica.

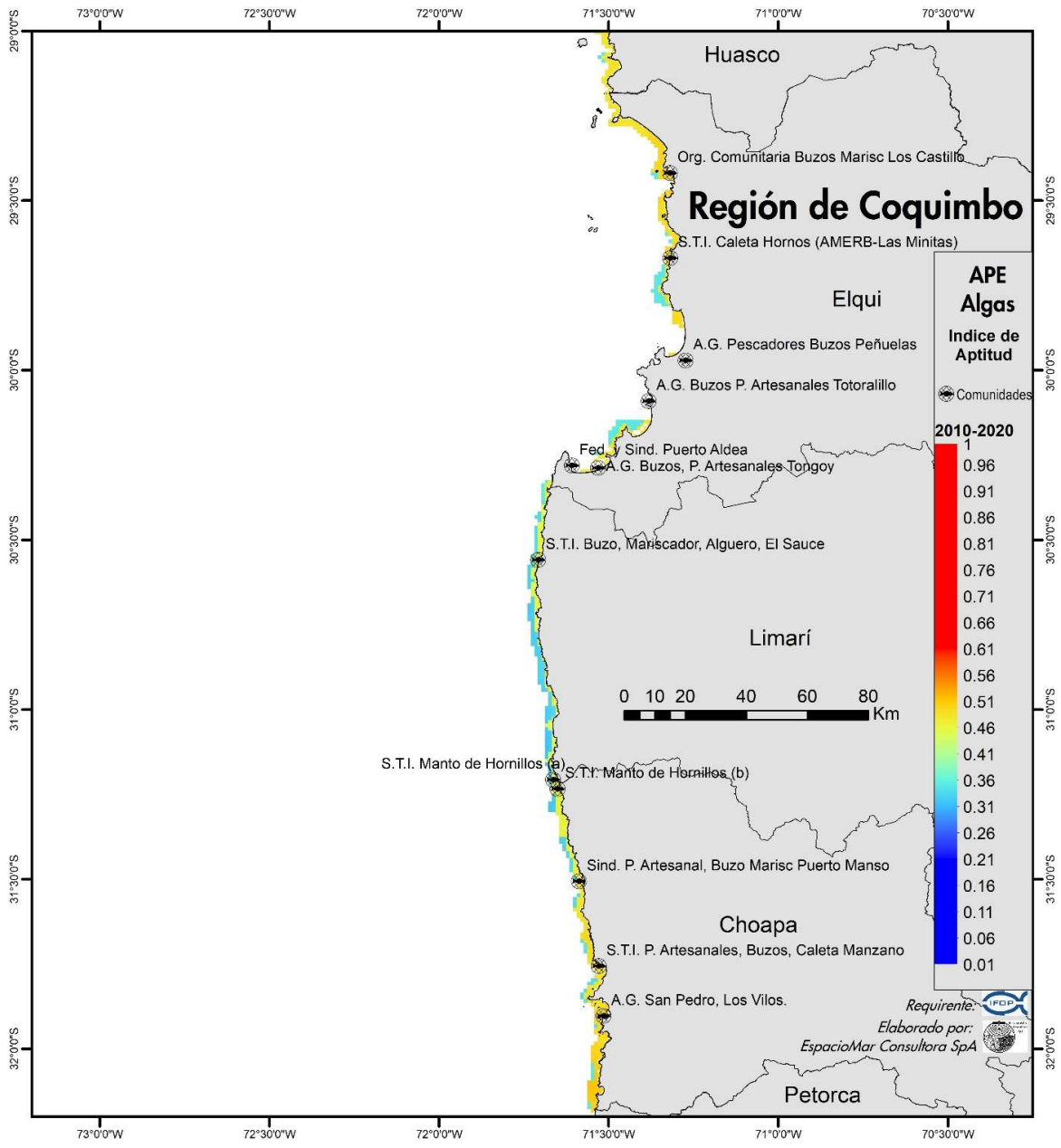


Figura 145. Mapa de síntesis final que muestra la zonificación del índice de aptitud para desarrollar APE de macroalgas en sistemas de cultivo suspendido para las comunidades costeras de pescadores artesanales en la Región de Coquimbo, basado en las restricciones legales y sociales y a los factores de calidad de hábitat y operacionales que influyen en la actividad productiva.

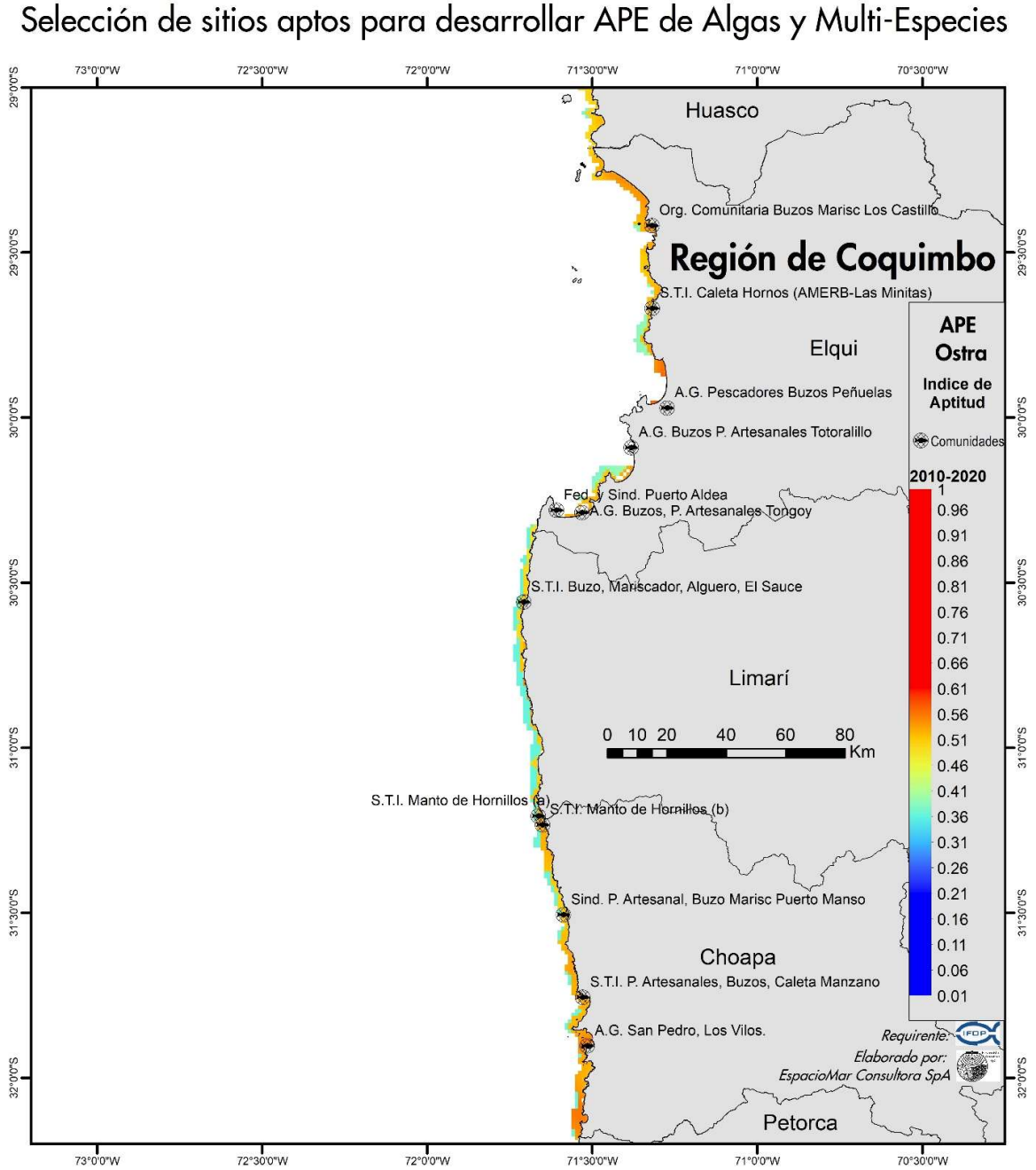


Figura 146. Mapa de síntesis final que muestra la zonificación del índice de aptitud para desarrollar la APE de ostra japonesa en sistemas de cultivo suspendido para las comunidades costeras de pescadores artesanales en la Región de Coquimbo, basado en las restricciones legales y sociales y a los factores de calidad de hábitat y operacionales que influyen en la actividad productiva.

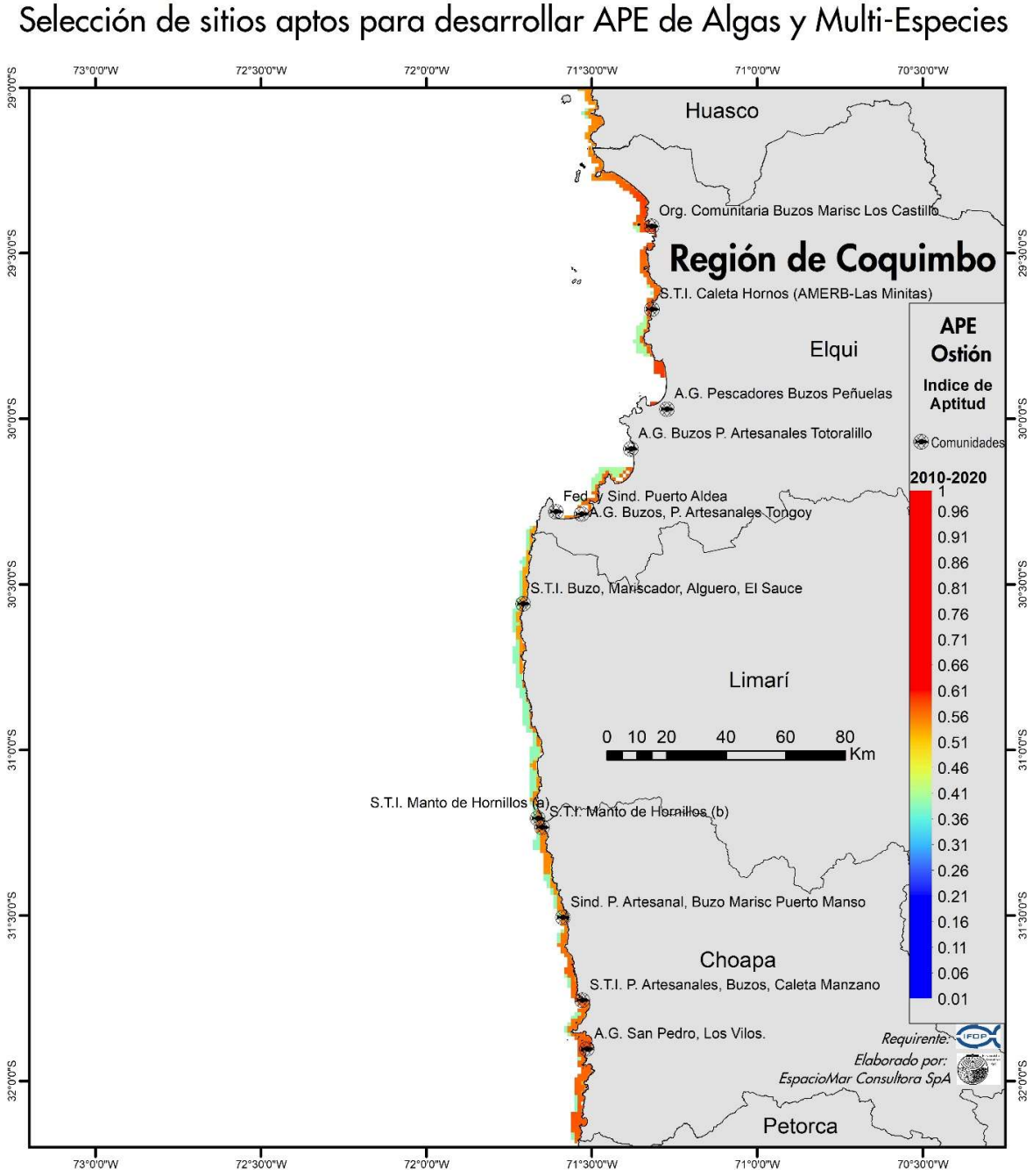


Figura 147. Mapa de síntesis final que muestra la zonificación del índice de aptitud para desarrollar la APE de ostión del norte en sistemas de cultivo suspendido para las comunidades costeras de pescadores artesanales en la Región de Coquimbo, basado en las restricciones legales y sociales y a los factores de calidad de hábitat y operacionales que influyen en la actividad productiva.

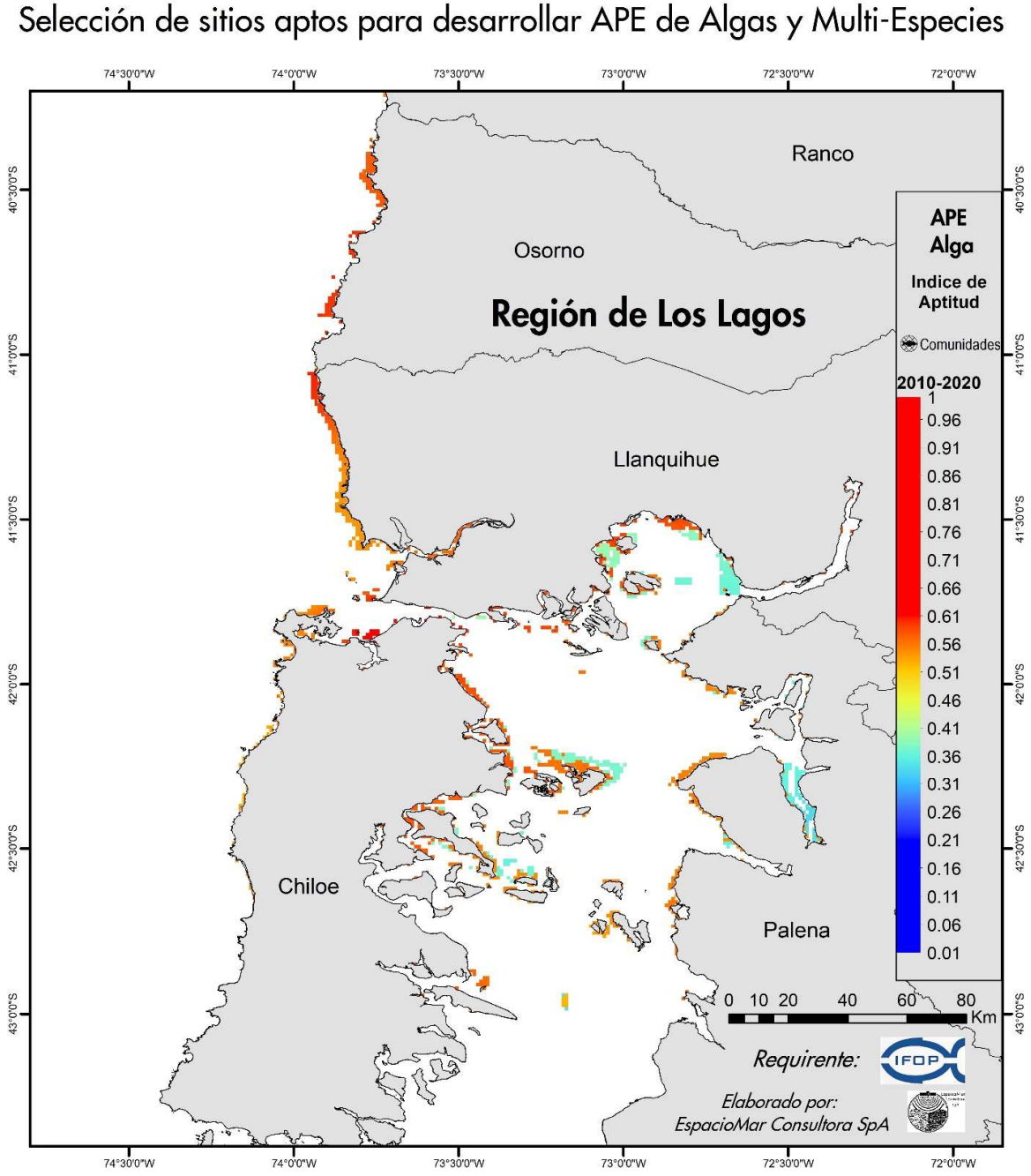


Figura 148. Mapa de síntesis final que muestra la zonificación del índice de aptitud para desarrollar la APE de macroalgas en sistemas de cultivo suspendido para las comunidades costeras de pescadores artesanales en la Región de Los Lagos, basado en las restricciones legales y sociales y a los factores de calidad de hábitat y operacionales que influyen en la actividad productiva.

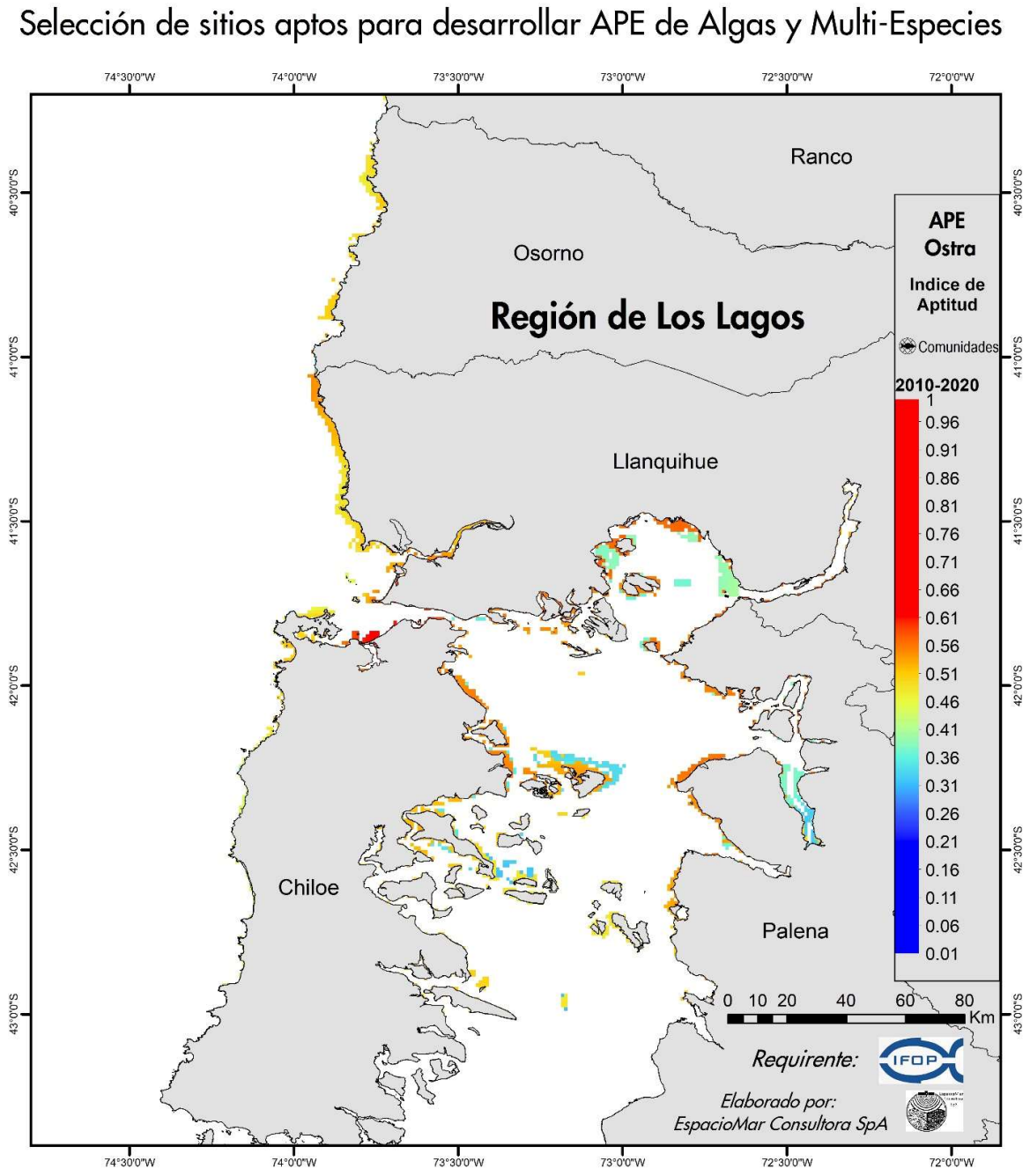


Figura 149. Mapa de síntesis final que muestra la zonificación del índice de aptitud para desarrollar la APE de ostra japonesa en sistemas de cultivo suspendido para las comunidades costeras de pescadores artesanales en la Región de Los Lagos basado en las restricciones legales y sociales y a los factores de calidad de hábitat y operacionales que influyen en la actividad productiva.

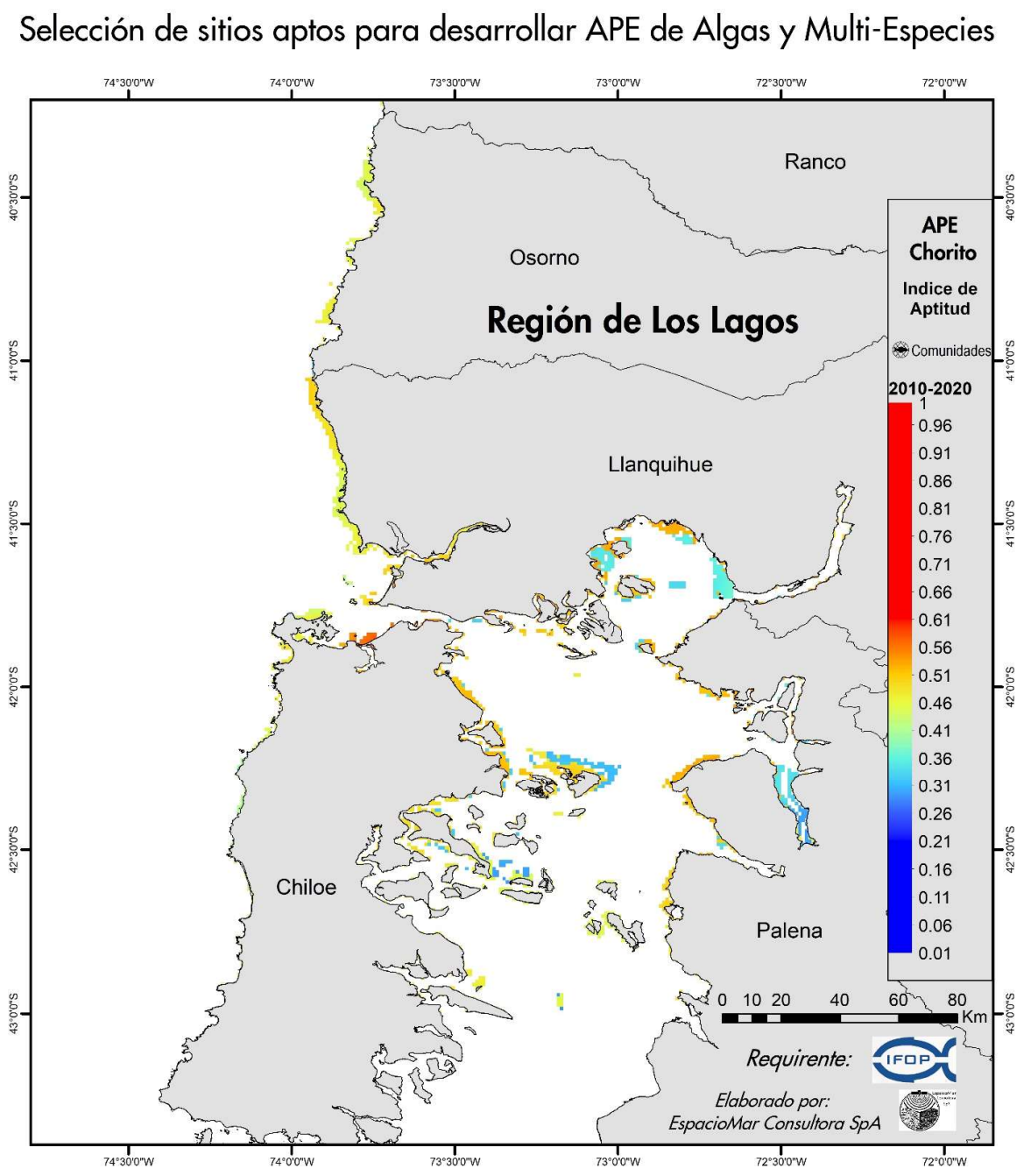


Figura 150. Mapa de síntesis final que muestra la zonificación del índice de aptitud para desarrollar la APE de chorito en sistemas de cultivo suspendido para las comunidades costeras de pescadores artesanales en la Región de Los Lagos, basado en las restricciones legales y sociales y a los factores de calidad de hábitat y operacionales que influyen en la actividad productiva.

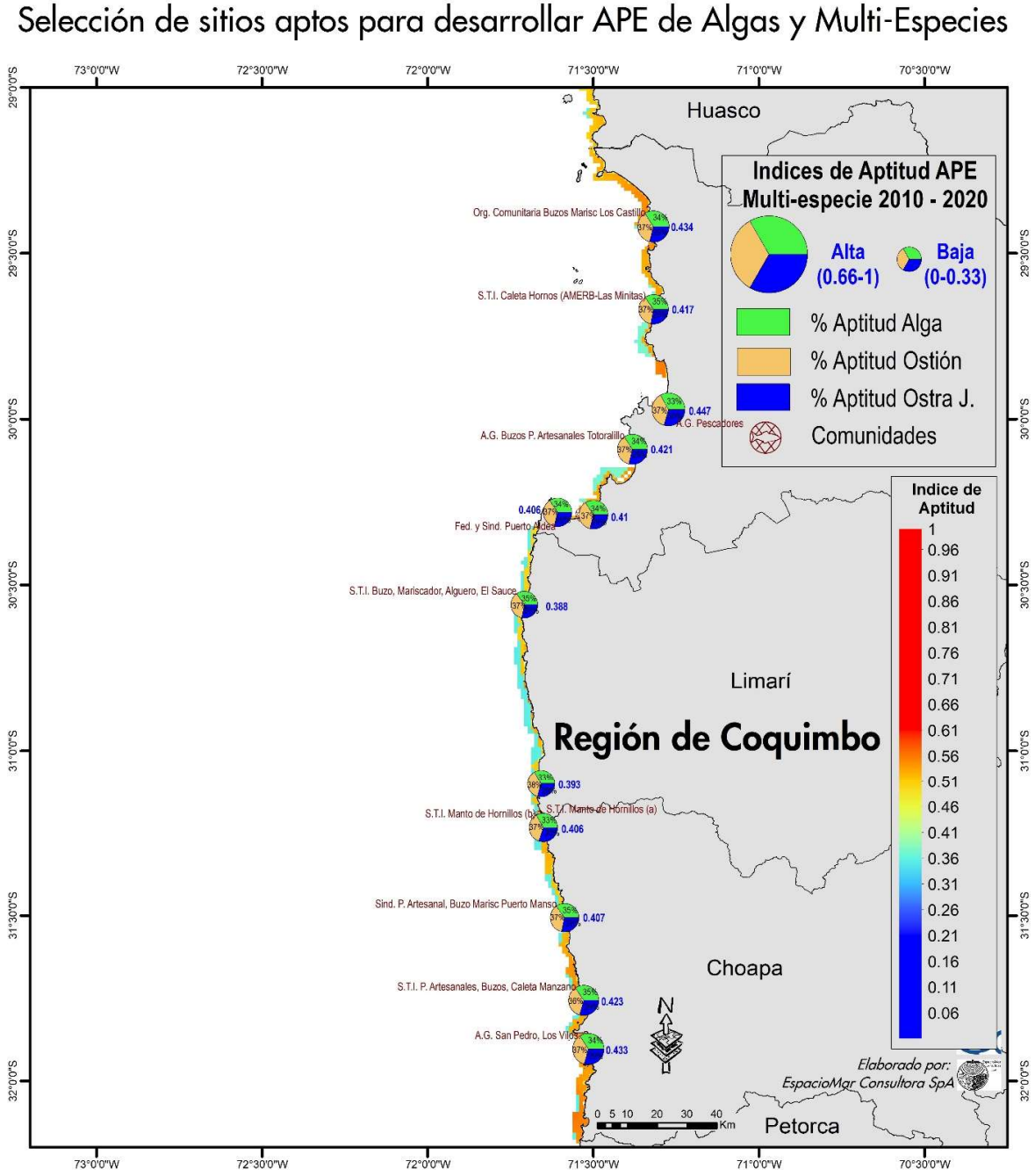


Figura 151. Mapa de síntesis final que muestra índices de aptitud para desarrollar APE de macroalgas, ostión del Norte y ostra japonesa en sistemas de cultivo suspendido para comunidades costeras de pescadores artesanales en la Región de Coquimbo. Mapa basado en las restricciones legales, sociales, factores de calidad de hábitat y operacionales que influyen en la actividad productiva.

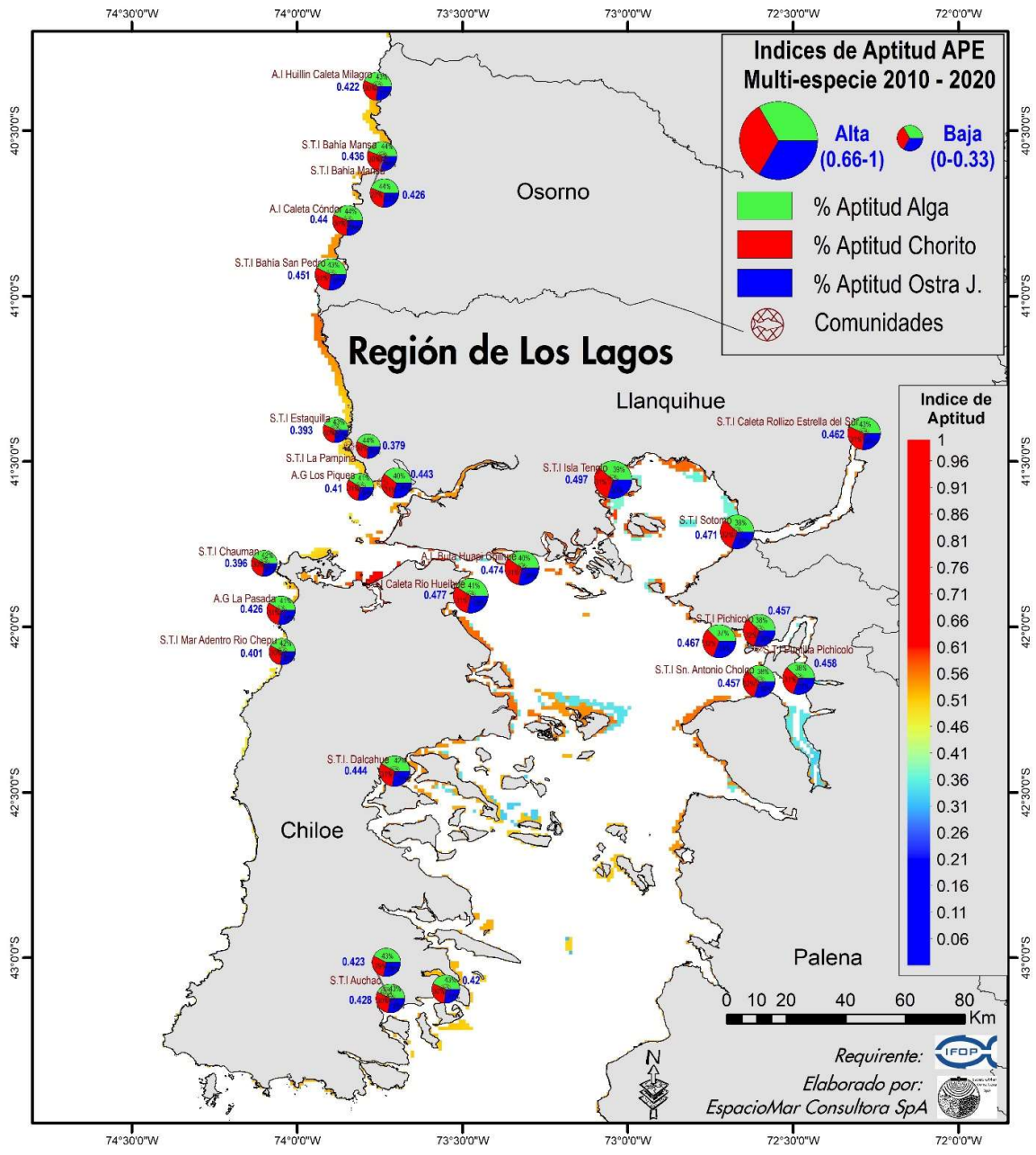


Figura 152. Mapa de síntesis final que muestra índices de aptitud para desarrollar APE de macroalgas, ostión del Norte y ostra japonesa en sistemas de cultivo suspendido para comunidades costeras de pescadores artesanales en la Región de Los Lagos. Mapa basado en las restricciones legales, sociales, factores de calidad de hábitat y operacionales que influyen en la actividad productiva.

5.7.2. Interpretación del modelo MAPEAME

Los índices de aptitud de sitios más idóneos se mantuvieron entre los 10 y 25 m de profundidad y parecen responder a alturas de ola <1,5 m, principalmente observados en la depresión costera de la provincia de Elqui, en Coquimbo, y en el Golfo de Ancud en Los Lagos (Figuras 10 y 11, **Anexo 6**). Este patrón, coincide con velocidades de corriente < 0.05 m/s^{-1} presentes también en la depresión del Elqui y el Golfo de Ancud, donde velocidades ligeramente mayores (0,05 a 0,08) estuvieron relacionadas con los sitios de mayor aptitud de cultivo (Figuras 12 y 13, **Anexo 6**). A su vez, la velocidad del viento (Figuras 14 y 15, **Anexo 6**). tiende a ser menor en las zonas descritas como de mayor aptitud para ambas regiones. Hasta aquí, ciertos rangos de las características físicas de un litoral protegido tienden a mejorar la aptitud de cultivo.

Altas concentraciones de Nitrato (>10µm) predominaron en toda la costa de Coquimbo mostrando el efecto de la surgencia costera (Figuras 16 y 17, **Anexo 6**). En Los Lagos estas concentraciones fueron espacialmente heterogéneas (1 - >10 µm), altamente influenciadas por el movimiento de agua de la compleja geografía del mar interior. Particularmente, concentraciones de nitrato similares a las observadas en Coquimbo y que coincidieron con índices más óptimos sólo fueron observadas en la costa noreste de Chiloé, el canal Dalcahue y el grupo Desertores. El fosfato (Figuras 18 y 19, **Anexo 6**) presentó concentraciones ~ 1 mg/m^3 en la costa del Elqui, los cuáles fueron mayores que los observados en los sitios de mayor aptitud en Los Lagos, donde predominaron valores < 0,5, mg/m^3. A su vez, la visibilidad del agua en sitios de mayor aptitud se encontró ente 2 - 5 m (Figuras 20 y 21, **Anexo 6**).

Estas características de la columna de agua (nutrientes, visibilidad) pueden dar cuenta de la actividad biológica en estas áreas, principalmente reflejada en la concentración de fitoplancton/ alimento para filtradores (i.e., proxy Clorofila a), la cual mostró valores similares en las áreas con más altos índices de aptitud de cultivo como la Costa del Elqui, una amplia zona del Golfo de Ancud y el Seno de Reloncaví (i.e., 4 - 8 mg/m^3) (Figuras 22 y 23, **Anexo 6**).).

La mayor carga de materia orgánica particulada (MOP; Figuras 24 y 25, **Anexo 6**) y materia particulada total (MPT; Figuras 26 y 27, **Anexo 6**) estuvieron asociadas a centros urbanos en ambas regiones, pero también a bocas de grandes estuarios en Los Lagos como Maullín, Pudeto, Reloncaví, Calbuco, fiordos Comau y Reñihue con alrededor de 1,500 – 2,000 mg/m^3 que reflejan cargas de MPT de alrededor de 2,2 – 2,4 mg/L. Sin embargo, los rangos de MOP de aquellas zonas costeras con mayor aptitud estuvieron entre 800 y 1,500 mg/m^3, y asociados a concentraciones de MPT entre 0,9 – 1,2 mg/l en ambas regiones. El material particulado total y la fracción de orgánico particulado, si bien, pueden ser asociados a disponibilidad de alimento para filtradores, tanto su origen y naturaleza (urbano vs. natural) muestran variabilidad entre áreas más expuestas tanto en Coquimbo (provincia de Limarí y Choapa) como en la costa expuesta de Los Lagos, siendo mayor en Los Lagos (200 – 400 mg/m^3 en Coquimbo y 400 – 800 mg/m^3 en Los Lagos)

La salinidad fluctuó entre rangos oceánicos ~ 32,1 – 33 PSU en Coquimbo, pero fue ligeramente menor en Los Lagos (Dominio de agua estuarina) con 30,5 – 32 PSU y ~29 PSU en la zona más óptima para cultivo dentro del Seno de Reloncaví (i.e., Quillaipe; Figuras 28 y 29, **Anexo 6**).

La variación de temperatura del agua reflejó diferencias latitudinales esperables entre 14 – 16°C en el norte, pero ~ 12 – 14 °C en Los Lagos para las áreas con mejor aptitud de cultivo (Figuras 30 y 31,

Anexo 6). Así mismo, el oxígeno disuelto, varió entre 7 – 8 mg/l en Coquimbo y entre 8 - 9 mg/l en Los Lagos (Figuras 32 y 33, **Anexo 6**)., reflejando también la preponderancia de aguas oceánicas y estuarinas característico, respectivamente, de cada región.

El cálculo de la aptitud de cultivo en términos espaciales mostró que éste, en promedio, fue menor en la región de Coquimbo situándose entre los 0.41 y 0.56 (**Figura 153**). El borde costero de la provincia de Limarí y Choapa, pero particularmente entre los sindicatos Puerto Aldea Sauce y Mantos de Hornillos (**Figura 151**) muestra el área con menor aptitud para cultivo multiespecies con valores alrededor de 0,46. Sin embargo, la costa de Choapa (entre mantos de Hornillos y el límite con la V región) se mantuvo cercano a 0.56. Similarmente, el índice de aptitud en la franja costera de la provincia de Elqui, entre Caleta El Sauce y el límite con Huasco, fue el área costera con mejor índice de aptitud (~0.61). La costa de la región de Coquimbo presentaría una aptitud moderada para el cultivo multiespecies. Sin embargo, el mejor escenario de cultivo dada la iteración multicapas, parece estar facilitada por la depresión litoral existente a lo largo de la provincia de Limarí, entre Tongoy y Punta Choros (**Figura 151**).
Por otro lado, si bien la costa expuesta de la región de Los Lagos presentó, en general, valores similares a los observados en la depresión costera del Limarí, el índice de aptitud fue levemente superior mostrando variaciones entre los 0,51 y 0,56. Esta diferencia fue más pronunciada hacia el mar interior, en particular, para el area del Golfo de Ancud y el Este del Seno de Reloncaví, donde la aptitud para el cultivo varió entre 0,41- 0,76 (**Figura 152**).
Entre las áreas de mayor aptitud en Los Lagos, destaca el valor alcanzado en el área estuarina de Pudeto, donde el índice alcanzó valores máximos con alrededor de 0,76. Otras áreas costeras con buena aptitud de cultivo bordean el Seno de Reloncaví desde Huelmo hasta Tenglo, y entre Quillaipe y Metri. Similarmente, la costa alrededor de Calbuco, la isla Queulín y desde caleta Puelche hasta Hualaihué, el Golfo de Ancud Entre Hueihue y las islas Chauques en la costa Noreste de Chiloé y el borde de la península de Huequi (Palena), mostraron valores alrededor de 0,61. Índices levemente menores (alrededor de 0,51) se observaron alrededor de La isla de Quinchao, Lemuy y el grupo Desertores. Sitios con baja aptitud de cultivo se encontraron en el Fiordo Comau, mientras que la costa expuesta al norte de Chiloé mostró valores medio-bajos (~0,46). Interesantemente, el estuario del río Maullín y Reloncaví presentaron índices medios (0,56) para cultivo multiespecies.

La iteración final que incluye el porcentaje de aptitud por especie (i.e., ponderado por panel de expertos, aptitud operacional y hábitat) mostró que el índice de aptitud para cultivo multiespecies en las organizaciones de la costa de Coquimbo (i.e., Indicado por el tamaño de los gráficos de torta en **Figuras 151** y **152**), en promedio, no superó un rango medio-bajo de 0.417 (DE ± 0.016) y este valor fue similar para las organizaciones ubicadas en costa expuesta de la Región de Los Lagos (0.42 ± DE 0.021). Sin embargo, las organizaciones del mar interior en esta región mostraron una aptitud para cultivo algo mayor alcanzando en promedio 0.46 (DE ± 0.02).
En términos específicos, el ostión del norte, presenta mejor aptitud de cultivo que el resto de las especies en la Región de Coquimbo (**Figura 154A**). En cambio, para la región de Los Lagos, de manera general, los resultados mostraron porcentajes de aptitud que privilegiarían el cultivo de macroalgas (Figura **154 B** y **C**). El chorito y la ostra japonesa mostraron porcentajes de aptitud

relativamente equivalentes en toda la región de Los Lagos, mientras que la ostra japonesa no mostró grandes diferencias en ambas regiones (**Figura 18**), pero, fue la especie con menor índice de aptitud por organización.

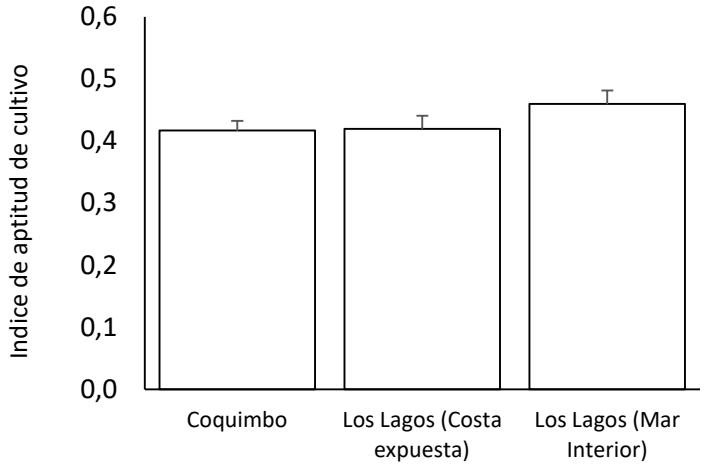


Figura 153. Índice de aptitud promedio para cultivo APE multiespecies por área geográfica, separando las organizaciones de la costa expuesta de la región de Coquimbo y Los Lagos, y el mar interior de la región de Los Lagos

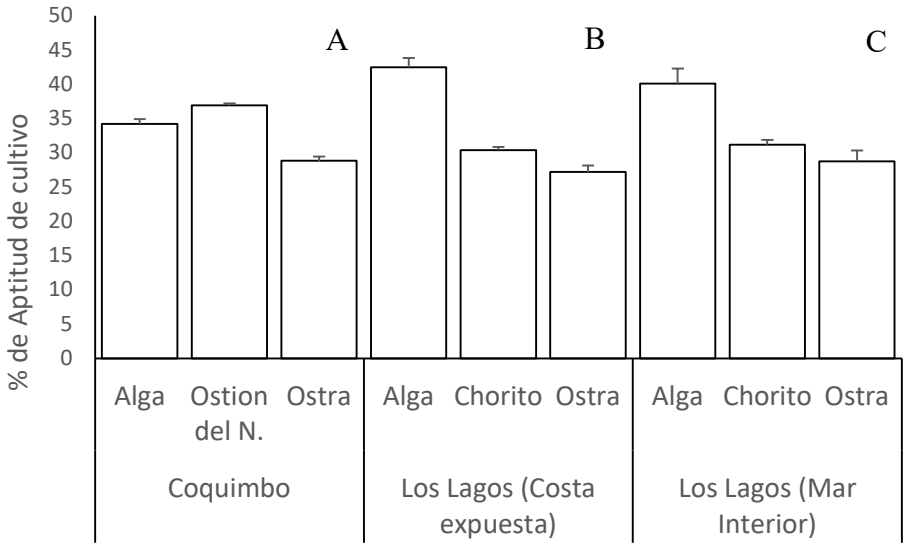


Figura 154. Porcentaje de aptitud de cultivo por especie (Media ± DS) en cultivos multiespecies separando las organizaciones de la costa expuesta de la región de Coquimbo (A) y Los Lagos (B), y el mar interior de la región de Los Lagos (C).

Objetivo específico 4: *Identificar condiciones abióticas óptimas para el cultivo de especies claves para el desarrollo de APE.*

5.8. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de algas y bivalvos co-cultivados (Fase 2)

5.8.1. Diseño experimental

El objetivo de esta actividad fue determinar el efecto de diferentes combinaciones de biomasa inicial de co-cultivo sobre el crecimiento de C*. chamissoi* y *C. gigas*, y *S. skottsbergii* y *C. gigas*. La hipótesis de investigación fue que las dos especies en co-cultivo tendrán un mayor crecimiento que en mono-cultivos.

Individuos de *C. chamissoi* y *S. skottsbergii* fueron obtenidos de los cultivos implementados en Dalcahue y recolectados desde Manao (41,88° S; 73.51° O) durante marea baja en abril de 2021, respectivamente. Individuos de *C. gigas* fueron obtenidos del centro de cultivo "Cultivos Cholche", durante enero de 2021. Muestras de cada especie fueron transportadas al laboratorio dentro de una caja refrigerada por no más de una hora. Las muestras fueron limpiadas usando un pincel y agua de mar filtrada para eliminar epibiontes visibles. Luego, fueron aclimatadas por 4 días bajo condiciones estándar de cultivo (15 °C, 100 µmol fotón m^{-2} s^{-1}, 34 ‰).

Luego del periodo de aclimatación, se realizaron dos experimentos de co-cultivo usando cinco diferentes proporciones iniciales de biomasa (1:0, 2:1, 1:1, 1:2 y 0:1) dentro de estanques de acrílico de 3 L, con flujo continuo de agua de mar (34 ‰). El peso utilizado en cada experimento está detallado en la **Tabla 43**. Los co-cultivos fueron mantenidos en una sala con temperatura controlada a 15 °C, y la intensidad de luz (120 µmol fotón m^{-2} s^{-1}) fue provista por tubos LED (T8, 18 W, luz blanca, TEJiE Ltd. San Antonio, Chile) y medida usando un sensor cuántico conectado a un medidor (LP471 PAR y foto-radiómetro HD 2302.0, Delta OHM S.r.l., Italia). Los individuos de *C. gigas* fueron alimentados dos veces por día con *Nannochloropsis* sp. a una concentración final de 400.000 células ml^{-1}.

El peso fresco y seco de los individuos de cada especie fueron determinados en el día 1, y 30 (experimento 1) y 34 (experimento 2). El exceso de agua en el tejido de cada individuo fue removido con papel absorbente antes de pesar. Las tasas de crecimiento fueron calculadas de acuerdo a Yong et al. (2013) y Riisgård et al. (2012) para macroalgas y bivalvos, respectivamente.

El rendimiento cuántico máximo (Fv/Fm) del fotosistema II es un indicador de la eficiencia fotosintética máxima en algas (Figueroa et al. 2013), y fue medido usando un fluorómetro de amplitud modulada (Junior-PAM, Walz, Alemania) al día 1, y 30 (experimento 1) y 34 (experimento 2). Las muestras de tejidos de las macroalgas fueron adaptadas a la oscuridad por 15 min. (Schreiber et al. 1995) antes de ser expuestas al Junior-PAM.

La tasa de respiración en *C. gigas* fue determinada de acuerdo a Gosling (2015) al día 1, y 30 (experimento 1) y 34 (experimento 2). Los individuos de cada tratamiento fueron incubados en frascos sellados de vidrio (1 L) con agua de mar filtrada (1 µm). Estos fueron mantenidos a 15°C por 60 min. Los cambios en la concentración de O_2 fueron medidos usando un sensor conectado a un medidor de O2 (HI-2004 Edge® Dissolved Oxygen Meter, Hanna instruments, EEUU). Un frasco adicional con agua de mar filtrada sin bivalvos fue usado como blanco.

El rendimiento relativo para la macroalga (RRM) y bivalvo (RRB) fue calculado usando el peso fresco de cada especie, al día 30 (experimento 1) y 34 (experimento 2), en la proporción inicial de co-cultivo correspondiente, con las siguientes ecuaciones (De Wit 1960; Leal et al. 2020):

$$RRMP = \frac{W_{MB}}{W_M} \quad or \quad RRMC = \frac{W_{BM}}{W_B}$$

Donde W_{MB} es el peso fresco final (g) de la macroalga en co-cultivo con el bivalvo, W_M es el peso fresco final de la macroalga en mono-cultivos, mientras W_{BM} es el peso fresco final del bivalvo en co-cultivo con la macroalga y W_{MC} es el peso fresco final del bivalvo en mono-cultivos.
El rendimiento relativo total (RRT) fue calculado usando la ecuación RRT = RRM + RRB (De Wit 1960; Leal et al. 2020), para cada experimento. Valores de RRT = 1,0 implican competencia entre especies por el mismo recurso limitante, RRT > 1,0 indica sinergia entre especies, y RRT < 1,0 indica mutuo antagonismo entre las especies (Bi & Turvey 1994).
Cuando los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad (prueba de Kolgomorov-Smirnow) y homocedasticidad de varianzas (prueba de Levene) para ANOVA, fueron transportados a rangos (Potvin & Roff 1993): tasa de crecimiento de C. chamissoi, rendimiento relativo y concentración de nitrato, para el experimento 1, y Fv/Fm, respiración de *C. gigas* y rendimiento relativo, para el experimento 2. Las diferencias estadísticas en tasa de crecimiento, Fv/Fm, tasa de respiración y concentración de nitratos fueron evaluadas a través de ANOVA de una vía, mientras que los resultados del análisis de rendimiento relativo, usando ANOVA de dos vías. Análisis estadísticos entre especies no fueron realizados debido a que sus parámetros fisiológicos no son comparables (Leal et al. 2020).

5.8.2. Experimento 1. Co-cultivo *C. chamissoi-C. gigas*

Luego de 34 días, la tasa de crecimiento varió entre 1,40 y 2,50 % día^{-1}, y 0,50 y 0,70 % día^{-1} para *C. chamissoi* y *C. gigas*, respectivamente (**Figura 155**), pero no se observaron diferencias significativas entre proporciones de co-cultivo en ambas especies (**Tabla 44**). Los valores de Fv/Fm en *C. chamissoi* variaron entre 0,580 y 0,720 (**Figura 156**), observándose el valor de Fv/Fm significativamente menor el día 0 (**Tabla 44**). La tasa de respiración *de C. gigas* varió entre 1,10 y 1,60 % O_2 g^{-1} h^{-1} (**Figura 157**), pero no se observaron diferencias significativas entre proporciones de co-cultivo (**Tabla 44**).
Luego de 34 días, RRCC varioó entre 0 y 0,86, mientras RRCG varió entre 0 y 0,66 (**Figura 4**), pero no se observaron diferencias significativas entre RRCC y RRCG (**Tabla 44**). El RRT varió entre 1,0 y 1,22 (**Figura 158**) con diferencias significativas entre proporciones (**Tabla 44**). Se observaron valores de RRT > 1,0 en las proporciones 2:1, 1:1 y 1:2, indicando una relación sinérgica entre las especies co-cultivadas.
Luego de 34 días, la concentración acumulada de nitrato en el agua de mar de cada tratamiento de co-cultivo varió entre 61 y 95 µg L^{-1} (**Figura 159**), pero no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos (**Tabla 44**).

5.8.3. Experimento 2. Co-cultivo *S. skottsbergii-C. gigas*

Luego de 30 días, la tasa de crecimiento varió entre 0,80 y 3,00 % día^{-1}, y 0,15 y 0,34 % día^{-1} para *S. skottsbergii* y *C. gigas*, respectivamente (**Figura 160**), con diferencias significativas entre proporciones (**Tabla 45**). La tasa de crecimiento para ambas especies fue mayor en los co-cultivos en comparación a los mono-cultivos (**Figura 160**). Los valores de Fv/Fm en *S. skottsbergii* variaron entre 0,531 y 0,574 (**Figura 161**), pero no se observaron diferencias significativas entre proporciones de co-cultivo (**Tabla 45**). La tasa de respiración *de C. gigas* varió entre 0,13 y 036 % O_2 g^{-1} h^{-1} (**Figura 162**), pero no se observaron diferencias significativas entre proporciones de co-cultivo (**Tabla 45**).
Luego de 30 días, RRSK varió entre 0 y 0,90, mientras RRCG varió entre 0 y 0,98 (**Figura 163**), pero no se observaron diferencias significativas entre RRCC y RRCG (**Tabla 45**). El RRT varió entre 1,0 y 1,66 (**Figura 163**) con diferencias significativas entre proporciones (**Tabla 45**). Se observaron valores de RRT > 1,0 en las proporciones 2:1, 1:1 y 1:2, indicando una relación sinérgica entre las especies co-cultivadas.

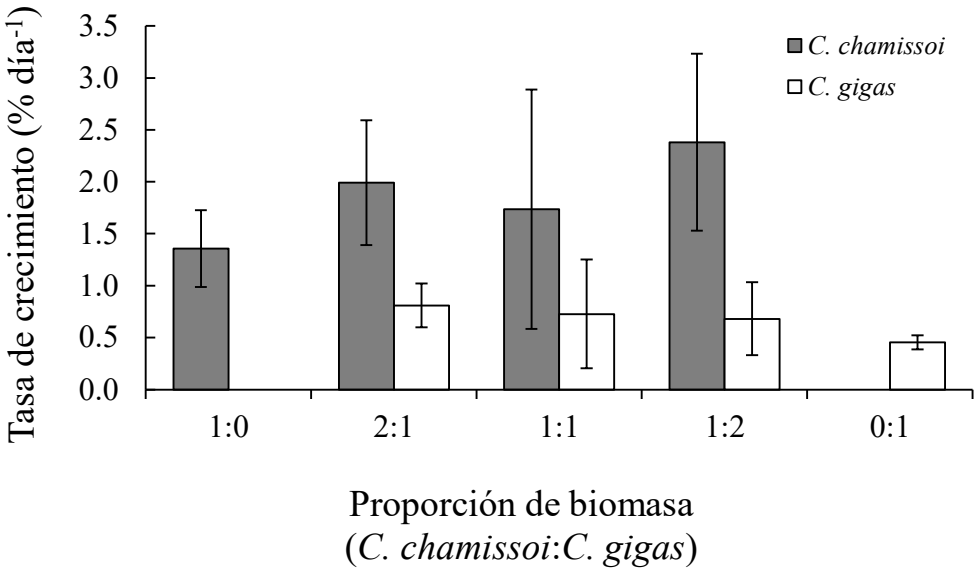


Figura 155. Tasa de crecimiento de *C. chamissoi* y *C. gigas* después de 34 días de co-cultivo en cinco proporciones iniciales de biomasa. Barras representan promedio ± DE (N = 4).

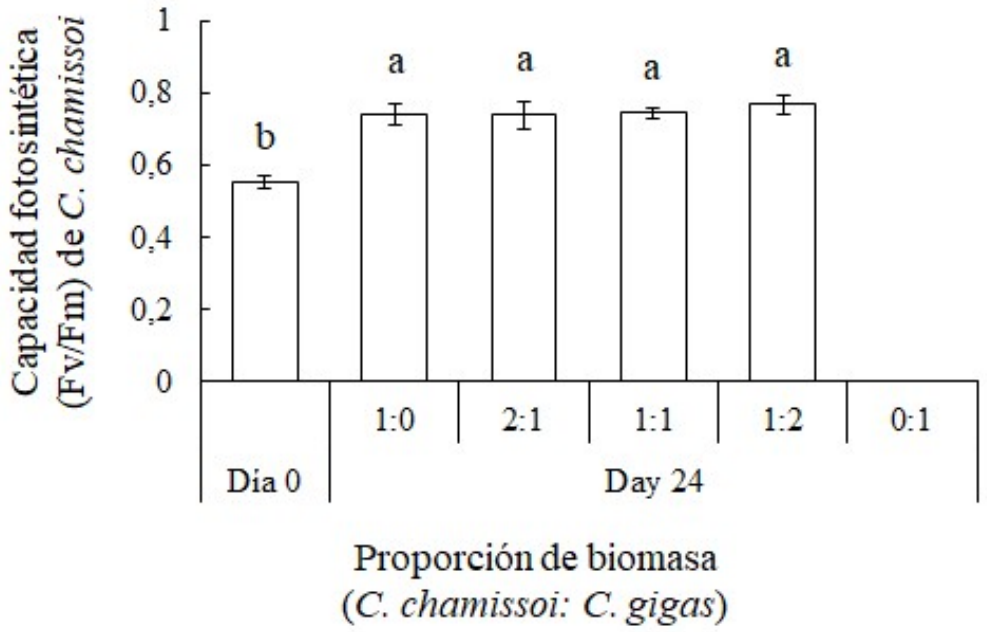


Figura 156. Capacidad fotosintética de *C. chamissoi* al día 0 y 34 en co-cultivos a cinco diferentes proporciones iniciales de biomasa. Barras representan promedio ± DE (N = 4).

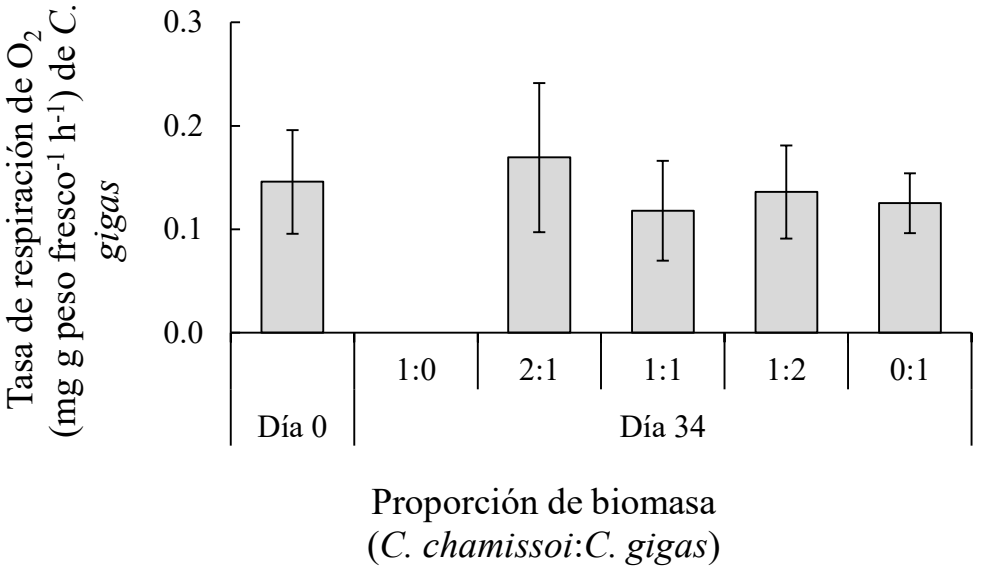


Figura 157. Tasa de respiración de *C. gigas* al día 0 y 34 en co-cultivos a cinco diferentes proporciones iniciales de biomasa. Barras representan promedio ± DE (N = 4).

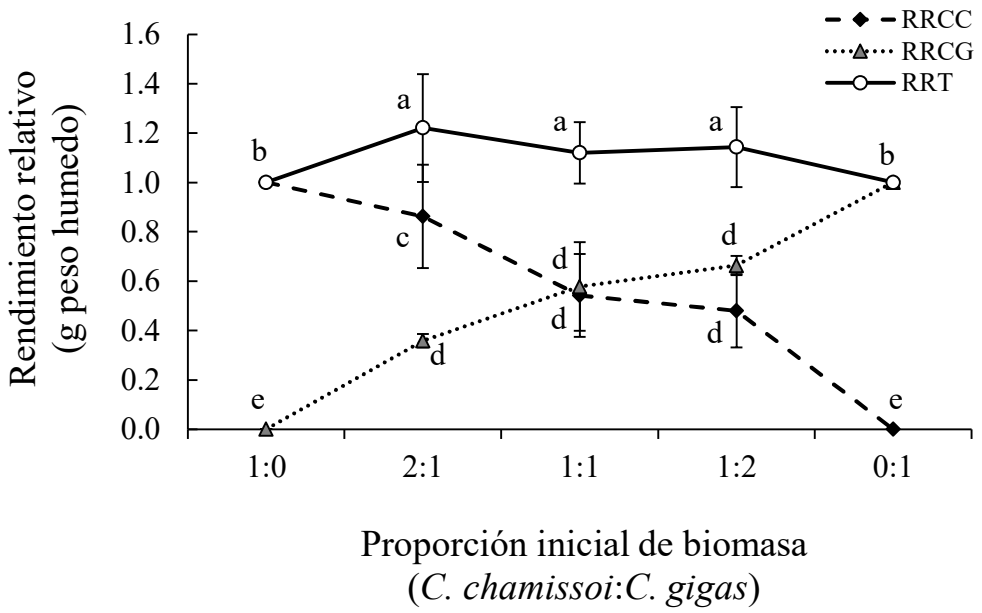


Figura 158. Rendimiento relativo de *C. chamissoi* y *C. gigas* después de 34 días de co-cultivo en cinco proporciones iniciales de biomasa. RRCC, rendimiento relativo de *C. chamissoi*; RRCG, rendimiento relativo de *C. gigas*; y RRT, rendimiento relativo total. Puntos representan promedio ± DE (N = 4). Subgrupos estadísticamente diferentes son agrupados por letras minúsculas como a > b > c > d > e (Tukey, P < 0.05).

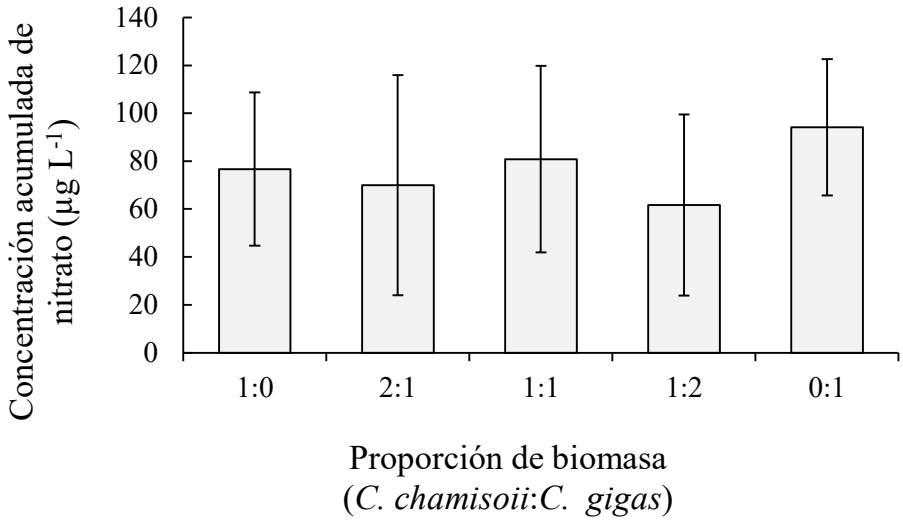


Figura 159. Concentración de nitrato en agua de mar en el tratamiento de proporción inicial de biomasa correspondiente. Barras representan promedio ± DE (N = 4).

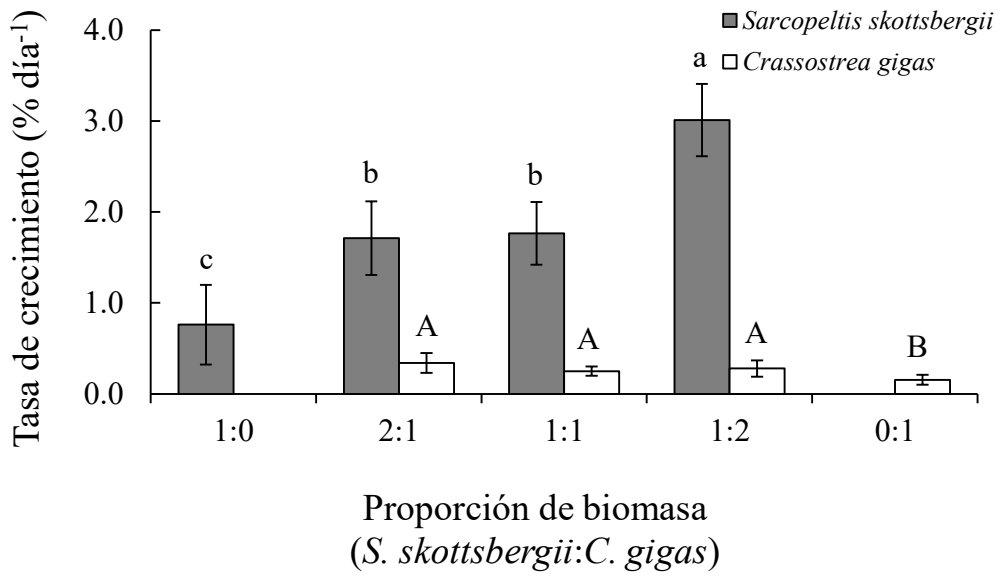


Figura 160. Tasa de crecimiento de *S. skottsbergii* y *C. gigas* después de 30 días de co-cultivo en cinco proporciones iniciales de biomasa. Barras representan promedio ± DE (N = 4). Subgrupos estadísticamente diferentes son agrupados por letras minúsculas (a > b > c) y con letras mayúsculas (A > B) para *S. skottsbergii* y *C. gigas*, respectivamente (Tukey, P < 0.05).

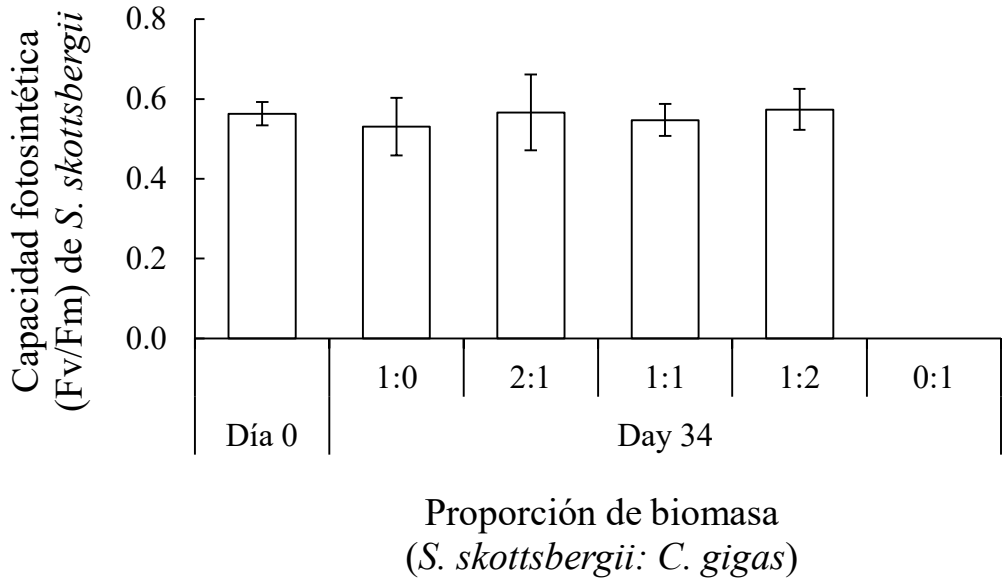


Figura 161. Capacidad fotosintética de *S. skottsbergiii* al día 0 y 30 en co-cultivos a cinco diferentes proporciones iniciales de biomasa. Barras representan promedio ± DE (N = 4).

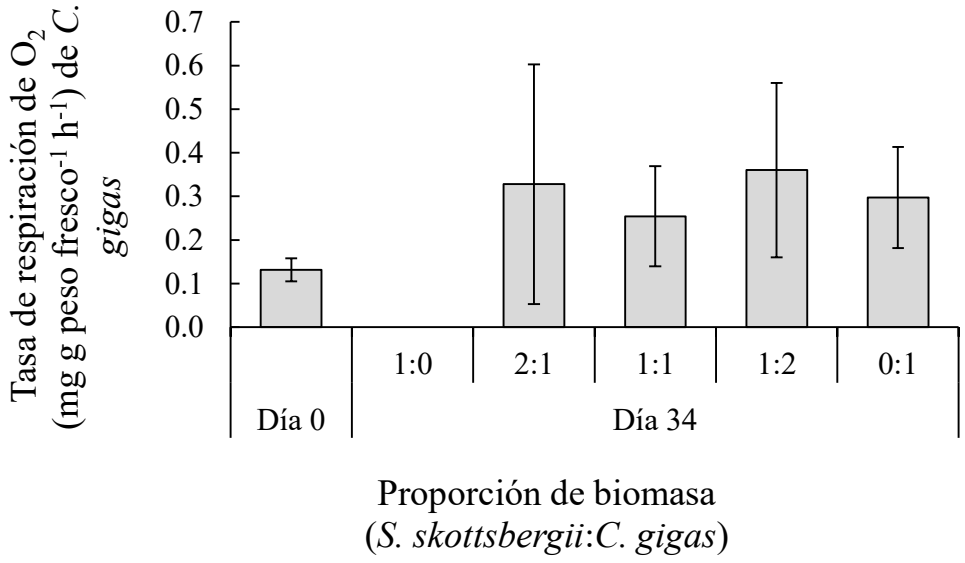


Figura 162. Tasa de respiración de *C. gigas* al día 0 y 30 en co-cultivos a cinco diferentes proporciones iniciales de biomasa. Barras representan promedio ± DE (N = 4).

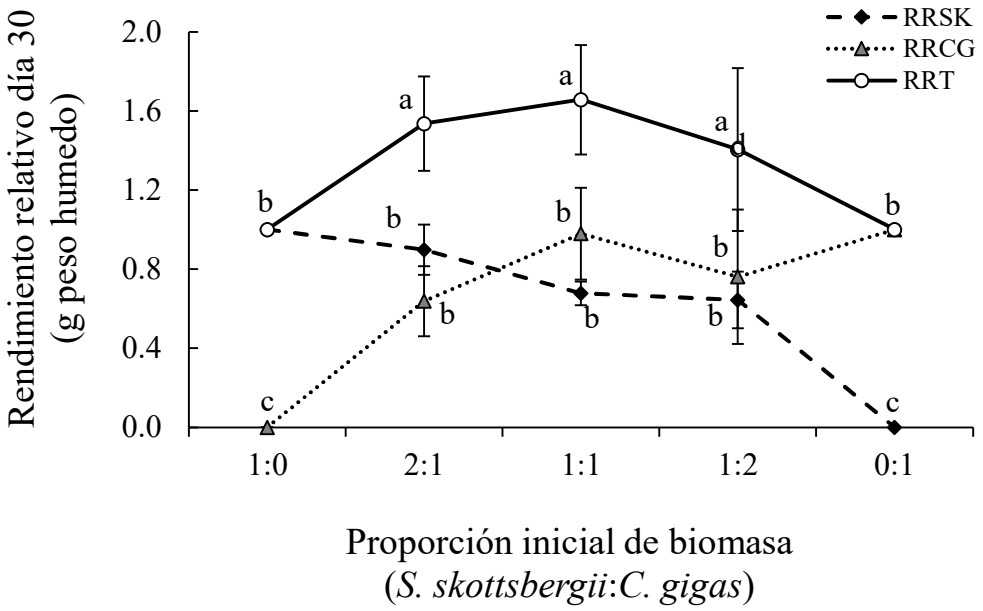


Figura 163. Rendimiento relativo de *S. skottsbergii* y *C. gigas* después de 30 días de co-cultivo en cinco proporciones iniciales de biomasa. RRSK, rendimiento relativo de *S. skottsbergii*; RRCG, rendimiento relativo de *C. gigas*; y RRT, rendimiento relativo total. Puntos representan promedio ± DE (N = 4). Subgrupos estadísticamente diferentes son agrupados por letras minúsculas como a > b > c (Tukey, P < 0.05).

Tabla 43.

Biomasa inicial y final de las macroalgas y bivalvos en los dos experimentos de co-cultivo realizados. Los datos corresponden al promedio ± DE (N = 4).

		Biomasa real co-cultivada (g)					
		Inicial			Final		
Experimento	Proporción de co-cultivo	Macroalga	Bivalvo	Biomasa total en 3 L	Macroalga	Bivalvo	Biomasa total en 3 L
1)	1:0	15.14 ± 0.17	–	15.14	24.08 ± 2.99	–	24.08
C. chamissoi:*C. gigas*	2:1	10.33 ± 0.24	4.90 ± 0.39	15.23	16.35 ± 4.85	6.43 ± 0.39	22.78
	1:1	6.97 ± 0.47	7.44 ± 0.09	14.42	13.01 ± 5.09	10.39 ± 3.25	23.41
	1:2	4.98 ± 0.09	9.48 ± 0.86	14.46	10.45 ± 3.58	11.91 ± 0.51	22.35
	0:1	–	15.41 ± 0.12	15.41	–	17.97 ± 0.52	17.97
2)	1:0	20.09 ± 0.09	–	20.09	25.37 ± 1.81	–	25.37
S. skottsbergii:*C. gigas*	2:1	13.52 ± 0.02	1.64 ± 0.01	15.15	22.59 ± 2.80	1.81 ± 0.07	24.40
	1:1	10.08 ± 0.06	2.60 ± 0.04	12.68	17.11 ± 2.12	2.80 ± 0.07	19.91
	1:2	6.54 ± 0.03	1.95 ± 0.38	8.48	15.99 ± 3.01	2.12 ± 0.48	18.11
	0:1	–	2.87 ± 0.81	2.87	–	3.01 ± 0.86	3.01

Tabla 44.

Resultados de significancia de ANOVA para los efectos de co-cultivo sobre distintas variables fisiológicas de *C. chamissoi* y *C. gigas* (Experimento 1).

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	*F*	*P*
Tasa de crecimiento de *C. chamissoi*	Proporción de co-cultivo	4	406.500	101.625	6.013	0.004
	Residual	15	253.500	16.900		
	Total	19	660.000			
Tasa de crecimiento de *C. gigas*	Proporción de co-cultivo	4	382.000	95.500	5.153	0.008
	Residual	15	278.000	18.533		
	Total	19	660.000			
Fv/Fm de *C. chamissoi*	Proporción de co-cultivo	4	0.123	0.0306	42.087	< 0.001
	Residual	15	0.0109	0.000728		
	Total	19	0.133			
Tasa de respiración de *C. gigas*	Proporción de co-cultivo	4	0.00647	0.00162	0.627	0.650
	Residual	15	0.0387	0.00258		
	Total	19	0.0451			
Rendimiento relativo en co-cultivo	Rendimiento relativo	2	8630.800	4315.400	107.141	< 0.001
	Proporción de co-cultivo	4	214.167	53.542	1.329	0.274
	Rendimiento relativo x Proporción de co-cultivo	8	6955.533	869.442	21.586	< 0.001
	Residual	45	1812.500	40.278		
	Total	59	17613	298.525		
Concentración de nitrato	Proporción de co-cultivo	4	1405.875	351.469	1.258	0.298
	Residual	55	15364.625	279.357		
	Total	59	16770.500			

Tabla 45.
Resultados de significancia de ANOVA para los efectos de co-cultivo sobre distintas variables fisiológicas de *S. skottsbergii* y *C. gigas* (Experimento 2).

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	*F*	*P*
Tasa de crecimiento de *S. skottsbergii*	Proporción de co-cultivo	4	20.703	5.176	40.983	< 0.001
	Residual	15	1.894	0.126		
	Total	19	22.598			
Tasa de crecimiento de *C. gigas*	Proporción de co-cultivo	4	0.279	0.0698	13.664	< 0.001
	Residual	15	0.0766	0.00511		
	Total	19	0.356			
Fv/Fm de *S. skottsbergii*	Proporción de co-cultivo	4	44.5	11.125	0.269	0.893
	Residual	15	620	41.333		
	Total	19	664.5			
Tasa de respiración de *C. gigas*	Proporción de co-cultivo	4	141.500	35.375	1.014	0.432
	Residual	15	523.500	34.900		
	Total	19	655.000			
Rendimiento relativo en co-cultivo	Rendimiento relativo	2	7716.100	3858.050	57.977	< 0.001
	Proporción de co-cultivo	4	924.667	231.167	3.474	0.015
	Rendimiento relativo x Proporción de co-cultivo	8	5977.733	747.217	11.229	< 0.001
	Residual	45	2994.500	66.544		
	Total	59	17613.000	298.525		

5.9. Determinación del efecto del origen sobre la calidad del alga

5.9.1. Diseño experimental

El objetivo de esta actividad fue determinar el efecto del origen de *C. chamissoi* sobre la respuesta fisiológica (crecimiento, fotosíntesis, carragenanos) a diferentes temperaturas. La hipótesis de investigación fue que estas respuestas serán diferentes entre individuos provenientes de distinto origen.

Los individuos de *C. chamissoi* fueron obtenidos desde dos sitios distintos, Pullihue (41,82° S; 73.98° O) y Quetalmahue (41,82° S; 73.95° O) durante marea baja en abril de 2021. Muestras de cada sitio fueron transportadas al laboratorio dentro de una caja refrigerada por no más de una hora. Las muestras fueron limpiadas usando un pincel y agua de mar filtrada para eliminar epibiontes visibles. Luego, fueron aclimatadas por 4 días bajo condiciones estándar de cultivo (15 °C, 100 µmol fotón m^{-2} s^{-1}, 34 ‰). Luego del periodo de aclimatación, individuos de cada sitio fueron cultivados en agua de mar enriquecida (2 g L^{-1} KNO_3 y 0,2 g L^{-1} NaH_2PO_4) y filtrada (0,2 µm) dentro de frascos de vidrio de 400 mL. Los individuos cultivados fueron expuestos a tres temperaturas (12, 14 y 16° C) dentro de tres cámaras incubadoras idénticas (FOC 215IL, VELP Scientifica srl. Italia). La intensidad de luz se mantuvo a 120 ± 2,1 µmol fotón m^{-2} s^{-1} con un fotoperiodo de 12h:12h. La intensidad de luz fue provista por tubos LED (T8, 18 W, luz blanca, TEJiE Ltd. San Antonio, Chile) y medida usando un sensor cuántico conectado a un medidor (LP471 PAR y foto-radiómetro HD 2302.0, Delta OHM S.r.l., Italia). El medio de cultivo fue renovado cada dos días. El peso inicial promedio de tejido macroalgal utilizado fue de 2,02 ± 0,02 g.

El peso fresco de los individuos de cada tratamiento fue determinado en el día 1, y 18. El exceso de agua en el tejido de cada individuo fue removido con papel absorbente antes de pesar. La tasa de crecimiento fue calculada de acuerdo a Yong et al. (2013).

El rendimiento cuántico máximo (Fv/Fm) del fotosistema II es un indicador de la eficiencia fotosintética máxima en algas (Figueroa et al. 2013), y fue medido usando un fluorómetro de amplitud modulada (Junior-PAM, Walz, Alemania) al día 1, y 30 (experimento 1) y 34 (experimento 2). Las muestras de tejidos de las macroalgas fueron adaptadas a la oscuridad por 15 min. (Schreiber et al. 1995) antes de ser expuestas al Junior-PAM.

Los datos de tasa de crecimiento y Fv/Fm de C. chamissoi de distintos sitios de origen fueron evaluadas a través de ANOVA de dos vías. Los datos utilizados cumplieron con los supuestos de normalidad (prueba de Kolgomorov-Smirnow) y homocedasticidad de varianzas (prueba de Levene) para ANOVA (Potvin and Roff 1993).

5.9.2. Efecto del origen

Luego de 34 días, la tasa de crecimiento vario entre 1,48 y 1,66 % $día^{-1}$, y 1,44 y 1,78 % $día^{-1}$ para *C. chamissoi* desde Pullihue y Quetalmahue, respectivamente (**Figura 164**), pero no se observaron diferencias significativas entre proporciones, ni sitios de origen (**Tabla 46**). Los valores de Fv/Fm variaron entre 0,370 y 0,550, y 0,450 y 0,570 (**Figura 165**) para *C. chamissoi* desde Pullihue y Quetalmahue, respectivamente, observándose el valor de Fv/Fm significativamente menor el día 0

(**Tabla 2**). Se observaron diferencias significativas entre temperaturas (**Tabla 1**), con el menor valor en individuos de Pullihue a 16°C (**Figura 165**).

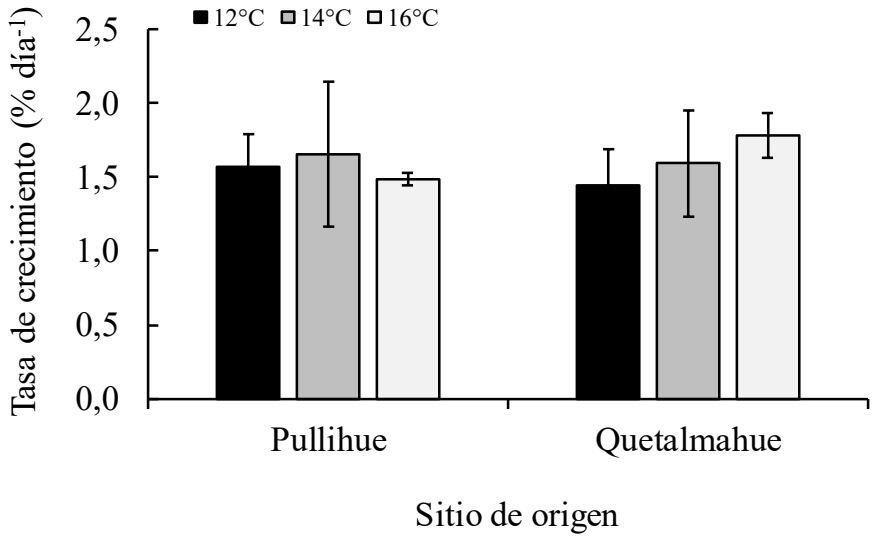


Figura 164. Tasa de crecimiento de *C. chamissoi* proveniente de dos sitios diferentes después de 18 días de cultivo bajo tres temperaturas. Barras representan promedio ± DE (n = 4).

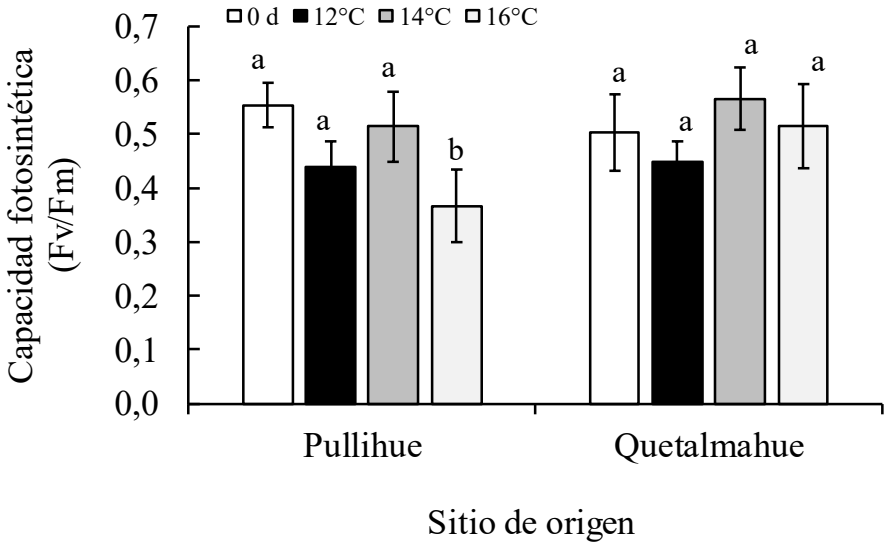


Figura 165. Capacidad fotosintética (Fv/Fm) de *C. chamissoi* proveniente de dos sitios diferentes después de 18 días de cultivo bajo tres temperaturas. También se muestra el valor Fv/Fm del día cero (0 d). Barras representan promedio ± DE (n = 4). Subgrupos estadísticamente diferentes son agrupados por letras minúsculas (a > b; Tukey, $P < 0.05$).

Tabla 46.
Resultados de significancia de ANOVA para los efectos del sitio de origen sobre la tasa de crecimiento y capacidad fotosintética de *C. chamissoi*.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	*F*	*P*
Tasa de crecimiento	Sitio de origen	1	0,00849	0,00849	0,100	0,755
	Temperatura	2	0,0833	0,0417	0,492	0,619
	Sitio de origen x Temperatura	2	0,212	0,106	1,250	0,310
	Residual	18	1,524	0,0847		
	Total	23	1,828	0,0795		
Capacidad fotosintética (Fv/Fm)	Sitio de origen	1	0,0123	0,0123	3,435	0,076
	Temperatura	3	0,0674	0,0225	6,291	0,003
	Sitio de origen x Temperatura	3	0,0419	0,0140	3,912	0,021
	Residual	24	0,0857	0,00357		
	Total	31	0,207	0,00668		

Objetivo específico 5: *Evaluar interacciones ambientales de acuicultura de algas e invertebrados.*

5.10. Desarrollo de un protocolo de buenas prácticas de producción de algas en hatchery

A continuación, se presenta una propuesta de "Protocolo de buenas prácticas en la producción de macroalgas en hatchery. Lineamientos para su avance y fortalecimiento".
Este protocolo está orientado a quienes quieran conocer sobre los lineamientos generales de buenas prácticas en la producción de macroalgas en Hatchery. La aplicación de buenas prácticas implica una transformación en el sistema de producción conocido hasta ahora, orientándolo hacia una actividad integral donde se combinan las variables productivas con las medioambientales y de bioseguridad para un crecimiento sostenible. El desarrollo de este protocolo es parte de las recomendaciones emanadas de la propuesta del plan de acción para el desarrollo de un enfoque responsable en la acuicultura, repoblación y manejo de macroalgas, considerando el acceso y conservación de los recursos genéticos en Chile, documento que se elaboró en la Etapa 3 del Programa.

5.10.1. Introducción

A nivel mundial, la producción que proviene de la acuicultura es de aproximadamente 178,5 millones de toneladas. Esta producción deberá duplicarse, para el año 2050, como una forma de satisfacer la demanda de proteínas (FAO, 2020). La acuicultura de macroalgas contribuye sustancialmente a esta biomasa total; en la última década ha existido un crecimiento de casi un 8% (FAO, 2018).
La producción mundial de macroalgas provenientes de la acuicultura, durante el año 2018, fue de 32,3 millones de toneladas. Está dominada principalmente por dos países asiáticos; China (57,1 %) e Indonesia (28,7 %) (FAO, 2020). Y la mayor producción por las especies *Laminaria japonica* y *Eucheuma* spp. Existen pocos datos sobre el cultivo de macroalgas a pequeña escala, comunicados por un reducido número de países productores de Europa y América del Norte. Sin embargo, el cultivo de macroalgas está recibiendo cada vez mayor atención principalmente por sus usos y aplicaciones; como alimento, nutraceúticos, farmacéuticos, cosméticos, fertilizantes y por sus propiedades antioxidantes (García-Casal *et al.,* 2009) y antitumorales (Kuda *et al*., 2005; Rajan *et al.*, 2013). Además de los beneficios económicos indirectos que otorga a través de la prestación de servicios ecosistémicos tales como la absorción de nutrientes y metales pesados, asistencia a otras especies marinas otorgando lugares de refugio y crianza, como secuestrador de CO2 y en la oxigenación del agua (Sondak *et al.,* 2017; Hasselstrom *et al.,* 2018; Froehlich *et al.,* 2019).
La acuicultura de macroalgas debe promoverse y supervisarse para lograr un desarrollo de la bioeconomía, respetuoso con el clima y el medio ambiente (FAO, 2020).
En este escenario, el Estado de Chile ha fomentado el cultivo y repoblación, como una alternativa productiva y de diversificación de la acuicultura tradicional (i.e., salmonicultura, mitilicultura) (Camus *et al.,* 2019, Henríquez-Antipa & Cárcamo 2019), y como estrategia de recuperación y aumento de la productividad de poblaciones naturales, respectivamente. Una de las formas de fomentar estas actividades ha sido a través de un subsidio, amparado en la Ley 20.925 que crea una Bonificación

para el Repoblamiento y Cultivo de Macroalgas, como una manera de garantizar la producción sustentable de biomasa de diversas especies, a través de incentivos monetarios, para pescadores artesanales y cultivadores a pequeña escala. Mas recientemente se creó el Instituto Nacional de Desarrollo Sustentable de la Pesca Artesanal y de la Acuicultura de Pequeña Escala (INDESPA) que beneficia la capacidad productiva y comercial del sector artesanal y por primera vez de los acuicultores de pequeña escala.

En Chile, existen al menos 14 especies de macroalgas nativas que presentan algún grado de avance en tecnologías para su cultivo (esto incluye etapas de laboratorio, hatchery y/o sistemas de cultivos piloto en mar), destacando los avances con huiros (*L. trabeculata* y *M. pyrifera)*, lugas (*S. crispata* y *G. skottsbergii)*, y chicorea de mar (*Chondracanthus chamissoi)*. Dichos avances permitirían, en la actualidad, implementar cultivos pilotos y comerciales para evaluar su desempeño productivo y económico. Sin embargo, aún permanecen grandes desafíos para consolidar la acuicultura de macroalgas en Chile como, por ejemplo, maximizar la productividad de los cultivos, asegurar una productividad estandarizada en términos de temporalidad de cosechas y calidad, y el desarrollo de tecnologías y/o productos que aporten valor agregado a la biomasa cosechada.

Otro de los grandes desafíos, si pensamos en desarrollar la acuicultura de macroalgas en Chile, es la producción de "semillas" en hatchery, para ofrecer un abastecimiento continuo de propágulos tanto para el cultivo como para el repoblamiento. En este sentido, cobra relevancia identificar y caracterizar los principales lineamientos para desarrollar buenas prácticas en la producción de macroalgas en hatchery considerando, por ejemplo, el resguardo y manejo de los recursos genéticos para el desarrollo sostenible de estas actividades.

Dado este contexto, donde la acuicultura de macroalgas se vislumbra como una actividad emergente y de alto impacto social y económico (Neish *et al*., 2017; Marino *et al.,* 2019), el presente documento presenta los principales lineamientos para el avance y fortalecimiento de la producción de macroalgas en hatchery, bajo dos enfoques: el de la acuicultura de pequeña escala, teniendo en consideración el aumento de la productividad y el del repoblamiento en sistemas AMERB, como medida de conservación, biodiversidad y acceso a recursos genéticos macroalgales.

Este documento reúne información bibliográfica (nacional e internacional) y los resultados de una encuesta realizada a 7 expertos (académicos, investigadores, productores) relacionados al cultivo y repoblamiento de macroalgas en Chile.

5.10.2. Objetivo

Desarrollar una propuesta de protocolo de buenas prácticas orientada a la producción de macroalgas en hatchery, bajo un enfoque de manejo responsable de los recursos genéticos, para el desarrollo sostenible de las actividades de cultivo y repoblación de macroalgas.

5.10.3. Buenas prácticas en la producción de macroalgas en hatchery

Las buenas prácticas en la producción de macroalgas en hatchery son todas las acciones involucradas en la producción de semillas o propágulos y su posterior traslado al mar; las buenas prácticas se

encuentran orientadas a asegurar tanto la producción para el cultivo y repoblamiento de macroalgas como a la protección del medio ambiente y de la bioseguridad de los recursos hidrobiológicos.
El cultivo de macroalgas de pequeña escala en Chile se ha desarrollado principalmente mediante propagación o crecimiento vegetativo (e.g. chicorea de mar, luga negra y pelillo) y mediante cultivo a través de esporas (e.g. huiro, pelillo, luga negra, luga roja y luche). En ambos métodos de cultivo, es necesario la utilización de hatcheries, que son instalaciones terrestres destinadas a habilitar y desarrollar las unidades de incubación para la producción de semillas. Es esencial un método estandarizado de producción de propágulos (Alsuwaiyan *et al*., 2019) para mejorar el control de calidad, salud y la previsibilidad de la biomasa cultivada.

5.10.4. Implementacion de un hatchery

Un hatchery es una instalación ubicada generalmente en tierra, destinada a la producción y mantención de semillas para su posterior traslado al mar. El hatchery es un sistema con condiciones (e.g., agua, luz, temperatura) controladas o semi-controladas que actúa como criadero de recursos hidrobiológicos para su cultivo y/o repoblamiento.
A continuación, se describen las consideraciones necesarias para la implementación de un hatchery para la producción de propágulos descritas por Mooney-McAuley *et al*., 2016 en un análisis realizado en Europa. La configuración general de un hatchery básico para la producción de semillas de macroalgas debería incluir:

- Agua de mar filtrada
- Suministro de aire
- Unidad enfriadora
- Esterilización de agua (luz UV)
- Iluminación
- Estanques
- Bastidores
- Microscopios-Lupas
- Cámaras de cultivo
- Medios de cultivo (nutrientes)
- Refrigerador-freezer
- Material de vidrio y plástico (matraces, vasos precipitados, pipetas, portaobjetos, cubreobjetos, placas petri)
- Otros materiales (guantes, algodón, cinta autoclave, detergente laboratorio sin fosfatos, cepillos para botellas, paños de limpieza, rollos de papel, Parafilm, papel aluminio, bisturí, hojas de bisturí, tijeras).
- Etanol para esterilizar y limpiar lugar de trabajo.

La superficie de un hatchery es variable y dependerá de la producción que se requiera. Pueden ser pequeños (30 m^2) o más grandes (100 m^2); la importancia radica en que cuente con la configuración básica para su óptimo funcionamiento. Por lo general, está diseñado como un cuarto húmedo con desagüe en el centro del piso para permitir una fácil limpieza al llenar y vaciar los estanques. El desagüe debe ser dirigido al drenaje central para su eliminación al efluente. El hatchery debe estar equipado con un sistema de agua de mar filtrada y esterilizada, suministro de aire, iluminación, unidad enfriadora, estanques para el cultivo, mesón de trabajo para la preparación del material reproductivo y un sector seco donde puedan ubicarse las cámaras de cultivo y sistemas de microscopía que son necesarios tanto en la obtención de semillas mediante esporas como también durante el control del crecimiento de éstas (**Figura 166**).

Figura 166. Hatchery básico de macroalgas, trabajo de microscopia, sistema de filtración para tratamiento de agua e iluminación de estanques.

El sistema de filtración puede ser de cartucho con filtros de 10 µm, 2 µm, 1 µm, 0.22 µm y lámpara UV. El suministro de aire debe estar conectado a cada estanque, los cuales se deben iluminar con tubos fluorescentes (58W) o bien tubos LED (25W), con luz blanca y fría bajo un fotoperiodo determinado (ciclo luz: oscuridad), dependiendo la especie que se cultive; para lo cual se instalan temporalizadores con carcasa a prueba de agua. La luz puede ser ubicada sobre el espacio de los estanques y pueden ser ajustadas hacia arriba y hacia abajo en cadenas para permitir un buen control de la iluminación de los estanques durante los periodos claves del cultivo. La temperatura del agua debe poder reducirse cuando sea necesario, para lo cual se utilizan unidades enfriadoras las cuales pueden mantener la temperatura ambiente entre 9-10 °C durante todo el año, lo que garantiza que la temperatura del agua del estanque sea constante de 10-12°C, temperatura óptima para cultivos en hatchery en la zona sur del país.

Para minimizar los costos operativos durante la fase de incubación, el consumo de energía es clave (Taelman *et al*., 2015), por lo tanto, la elección de los equipos es muy importante.

El hatchery debe contar también con suministro de agua dulce, fría y caliente para permitir la limpieza tanto del material de vidrio, mesones y estanques al finalizar el cultivo. También es importante contar con armarios de almacenamiento para todo el material (vidrio, plástico y otros) que se utilizará durante el cultivo.

Para un óptimo funcionamiento es importante mantener un entorno estable; la calidad del agua que se ocupa en el hatchery, la mantención de los sistemas de filtración y esterilización, temperatura, suministro de aire, iluminación en buen estado, así como también el orden y limpieza en todo el proceso de incubación (producción de semillas) y crecimiento de propágulos; para esto es preponderante mantener completamente configurado y bien abastecido el hatchery antes de comenzar con el cultivo. El método de cultivo (crecimiento vegetativo/esporulación) que se utilice, influirá en la cantidad de preparación requerida. Es una buena práctica elaborar una lista de actividades diarias, semanales y mensuales para garantizar que se realicen todas las actividades propuestas y registren todos los controles (**Figura 167**).

Si se consideran las respuestas del cuestionario aplicado a un grupo de expertos, el 71,4% de éstos coinciden en que el requerimiento básico y clave para la implementación y desarrollo de un hatchery es contar con la infraestructura básica y una buena calidad de agua. Se mencionan además como cuellos de botella el costo de instalación y mantención de esta infraestructura, la certificación por parte de SERNAPESCA con el fin de obtener los permisos para su funcionamiento, además de la demanda y el mercado como factores preponderantes para permitir el desarrollo comercial de las especies que se cultivan (**Tabla 47**).

Según las especies que se dispongan y los métodos elegidos para producir semillas en hatchery es el tiempo que tomará el desarrollo de cada fase del cultivo. Sin embargo, es posible determinar una línea de tiempo general con las principales actividades del cultivo de macroalgas, destacando el trabajo en hatchery (**Tabla 48**).

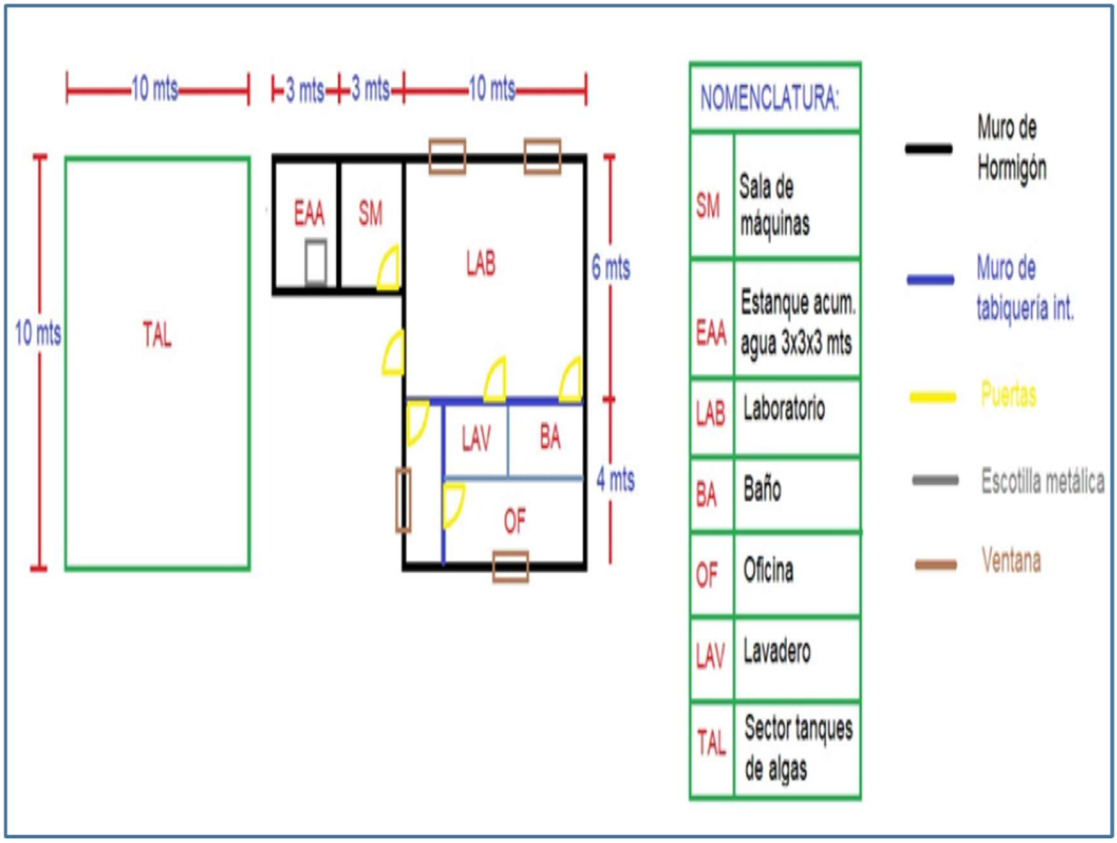


Figura 167. Diagrama de un hatchery propuesto para el cultivo masivo de macroalgas.

Se reconocen dos etapas principales de trabajo en hatchery: la producción o incubación para la producción de semillas y el crecimiento de éstas para el cultivo y/o repoblamiento.

5.10.5. Producción de semillas de macroalgas en hatchery

Selección de especies y obtención de semillas

Selección de especies

En general, existen dos métodos de propagación de las macroalgas para realizar cultivo y/o repoblación; la primera, en base a crecimiento vegetativo donde se utilizan talos o manojos de algas llamados “semillas” por los pescadores artesanales y pequeños acuicultores, y la segunda, mediante esporas que se fijan y crecen sobre un sustrato; por lo general, cuerdas de polipropileno de 2 mm de diámetro dispuestas en un armazón de PVC llamado bastidor.

Tabla 47.
Resumen de respuestas de cuestionario aplicado a expertos (NA: no aplica; NR: no responde).

	IDENTIFICACION ENCUESTADO	Productor	Productor	Investigador	Productor	Investigador	Investigador	Investigadora
	REGION	Los Lagos	Atacama	Metropolitana	Los Lagos	Los Lagos	Antofagasta	Los Ríos
	FUNCIONAMIENTO HATCHERY (AÑOS)	35	8	NR	3	NR	2	15
CONDICIONES BASALES PRODUCCION	Requerimientos básicos y claves para *el diseño, implementación y operación* de un hatchery /cuello botella	Uso objetivo de semilla/Mercado	Infraestructura, calidad de agua/Financiamiento y mantención hatchery	Infraestructura, calidad de agua/Financiamiento y mantención hatchery	Calidad del agua/rendimientos de producción y demanda	Infraestructura	Recursos y certificación	Conocer diversidad genética disponible
METODOS Y TECNICAS DE PRODUCCION EN HATCHERY	*Obtención de material reproductivo* para cultivos en hatchery	Al inicio praderas naturales, luego plantel de reproductores	Praderas naturales	Praderas naturales al inicio, luego mantención gametofitos (algas pardas) y DFS	Praderas naturales de diferente localidad	Dependerá de distribución y abundancia de la especie	Praderas naturales	NA
	Cuál(es) *método(s) y técnica(s) de producción* usted recomendaría y por qué	Depende de la especia objetivo, valor, uso, disponibilidad del recurso.	Vegetativa y esporas, depende el alga que se cultive	Vegetativa	Vegetativa y esporas	Depende del nivel de escalamiento del cultivo	Esporas	Vegetativo y esporas
	¿Protocolo de cultivo para hatchery? ¿Cuáles son *las condiciones que usted suministra a sus cultivos de macroalga*	Usa protocolo de acuerdo a especie que cultiva	Usa protocolo de acuerdo a especie que cultiva	Usa protocolo de acuerdo a especie que cultiva	No usa protocolo	Usa protocolo de acuerdo a especie que cultiva	Usa protocolo de acuerdo a especie que cultiva	No usa protocolo
	Problemas que usted enfrenta en la producción de macroalgas en hatchery	Con protocolo, no mayores problemas	Con protocolo, no mayores problemas	Epifitas, endófitas, bacterias	diatomeas	Bacterias, hongos y otras algas	Temperatura en meses de verano	Epifitas
RESGUARDO PATRIMONIO GENETICO Y SANITARIO	*Aspectos sanitarios y de bioseguridad* básicos y claves a considerar/incorporar en el funcionamiento de un hatchery	Evitar agentes biológicos y/o químicos	Estrictos protocolos de producción	No transportar propágulos de una región a otra	No transportar propágulos de una región a otra	No transportar propágulos de una región a otra	No transportar propágulos de una región a otra	Estrictos protocolos de producción

	Cuáles considera usted son los *aspectos de manejo de recursos genéticos algales* básicos y claves a considerar/incorporar en el funcionamiento de un hatchery	Evitar el manejo genético	Caracterizar genéticamente las poblaciones naturales	Caracterizar genéticamente las poblaciones naturales	Caracterizar genéticamente las poblaciones naturales	Caracterizar genéticamente las poblaciones naturales	Mantener el pool genético de la zona a cultivar y/o repoblar	NA
	Qué *medidas voluntarias (buenas prácticas) y normativas* estima se podrían aplicar a hatchery	Incorporar normativas que protejan el patrimonio genético	Bancos de germoplasma	Registro fiscalizable sobre origen de propágulos	Declaración de origen de plantas reproductivas	NR	Evitar introducir especies de otras zonas	NA
PROYECCION DE LA PRODUCCION NACIONAL DE MACROALGAS EN HATCHERY	Considera usted necesario aumentar la producción de semillas de macroalgas en hatchery y/o implementar nuevos centros productores (hatchery)? Si su respuesta es sí, indicar ¿por qué? ¿Cuáles criterios se deberían aplicar para su ubicación, diseño, financiamiento, implementación y funcionamiento?	Crear Fito hatcheries estatales que entreguen propágulos a centros de cultivo y AMERB	Fito hatcheries que produzcan propágulos y manejados por pequeños acuicultores como cooperativas	La semilla debe ser producida mediante esporas, esto dependerá de la demanda del recurso que se cultive. Deben existir Fito hatcheries que combinen producción e investigación (modelo japonés) y deben depender del Estado.	Dependerá de la demanda y de los rendimientos en la producción.	Si no hay demanda de algas y no se hacen esfuerzos en valorizar la biomasa ningún esfuerzo va a permitir un desarrollo comercial.	Promover las acciones de cultivo y repoblamiento. Uso de hatcheries.	El aumento de producción debe ser sostenida por cepas juveniles producidas en hatchery. Hatchery regionales usando recursos mixtos (gobierno, localidad, región, empresas).
	¿Considera usted necesario la creación de un banco de germoplasma macroalgas que asista la producción en hatchery y laboratorio? ¿Cuáles criterios se deberían aplicar para su ubicación, diseño, financiamiento, implementación y funcionamiento?	Es función del estado la mantención y resguardo del patrimonio genético de las algas. Deberían existir tres bancos en Chile (norte, centro y sur)	Bancos regionales o divididos en macrozonas	Es esencial y base para un programa de producción de semillas	Es importante, pero primero identificación genética de praderas naturales	Es importante, pero de alto costo. No puede ser abordado por una sola institución.	Bancos por macrozonas (norte, centro y sur)	Dos bancos a nivel país, uno respaldo del otro

Tabla 48.

Línea de tiempo general con las principales actividades del cultivo de macroalgas, destaca en color naranjo el trabajo en hatchery; en azul las actividades de terreno y en verde actividades de mantenimiento de estructuras dispuestas en el mar.

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Colecta material reproductivo											
Trabajo en hatchery											
				Siembra en mar							
							Cultivo (crecimiento en mar)				
Cosecha											Cosecha
	Preparación de líneas para próxima temporada de cultivo										

Las semillas provenientes a partir de esporas son las mejores para ir renovando el material genético y mejorando la producción (Ávila *et al.,* 2019; Charrier *et al.,* 2017).
La adecuada selección y origen de la semilla permitirá asegurar un cultivo viable, con vigor, resistente a plagas y que puede garantizar un buen desarrollo y buena productividad (Ávila *et al*., 2019; Marino *et al.,* 2019). Además, la adecuada selección permite establecer cultivos de stock de variedades de especies y cepas (Camus *et al.,* 2018; Valero *et al.,* 2017). La selección de cepas permite optimizar el crecimiento, la composición bioquímica o el sabor (Mooney-McAuley *et al*., 2016; Chapman *et al*., 2015).
Una adecuada selección depende principalmente de dos factores claves para el cultivo de macroalgas: el primero, la identificación de las especies que se encuentran naturalmente en el área que se pretende cultivar y la segunda, qué se piensa hacer con la biomasa, es decir, qué producto final se requiere.
En Europa, en general, se desconocen los impactos del cultivo de macroalgas a gran escala sobre las poblaciones naturales (e.g. genética, transferencia de enfermedades y transporte de especies no autóctonas) por lo que se adopta un enfoque precautorio; solamente se pueden cultivar cepas locales de una especie (Mooney-McAuley *et al*., 2016; Kambey *et al*., 2020). Por lo tanto, cada sitio de cultivo debe ser sembrado con material fértil proveniente de su misma área; aunque esta acción podría limitar o restringir el tipo de producto final que se requiera.
Sin embargo, en el último tiempo se ha estudiado sobre la factibilidad de manipular las condiciones de cultivo para satisfacer las características específicas de interés industrial (polisacáridos, proteínas y pigmentos) (Bobadilla *et al.,* 2013; Li *et al*., 2016). Uno de los requisitos para garantizar la sostenibilidad de la calidad de las características (rendimiento en biomasa, calidad de polisacáridos extraídos, textura y sabor) que se persiguen en un cultivo está dado por la genética (Oertel *et al*., 2015; Saint Marcoux *et al*., 2015; Alsufyani *et al*., 2017); por lo tanto, considerar la criopreservación de macroalgas y la mantención de bancos de germoplasmas es fundamental para satisfacer las futuras demandas de la acuicultura (Charrier *et al.,* 2017).
Hasta ahora en Chile, para ambos métodos de propagación de las macroalgas, la colecta del material reproductivo se realiza regularmente desde praderas naturales. El material reproductivo, dependiendo la especie y la latitud, puede ser encontrado en los meses de verano y otoño, por lo que es conveniente inspeccionar las áreas de muestreo para determinar cuál es el mejor momento para colectar las frondas reproductivas que se requieren.
De acuerdo a las encuestas realizadas, se manifiesta la necesidad de crear un banco de cepas o un plantel de reproductores desde donde se suministren las semillas, de este modo la colecta desde praderas naturales sería solo una opción para reponer el cepario. En pelillo, se ha utilizado el uso de un plantel de reproductores para satisfacer los requerimientos de la industria; esta metodología consiste básicamente en la obtención de propágulos mediante esporulación a partir de talos cistocárpicos los cuales son trasladados al mar para su pre-crecimiento, mantención y reproducción; estos talos son los que se trasladan, encordados en cuerdas de polipropileno, a los distintos centros de cultivo. En la academia se está trabajando con reproducción sexual, mediante cruzamientos dirigidos con el fin de generar nuevas cepas combinando rasgos de distintas poblaciones (Marie-Laure Guillemin Com. Pers).
La importancia de la calidad del agua que se ocupa en las diferentes fases del cultivo en hatchery es primordial, por ejemplo, el tratamiento al agua afluente para mejorarla y de este modo evitar la

presencia de contaminación biológica (bacterias, hongos, protozoos). Por lo tanto, es primordial la mantención de los sistemas de filtración y esterilización (radiación ultravioleta UV) para el desarrollo y mantención de las esporas y propágulos.

Obtención de semillas mediante crecimiento vegetativo

La obtención de semillas mediante crecimiento vegetativo permite un cultivo más rápido que requiere menos intervención humana, solamente la referida al encordado e instalación en el mar. Es un método más barato, pero la biomasa obtenida en la cosecha puede ser una mezcla de cepas que probablemente tengan desempeños productivos heterogéneos y menor valor comercial (Mooney-McAuley *et al.,* 2016).
Con este método de cultivo practicado de manera intensiva se puede generar un empobrecimiento en la diversidad genética (Guillemin *et al*., 2008), aumentando la susceptibilidad a las enfermedades (Loureiro *et al*., 2015). Este problema requiere ser contrarrestado mediante la selección de nuevas cepas; esto podría realizarse potencialmente a través de híbridos artificiales, esta técnica consiste en desarrollar variedades de macroalgas con rasgos funcionales mejorados (Grupta *et al*., 2015).
La principal limitante del método de propagación vegetativa es la selección de los talos o frondas que se utilizan como "semillas". Estos deben ser vegetativos, sin la presencia de estructuras reproductivas ni la presencia de epífitos. Por lo tanto, una vez que el material algal llega al hatchery, inmediatamente debe ser seleccionado y lavado con agua de mar filtrada antes de ser encordado. El encordado es un sistema de trenzado donde las macroalgas se colocan una a una en el entramado de una cuerda para ser llevada al mar donde ocurre el crecimiento hasta la época de cosecha (**Figura 168**). La selección y limpieza es fundamental en la producción de macroalgas. Dependiendo de la especie, las frondas o semillas encordadas se ubican cada 10 cm en la cuerda. Las cuerdas pueden ser mantenidas en estanques con agua de mar y aireación constante hasta el momento del traslado al mar.

Figura 168. Trabajo en hatchery, sistema de encordado Chicorea de mar (*C. chamissoi*).

Obtención de semillas mediante esporas

Este método es más caro, el costo puede variar principalmente dependiendo de la técnica utilizada en el desarrollo del propágulo (Mooney-McAuley *et al.,* 2016). Otro punto importante a considerar en la utilización de este método es el acceso al material reproductivo (fresco y fértil); hasta ahora, si no hay material en la naturaleza, las semillas no se pueden obtener y no es factible el cultivo por esta vía. Sin embargo, las ventajas de este enfoque permiten: la selección de especies a cultivar, un desarrollo dirigido de cepas específicas que se pueden adaptar de acuerdo a los productos finales requeridos, además de tener mejor control sobre los tiempos en la temporada de cultivo.
Para evitar el problema o desventaja del acceso al material reproductivo, existe un método (para algas pardas) que permite inducir artificialmente la fertilidad del material (Mooney-McAuley *et al*., 2016). De esta manera es posible garantizar el acceso a material fértil y fresco durante todo el año, mayor control sobre el momento del cultivo y es posible mantener cepas de algas seleccionadas. Sin embargo, este tipo de técnicas requieren mano de obra calificada y recursos. La técnica consiste en mantener a las zooporas en matraces con aireación y agua de mar, bajo luz roja. Los gametofitos aumentan en densidad a través de división celular y no se vuelven fértiles. Luego de un mínimo de 3 a 6 meses, se pasan a luz azul donde comienza la reproducción y el crecimiento de esporofitos juveniles (Lüning & Dring, 1972,1975; Ratcliff *et al.,* 2017). Esta etapa debe mantenerse durante 2 a 3 semanas antes de inocular los cabos.

La obtención de semillas a partir de esporas involucra tres procesos importantes dentro del ciclo de vida de una especie: la esporulación, la germinación y la formación de los propágulos que irán al mar para completar su crecimiento hasta el momento de la cosecha.
Para el proceso de esporulación es importante la selección de frondas fértiles maduras, hasta ahora colectadas desde praderas naturales; sin embargo, podrían ser obtenidas a partir de un cepario o banco de germoplasma. El traslado de las frondas desde praderas naturales debe realizarse en bolsas plásticas dentro de contenedores o recipientes térmicos. Una vez en el hatchery las frondas deben ser lavadas con agua de mar filtrada para eliminar epífitos y epibiontes y secadas con papel absorbente, manteniéndolas secas y en oscuridad. Dependiendo la especie de macroalga que se quiera cultivar, es el tiempo que se mantendrán en esta condición. En Chile, se han desarrollado varios manuales con esta información específica. Posteriormente las frondas fértiles son sometidas a un shock osmótico y de temperatura dentro de un recipiente con agua de mar y luz ambiente para iniciar con la liberación de esporas. La solución de esporas obtenidas se deposita en un estanque donde se encuentran dispuestos los sustratos de siembra; estos sustratos generalmente son cabos de polipropileno dispuestos en bastidores para su crecimiento. El estanque con los bastidores debe contener agua de mar con algún medio de cultivo (e.g. Provasoli o fertilizantes foliares de uso comercial) que aporta con los nutrientes necesarios para el crecimiento; durante esta etapa, no se debe cambiar el agua de los estanques para que la fijación de las esporas a los cabos sea efectiva (**Figura 169**).

Figura 169. Trabajo en hatchery para obtención de semillas mediante esporulación. En la fotografía luga negra: obtención de solución de espora, siembra en bastidores y crecimiento en hatchery.

La germinación depende de las especies de macroalgas que se cultivan, pero generalmente varían entre 2-6 meses. En esta etapa es importante la revisión prolija de los bastidores, la limpieza de los estanques, la temperatura y el aporte de los nutrientes para lograr un crecimiento apropiado hasta la formación de los propágulos.
El tipo de sustrato (polipropileno, hilo, cuerda) que se utiliza en la fijación de las esporas dependerá de las instalaciones y el presupuesto. Antes de la inoculación, los sustratos deben ser preparados; por lo general, son mantenidos en agua dulce durante 24 horas para que queden libres del material particulado que traen del proceso de elaboración (Candia *et al*., 2013).
De acuerdo a la información de las encuestas, la técnica de producción de semilla dependerá de la especie objetivo, valor, uso y disponibilidad del recurso. En el caso de pelillo, los criterios de producción apuntan a cumplir con los requerimientos de la industria. Para el caso de experiencias de cultivo, con otras especies de macroalgas, es difícil ofrecer una regla general de obtención de semillas sin antes determinar el nivel de escalamiento y el mercado.

5.10.6. Crecimiento de propágulos de macroalgas en hatchery

<u>Mantención de propágulos en hatchery</u>

Una vez que se han desarrollado los propágulos (esporofitos diminutos adheridos a los cabos en los bastidores) se mantendrán en estanques limpios y bajo supervisión para su crecimiento.
En macroalgas pardas es posible cultivar la solución de esporas mediante una técnica conocida como free-floating; donde los esporofitos juveniles son cultivados libremente en agua de mar en matraces con aireación y agitación constante (**Figura 170**).

Figura 170. Esporofitos juveniles de huiro (*M. pyrifera*) cultivados mediante free-floating en hatchery.

Las condiciones de cultivo para el mantenimiento y crecimiento de los propágulos dependerán de la especie a cultivar. Existen diversos manuales con esta información específica (Saavedra *et al*., 2019; Ávila *et al*., 2018; Ávila *et al*., 2017; Macchiavello *et al*., 2013; Candia *et al*., 2013; Candia *et al*., 2006) (**Tabla 49**).

Tabla 49.
Condiciones óptimas de cultivo en hatchery para macroalgas pardas y rojas.

Algas pardas	Temperatura (°C)	Iluminación (µmol m^{-2} s^{-1})	fotoperiodo
Huiro (*M. pyrifera*)	10-12	37-40	12:12
Huiro negro (*L. berteroana*)	15-16	37-46	16:08
Huiro palo (*L. trabeculata*)	15-17	37	16:08
Algas rojas			
Luga negra (*S. crispata)*	10-12	20-40	12:14
Luche (*Pyropia* sp)	10-15	20-70	12:12
Carola (*C. variegata*)	15-18	5-10	16:08

Otras consideraciones importantes en el cultivo en hatchery es la densidad de propágulos y/o talos en las cuerdas, la densidad proporciona una estimación del rendimiento final de la biomasa durante la cosecha.

Densidad de siembra de semillas provenientes del ambiente natural (crecimiento vegetativo)

Se debe iniciar con una siembra densa, debido a que ocurren pérdidas en el proceso de instalación en el mar. Se recomienda comenzar el cultivo (dependiendo la especie de alga) con 1 Kg/m lineal ubicando los talos, manojos de macroalgas o semillas cada 10 cm (encordado) (Cárcamo *et al.,* 2017).

Densidad de semillas a partir de esporas

Un buen material reproductivo se refleja en la densidad de propágulos obtenidos. Dependiendo de la especie a cultivar; se recomienda que el cabo inoculado tenga, por ejemplo, para luga negra, una densidad superior a 10 propágulos/cm con un tamaño de 0.5 a 1 mm aproximadamente antes de ser trasladadas al mar (Candia & Núñez, 2016).

5.10.7. Contaminación de cultivos en hatchery

Durante las fases del cultivo en hatchery las fuentes más comunes de contaminación incluyen el medio de cultivo (agua de mar y nutrientes), el suministro de aire y los estanques de cultivo. Dentro de los contaminantes se encuentran las macroalgas verdes y las diatomeas. Para evitar este tipo de contaminación la práctica más eficaz es asegurar la filtración del agua de mar y evitar la contaminación cruzada. En cuanto al medio de cultivo preparado en laboratorio, es recomendable agregar dióxido de germanio lo que suprime el crecimiento de las diatomeas (Shea & Chopin, 2007).

La posibilidad de contaminación se reduce también al tener todos los materiales a mano durante cualquier procedimiento. Al realizar los cambios de agua es mejor tener todo preparado con anticipación (equipos de medición, material de vidrio, medios de cultivo) y asegurarse que todo esté disponible. Se recomienda no intercambiar pipetas, sistemas de aireación etc., entre matraces. Cuando los bastidores están en los estanques y se han realizado varias siembras, se debe procurar mantener juntos e identificados los lotes y lavarse las manos entre estanques al momento de controlar el crecimiento. Experiencias europeas han descubierto que se puede reducir la contaminación dejando las cuerdas al aire libre por cortos periodos de tiempo (10 a 15 minutos) durante los cambios de agua y además reduciendo la intensidad de luz de los estanques.

Las principales medidas preventivas para evitar o disminuir la contaminación de los cultivos de macroalgas y por ende la posibilidad de introducir y controlar enfermedades, se basan principalmente en el monitoreo del estado de salud de las macroalgas, la trazabilidad y el mantenimiento de un ambiente de trabajo limpio (Marino *et al*., 2019; Ward *et al.,* 2019), medidas que se aplican en forma regular en otros hatcheries como de peces y moluscos (Rodgers *et al.,* 2015; Jia *et al*., 2017; Stentiford *et al*., 2017). Hasta ahora, la situación sanitaria de los cultivos de macroalgas es poco conocida, por

lo tanto, el control sanitario necesario para permitir un desarrollo sostenible de la actividad está aún en fase de desarrollo (Kambey *et al*., 2020).

De acuerdo a las encuestas, el principal problema detectado en la producción de macroalgas en hatchery es la presencia de epífitos, endófitas, bacterias y diatomeas. En este sentido se reconoce como elemento primordial la calidad del agua de mar (filtrado y desinfección con UV) utilizada durante el cultivo, además de la importancia de contar y seguir estrictamente con los protocolos establecidos. No todos los hatcheries consultados cuentan con un protocolo establecido.

5.10.8. Traslado de propágulos al mar

El traslado de los propágulos y talos de macroalgas desde el hatchery al mar debe ser rápida y guardando las medidas de bioseguridad necesarias para un crecimiento y productividad óptimas. El traslado debe realizarse en contenedores térmicos con esponjas humedecidas en agua de mar y a baja temperatura (10-12°C) para evitar el daño de propágulos y talos. Se debe resguardar que las cuerdas con propágulos y talos se encuentren limpios y libres de epífitos, especies plagas u otros organismos que pudieran ser trasladados a zonas libres de ellos y que afectarían la producción y el ambiente.

Las cuerdas con los propágulos y talos no deben entrar en contacto con residuos contaminantes propios de las embarcaciones tales como combustibles, aceites, detergentes etc., que afectan la calidad de las macroalgas.

El centro receptor debe encontrarse operativo al momento de recibir las macroalgas. Las líneas madres y boyas deben estar limpias y libres de epibiontes (esto debe ser revisado los días anteriores) para que la maniobra de siembra sea rápida y se evite el daño a las macroalgas. En cuanto a las condiciones climáticas para la siembra en el mar, se recomienda evitar el viento, oleajes intensos y preferir días nublados y sin lluvia.

La época de siembra más adecuada, independiente de la latitud en Chile, es durante los meses de otoño-invierno, lo que permite condiciones ambientales óptimas (baja temperatura, menor competencia por los nutrientes y bajo riesgo de epífitas) para su crecimiento; asegurando el incremento de la biomasa durante primavera-verano periodo donde ocurre la cosecha. El tiempo de incremento de la biomasa depende del tipo de alga en cultivo y de la latitud; pero por lo general es entre 40 a 50 días para chicorea de mar, pelillo y huiro. (Cárcamo *et al*., 2017).

5.10.9. Recomendaciones generales para la producción de macroalgas en hatchery

Dentro de los aspectos sanitarios y de bioseguridad básicos y claves a considerar e incorporar en el funcionamiento de un hatchery de macroalgas, a partir de la información revisada y respuesta de cuestionario aplicado a expertos, se encuentran:

- Contar con estrictos protocolos de infraestructura y funcionamiento de hatcheries fiscalizables. En especial si se trabaja de manera experimental.
- Seleccionar cuidadosamente las especies que se quieran cultivar considerando que éstas se encuentren naturalmente en el área que se afectará ya sea cultivo o repoblamiento.
- Controlar la extracción de macroalgas desde praderas naturales para cultivos vegetativos.
- Estandarizar protocolos de obtención de semillas vía esporas debido a la importancia de optimizar y comparar producciones.
- Evitar durante el cultivo cualquier agente biológico (virus, bacterias) y/o químico (antimicrobianos, desinfectantes) que puedan alterar la estructura genética o molecular macroalgal afectando a sus componentes bioactivos.
- Resguardar el patrimonio genético; tanto en acciones de cultivo como en acciones de repoblamiento; se sugiere que los propágulos provengan de la misma área intervenida. Los hatcheries no deberían utilizar especies, destinadas al cultivo y/o repoblación, provenientes de distintas zonas biogeográficas.
- Seleccionar cepas parentales para germoplasma, de este modo se optimiza la selección de especies de acuerdo a intereses comerciales.
- Mantener bancos de germoplasma para el resguardo del patrimonio genético de las macroalgas comerciales como también las de interés por sus funciones ecosistémicas. De acuerdo a las encuestas, deberían ser tres bancos relacionados a las zonas biogeográficas del país (norte, centro y sur). Estos hatcheries deberían ser mantenidas a largo plazo con apoyo estatal.
- Es necesario fortalecer una estrategia nacional de bioseguridad para el cultivo y repoblamiento de macroalgas como una forma de minimizar la introducción y propagación de enfermedades y plagas y, por otro lado, garantizar la sostenibilidad de los cultivos de macroalgas mediante, por ejemplo, la selección genética de características de interés.

5.11. Construcción de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de algas e invertebrados (Fase 2)

5.11.1. Métodos de modelación

El loop análisis o análisis del modelamiento cualitativo o semicuantitativo de redes (Qualitative Modelling Network Analysis) es una representación gráfica de una matriz comunitaria de Jacob-Levins que describe las interacciones entre organismos y variables abióticas simplificando el análisis de la enorme complejidad y mediciones del ambiente (Puccia & Levins, 1991). Estos modelos proveen un marco de referencia para la formulación de relaciones entre variables dentro de un sistema particular. Es posible estimar propiedades de estabilidad local del sistema (sustentabilidad) y determinar efectos de la relación entre estas variables. Los modelos son cualitativos cuando sólo los signos de la interacción entre variables son conocidos, no su magnitud, a pesar de si el nivel de las variables es en sí mismas cuantificable.
La relación (+,-) indica interacciones de depredador-presa, parásito-huésped o recurso-consumidor, la relación (-,-) representa competencia entre especies, y las relaciones (+,+), (+,0) y (-,0) representan mutualismo, comensalismo y amensalismo, respectivamente. Cada variable se representa por un nodo (círculo) y líneas que representan dirección y tipo de interacción. Una flecha indica un efecto positivo, un círculo sólido muestra un efecto negativo. La falta de uno de estos símbolos representa un efecto nulo. Estos modelos están basados en la correspondencia entre sistemas de ecuaciones diferenciales en equilibrio, matrices comunitarias de Jacob-Levins y diagramas llamados dígrafos. Por lo tanto, en el sistema, el elemento *αij* de la matriz y el dígrafo representan el efecto de la variable *j* sobre el crecimiento de la variable *i* con la ecuación:

$$dXi/dt = f_i (X_1; X_2; X_3; \ldots; X_n; C_1; C_2; C_3; \ldots; C_n)$$

Donde la tasa de cambio de la variable X_i, es una función de f_i de las otras variables interconectadas X_n y parámetros C_n y es resuelta en el equilibrio (X*). La conexión de X*j* a X*i* es similar a la de *αij*, como sigue:

$$\alpha ij \; \eth(dXi/dt) / \eth Xj$$

Donde X*i* es evaluado como un equilibrio móvil para el sistema. El elemento del gráfico que representa la conexión desde *j* a *i* es signado (*αij*) –si es que es positivo, negativo, o cero - donde la función signo (X) es 1 cuando X > 0, 0 cuando X = 0, and -1 cuando X < 0. La estabilidad local, es determinada por el criterio de Routh-Hurwitz, que se traduce en términos del análisis como condición 1, cuando $F_k < 0$ para todos los k; i.e., F_k corresponde a las auto retroacciones negativas en cada nivel de complejidad (k), las cuales deben exceder las auto retroacciones positivas. La condición 2 examina las relaciones entre auto-retroacciones a diferentes niveles de k, usando las desigualdades de Routh-Hurwitz. Este criterio indica que un equilibrio móvil puede ser asintótico o negativo oscilatorio estable, o contrario divergente o no negativo oscilatorio inestable (Puccia & Levins, 1985, Levins, 1998).

Las auto-retroacciones de cada nivel pueden ser también calculadas estimando el polinomio característico relacionado a la matriz de interacciones de Jacob-Levins, en la cual el polinomio puede ahora ser escrito en términos de notación de autro-retroacciones como:

$$F0\ \lambda n + F1\ \lambda n\text{-}1 + F2\ \lambda n\text{-}2 + \ldots + Fn\text{-}1\ \lambda + Fn = 0$$

Donde F0 = -1 y Fn es la auto-retroacción del sistema completo (n = número total de variables del sistema). El criterio de estabilidad de Levins asume que el sistema es localmente estable cuando Fn es negativo. Si las auto-retroacciones negativas se vuelven más dominantes (Fn), existirá mayor resistencia dentro del sistema para soportar disturbios o cambios externos (Levins, 1998). Basado en este criterio de estabilidad local, es posible estimar el grado de resistencia a perturbaciones como medida de sustentabilidad del sistema, simultáneamente, para explorar estrategias para incrementar esta resistencia. De la misma manera, este análisis permite indicar qué debe ser medido al identificar las auto-dinámicas e interacciones que cambian la estabilidad local.

A continuación, se presenta la construcción y supuestos de 3 modelos que representan los casos de estudio.

5.11.2. Caso 1. Cultivo de macroalgas

Los modelos representan las relaciones de distintas etapas del cultivo del alga comercial *C. chamissoi* sobre el ecosistema. La construcción de éstos se basa en las experiencias de cultivo de Chicorea en sistemas de cultivo tipo suspendido, en long-lines. Se identificaron 7 variables que caracterizan al cultivo: Acuicultor, manejo (limpieza), macroalgas, epífitos, nutrientes, fitoplancton y detritus.
Se realizaron cinco modelos representando seis etapas del cultivo de esta alga: siembra, precosecha, cosecha única, cosecha 1[16], cosecha 2 y post cosecha.
De acuerdo a los escenarios de estabilidad, se determinó que las etapas: cosecha única y cosecha 1 corresponden a un solo modelo, principalmente porque se asume que la variable macroalgas se encuentra en su máximo potencial de biomasa y la acción de colecta o cosecha se realizan en el mismo periodo de tiempo.

MODELO 1, SIEMBRA

Este modelo incluye 7 variables: acuicultor (A), manejo (ML), cultivo de macroalgas (M), epifitos (EPI), nutrientes (N), fitoplancton (F) y detritus (D). Las relaciones entre las variables de este modelo se representan gráficamente en el dígrafo A (**Figura 171**).
Este modelo presentó 243 escenarios de estabilidad/inestabilidad. Sin escenarios que cumplieran con los tres criterios (3C) de estabilidad local o condición de equilibrio del sistema (RH1=Routh-Hurtwitz 1, RH2= Routh-Hurtwitz 2 o equilibrio no oscilatorio y Levins). Sin embargo, se obtuvo 4 escenarios (1,7%

[16] Si existe la posibilidad de realizar cosechas parcializadas en un ciclo productivo, se consideran dos cosechas separadas: cosecha 1 y cosecha 2.

del total) en los cuales se cumplieron dos (RH1 y Levins) de los tres criterios.Las principales relaciones ecológicas entre las variables de este sistema, durante el periodo de siembra son las siguientes:

Comensalismo (+,0)

La relación entre el acuicultor y el cultivo de macroalgas presenta un efecto positivo ya que el acuicultor entrega las semillas (siembra) para el crecimiento de las macroalgas (Chung *et al.,* 2017) hasta completar un ciclo productivo. Esta actividad se realiza al inicio del cultivo, durante los meses de otoño para obtener la biomasa cosechable durante primavera hasta completar el ciclo productivo.

El acuicultor mediante el manejo, que básicamente consiste en una permanente limpieza del sistema de cultivo (cabos, sistema de flotación y anclaje), logra controlar a los epifitos consiguiendo un efecto positivo sobre el cultivo de macroalgas y evitando la disminución de sus ingresos (Buschmann *et al*., 1995, 2001; Candia 2010). Los epifitos tienen un efecto negativo sobre las macroalgas, su presencia reduce la energía lumínica disminuyendo su actividad fotosintética (Dixon *et al*., 1981; Hurd *et al*., 2000). Por otro lado, el detritus se ve favorecido (efecto directo positivo sobre él) por las variables macroalgas y epífitos que son un aporte de materia orgánica vegetal y animal al ambiente (Rodríguez 2000).

Amensalismo (-,0)

La relación entre el manejo, realizado por el acuicultor sobre los epífitos, tiene un efecto negativo; lo cual es beneficioso para el acuicultor, ya que al eliminar los epifitos logra biomasa de calidad evitando así perjudicar sus ingresos económicos (Sievers *et al.,* 2019).

Consumidor-recurso (+, -)

Las macroalgas mantienen una relación tipo consumidor-recurso con los nutrientes, positiva desde el punto de vista de las macroalgas, ya que los nutrientes son asimilados (Chopin *et al*., 2001, 2008, 2011; Harrison *et al*., 2001; Buschmann *et al*., 2008), y negativos por parte de los nutrientes, porque la concentración de éstos se ve afectada.

Los epifitos presentan un efecto negativo sobre el cultivo de macroalgas, ya que afectan a las estructuras flotantes como también la calidad de las macroalgas. Por otro lado, las macroalgas se relacionan positivamente con esta variable porque le otorga sustrato y alimentación (parasitismo) (Heijs 1987; Arrontes 1990; Reyes y Alfonso-Carrillo 1995; Kanamori *et al*., 2004).

Los nutrientes presentan un tipo de relación recurso-consumidor tanto con el cultivo de macroalgas como con el fitoplancton; en ambos casos, los nutrientes son incorporados (Chopin *et al*., 2001; Diehl *et al.,* 2002). Respecto al detritus posee un efecto negativo por competencia.

Este modelo presenta cuatro auto-retracciones negativas en las variables manejo, epifitos, fitoplancton y detritus, lo que significa que la abundancia para cada una de estas variables se encuentra en las cercanías de su máximo potencial. Esto se traduce en que el manejo, es decir, la limpieza de las líneas de cultivo, que realiza el acuicultor, es determinante para mantener el sistema libre de epifitos (Delgadillo-Garzón *et al.,* 2008) al momento de comenzar con el cultivo (siembra de semillas). En este modelo, la dinámica para el fitoplancton y detritus se detiene, es decir, se encuentra limitada por el cultivo.

Por el contrario, las variables macroalgas y nutrientes presentan auto retracciones positivas, es decir, su abundancia actual se encuentra muy por debajo de su abundancia potencial máxima o capacidad de carga. Lo cual es lógico, ya que el cultivo recién se instala.
El acuicultor no posee auto-retracción, es decir, su abundancia se encuentra entre ambas situaciones extremas expuestas previamente.
Las auto-retracciones son tasas de cambio, por lo tanto, dependerán de la abundancia de una variable en particular en un momento determinado.

La matriz de interacción muestra el escenario con los tres criterios (3C) de estabilidad de Hurtwitz y Levene para el modelo de siembra (**Tabla 50**).

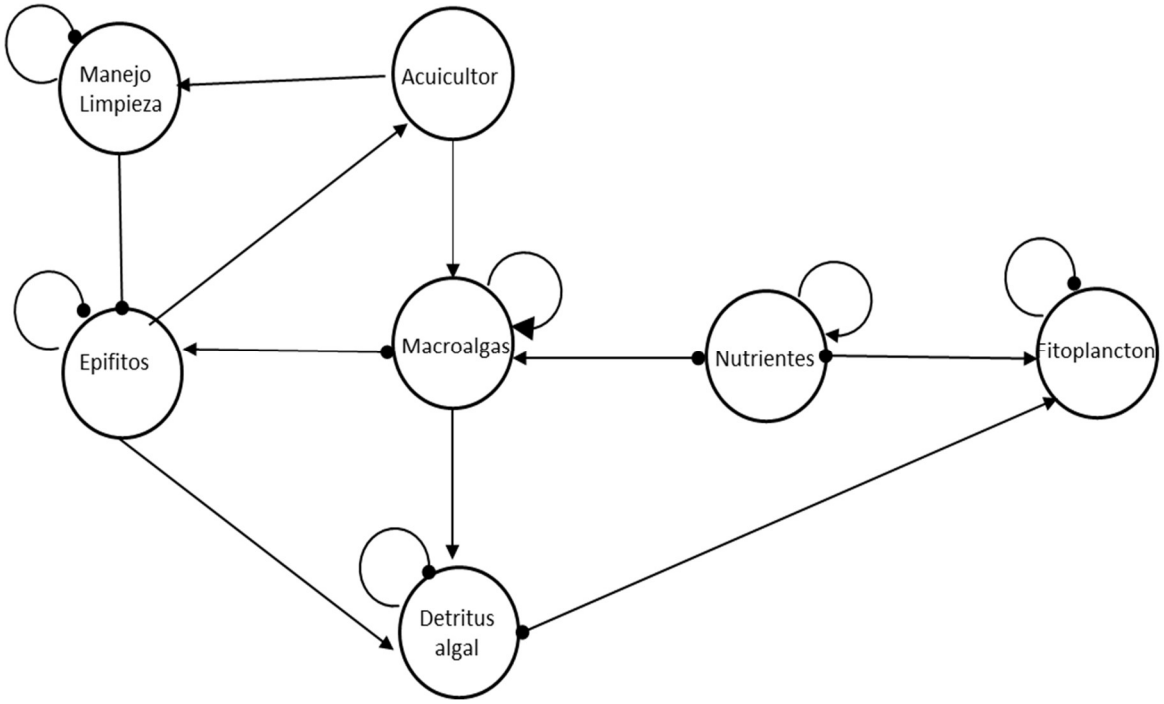


Figura 171. Dígrafo A. Modelo 1. Representación gráfica de la siembra de *C. chamissoi*.

Tabla 50.
Matriz de interacciones Modelo 1, siembra de chicorea de mar. En paréntesis la interacción del modelo basal de cultivo.

	A	M	ML	D	EPI	N	F
A	0(-1)	0	0	0	1	0	0
M	1	1(-1)	0	0	-1	1	0
ML	1	0	-1	0	0	0	0
D	0	1	0	-1	1	0	-1
EPI	0	1	-1	0	-1	0	0
N	0	-1	0	0	0	1	-1
F	0	0	0	1	0	1	-1

MODELO 2, PRECOSECHA

Este modelo incluye 7 variables: acuicultor (A), manejo (ML), cultivo de macroalgas (M), epífitos (EPI), nutrientes (N), fitoplancton (F) y detritus (D). Las relaciones entre las variables de este modelo se representan gráficamente en el dígrafo B (**Figura 172**).
Se obtuvo 243 escenarios de estabilidad/inestabilidad, con 56 escenarios (23% del total) de estabilidad de acuerdo a los tres criterios (3C) de estabilidad (RH1, RH2 y Levins) del sistema.
La estabilidad de este sistema mantiene las mismas relaciones ecológicas entre las variables que durante el periodo de siembra, sin embargo, durante esta fase del cultivo, todas las variables poseen auto-retracciones negativas. Durante la precosecha todas las variables se encuentran en las cercanías de su máximo potencial; las macroalgas ya han alcanzado una biomasa adecuada para ser cosechadas. El acuicultor mediante el manejo constante, durante todo el proceso de cultivo, ha logrado mantener el sistema libre de epifitos; situación que lo ha beneficiado produciendo biomasa de mejor calidad. Los nutrientes han estado disponibles durante todo el periodo de crecimiento del alga en cultivo. Los epifitos y macroalgas se relacionan positivamente con el detritus, son un aporte al medio; en el caso de las macroalgas el aporte es producto de la descomposición de la materia orgánica de tipo vegetal (Krumhans, 2012).

La matriz de interacción muestra el escenario con los tres criterios (3C) de estabilidad de Hurtwitz y Levene para el modelo de precosecha (**Tabla 51**).

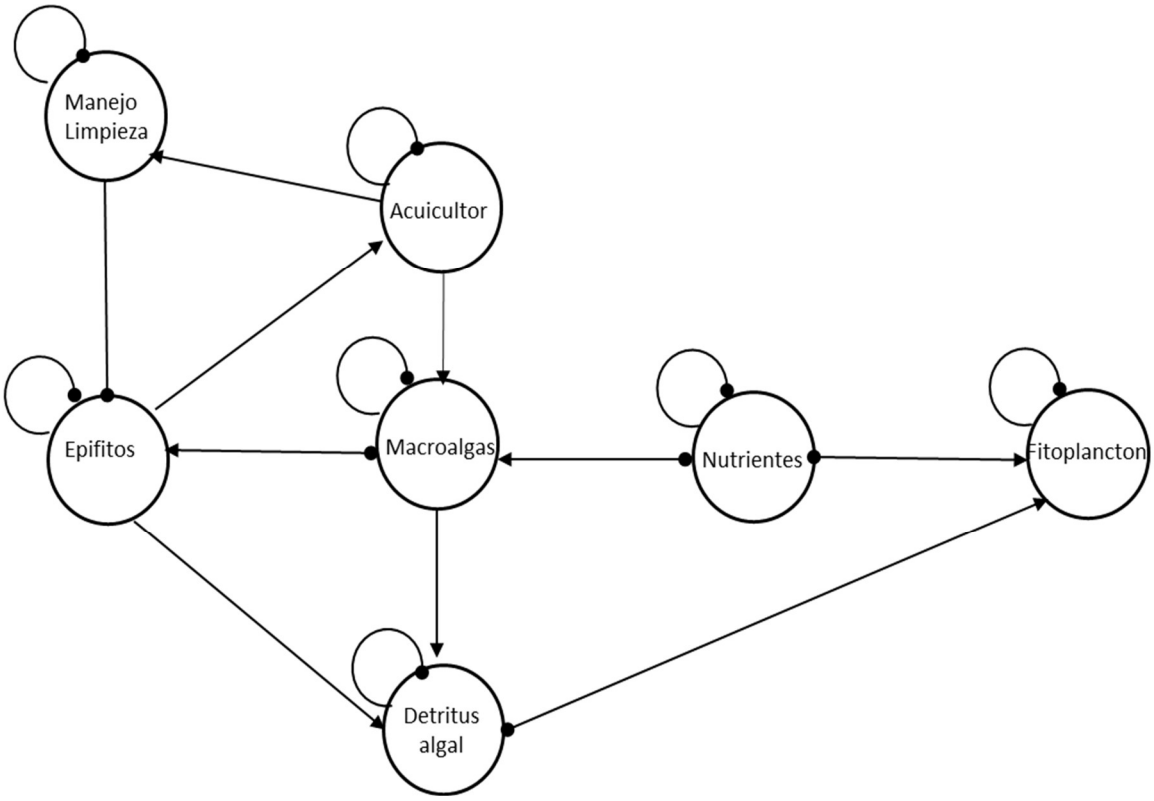


Figura 172. Dígrafo B. Modelo 2. Representación gráfica de la precosecha de *C. chamissoi*.

Tabla 51.
Matriz de interacciones Modelo 2, precosecha de chicorea de mar. En paréntesis la interacción del modelo basal de cultivo.

	A	M	ML	D	EPI	N	F
A	-1	0	0	0	1	0	0
M	1	-1	0	0	-1	1	0
ML	1	0	-1	0	0	0	0
D	0	1	0	-1	1	0	-1
EPI	0	1	-1	0	-1	0	0
N	0	-1	0	0	0	-1(1)	-1
F	0	0	0	1	0	1	-1

MODELO 3, COSECHA UNICA Y COSECHA 1

Incluye 7 variables: acuicultor (A), manejo (ML), cultivo de macroalgas (M), epifitos (EPI), nutrientes (N), fitoplancton (F) y detritus (D). Las relaciones entre las variables de este modelo se representan gráficamente en el dígrafo C (**Figura 173**).
El modelo 3 obtuvo 243 escenarios de estabilidad/inestabilidad, con 5 escenarios (2,1% del total) de estabilidad de acuerdo a los tres criterios (3C) o condición de equilibrio del sistema.
Este modelo es representativo de la cosecha si se realiza en forma total (cosecha única) al final del periodo productivo, o bien en forma parcial (cosecha 1) si se prefiere fraccionar la producción. En este caso, se asume que tanto en la cosecha única como en la cosecha 1, la variable macroalgas se encuentran cercana a su máximo potencial de biomasa y la acción de colecta se realiza en el mismo periodo de tiempo.
El sistema, en este modelo, mantiene las relaciones ecológicas expuestas en los modelos anteriores, pero se modifica la relación entre el acuicultor y el cultivo de macroalgas. Durante la cosecha existe una relación tipo depredador-presa (+, -) entre ambas variables, situación que asegura empleo e ingresos (Buchholz *et al*., 2012).
En cuanto a las auto-retracciones negativas, se mantienen en las variables macroalgas, fitoplancton y detritus. Durante la cosecha única y cosecha 1, el cultivo de macroalgas es removido total o parcialmente respectivamente ya que ha alcanzado el máximo nivel de abundancia, este nivel se relaciona con la mayor abundancia de detritus presente en el ambiente producto del desprendimiento de macroalgas desde el cultivo durante el proceso de cosecha. El fitoplancton durante este periodo se encuentra en su máximo potencial.
La auto-retracción positiva del acuicultor representa la posibilidad que este tiene de seguir cultivando siempre y cuando se mantenga el manejo o limpieza del sistema de cultivo. Las variables con auto-retracción cero se encuentran en una situación intermedia de abundancia, los epifitos han sido controlados por el manejo durante el periodo de cultivo, mientras que la concentración de nutrientes es reducida por las macroalgas (Chopin *et al*., 2001).

La matriz de interacción muestra el escenario con los tres criterios (3C) de estabilidad de Hurtwitz y Levene para el modelo de cosecha única y cosecha 1 (**Tabla 52**).

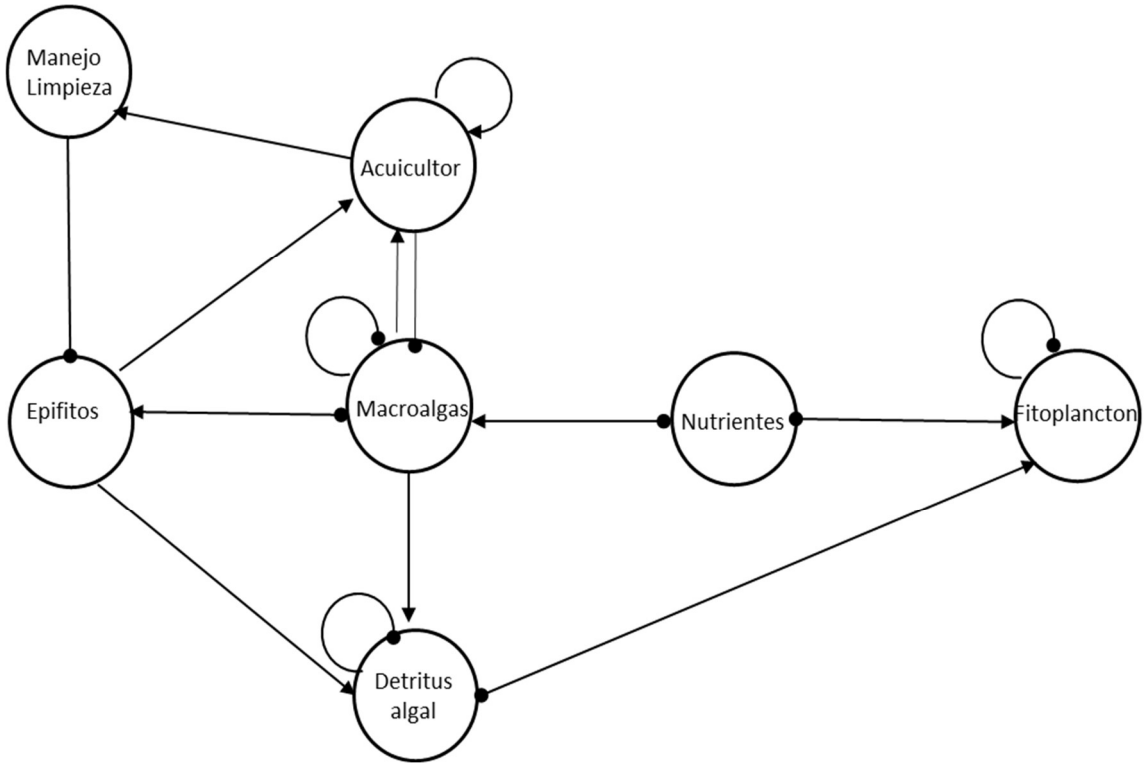


Figura 173. Dígrafo C. Modelo 3. Representación gráfica de la cosecha única o primera cosecha de *C. chamissoi*.

Tabla 52.
Matriz de interacciones Modelo 3, cosecha única y primera cosecha de chicorea de mar. En paréntesis la interacción del modelo basal de cultivo.

	A	M	ML	D	EPI	N	F
A	1(-1)	1(0)	0	0	1	0	0
M	-1(1)	-1	0	0	-1	1	0
ML	1	0	0(-1)	0	0	0	0
D	0	1	0	-1	1	0	-1
EPI	0	1	-1	0	0(-1)	0	0
N	0	-1	0	0	0	0(1)	-1
F	0	0	0	1	0	1	-1

MODELO 4, COSECHA 2

Incluye 7 variables: acuicultor (A), manejo (ML), cultivo de macroalgas (M), epifitos (EPI), nutrientes (N), fitoplancton (F) y detritus (D). Las relaciones entre las variables de este modelo se representan gráficamente en el dígrafo D (**Figura 174**).
Este modelo presentó 2187 escenarios dinámicos de los cuales 151 escenarios (6,9% del total) cumplieron los tres criterios (3C) de estabilidad.
Este modelo representa la opción del acuicultor cuando elige fraccionar la producción. Es decir, realizar dos cosechas por periodo productivo. En este modelo el sistema posee el mismo comportamiento que el modelo 3. Se mantienen las relaciones ecológicas, incluida la relación predador presa entre acuicultor y cultivo de macroalgas. La diferencia con el modelo 3 radica en las auto-retracciones; en este modelo, todas las variables presentan auto-retracciones negativas pues han alcanzado su máximo potencial, razonable si pensamos que se está cerrando el ciclo productivo.

La matriz de interacción muestra el escenario con los tres criterios (3C) de estabilidad de Hurtwitz y Levene para el modelo de cosecha 2 (**Tabla 53**). En paréntesis la interacción del modelo basal de cultivo.

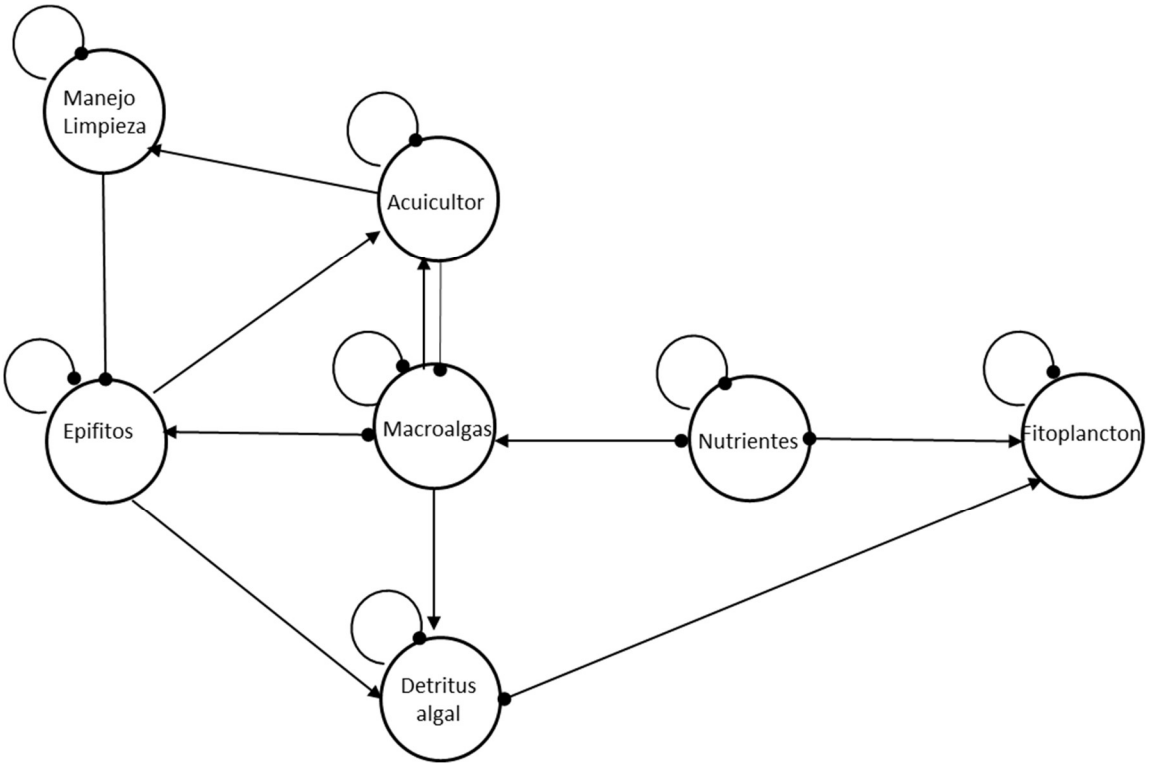


Figura 174. Dígrafo D. Modelo 4. Representación gráfica de la segunda cosecha o cosecha 2 de *C. chamissoi* en un ciclo productivo parcializado.

Tabla 53.
Matriz de interacciones Modelo 4, segunda cosecha o cosecha 2 de chicorea de mar en un ciclo productivo parcializado. En paréntesis la interacción del modelo basal de cultivo.

	A	M	ML	D	EPI	N	F
A	1(-1)	1(0)	0	0	1	0	0
M	-1(1)	-1	0	0	-1	1	0
ML	1	0	0(-1)	0	0	0	0
D	0	1	0	-1	1	0	-1
EPI	0	1	-1	0	0(-1)	0	0
N	0	-1	0	0	0	0(1)	-1
F	0	0	0	1	0	1	-1

MODELO 5, POSTCOSECHA

Incluye 7 variables: acuicultor (A), manejo (ML), cultivo de macroalgas (M), epifitos (EPI), nutrientes (N), fitoplancton (F) y detritus (D). Las relaciones entre las variables de este modelo se representan gráficamente en el dígrafo E (**Figura 175**).
En este modelo se obtuvo 243 escenarios de estabilidad/inestabilidad, de los cuales 13 escenarios (5,35% del total) cumplieron con los tres criterios (3C).
El modelo de postcosecha mantiene las relaciones de estabilidad entre las 7 variables, exceptuando la relación acuicultor- macroalgas que ya no está presente, pues la biomasa ha sido cosechada y solamente queda en el sistema de cultivo la infraestructura de soporte de éste, la cual debe seguir siendo mantenido (limpieza de cabos, sistema de flotación y fondeos) por el acuicultor para la siguiente temporada de producción.
En cuanto a las auto-retracciones, las variables acuicultor, manejo, epifitos, fitoplancton y detritus se encuentran en su máximo potencial; la variable macroalgas presenta auto-retracción positiva porque ya no se encuentra en el medio, y la variable nutrientes con auto-retracción cero, se encuentra en una condición de abundancia intermedia.

La matriz de interacción muestra el escenario con los tres criterios (3C) de estabilidad de Hurtwitz y Levene para el modelo de postcosecha (**Tabla 54**).

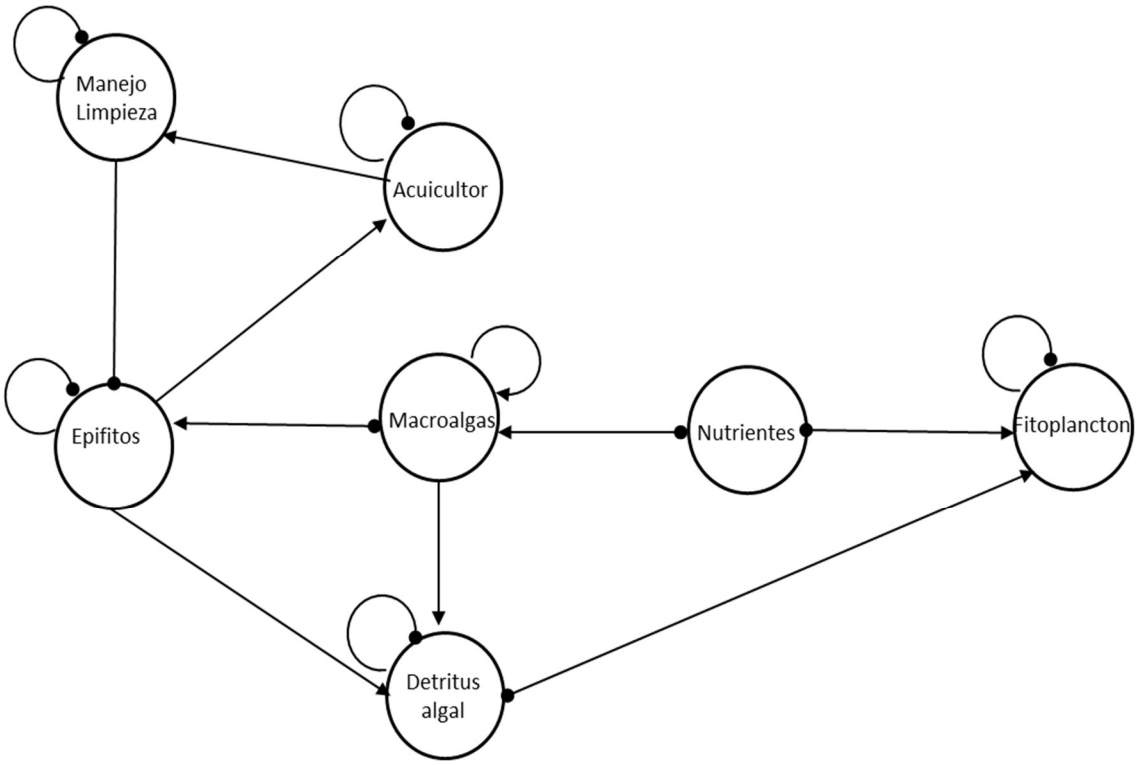


Figura 175. Dígrafo E. Modelo 5. Representación gráfica de la postcosecha de *C. chamissoi*.

Tabla 54.
Matriz de interacciones Modelo 5, postcosecha de chicorea de mar. En paréntesis la interacción del modelo basal de cultivo.

	A	M	ML	D	EPI	N	F
A	-1	0	0	0	1	0	0
M	0(1)	1(-1)	0	0	-1	1	0
ML	1	0	-1	0	0	0	0
D	0	1	0	-1	1	0	-1
EPI	0	1	-1	0	-1	0	0
N	0	-1	0	0	0	0(1)	-1
F	0	0	0	1	0	1	-1

5.11.3. Caso 2. Co-cultivo mitílidos-macroalgas

La estabilidad de un sistema acuicultura-ambiente fue medida como el efecto de un cultivo integrado multi-trófico (IMTA) de mitílidos y macroalgas (Forget et al. 2020a) representando por la acuicultura a pequeña escala en el sur de Chile, evaluando tres modelos de cultivo:

1. Modelo post-siembra o inicial
2. Modelo de cosecha
3. Modelo de postcosecha

Los modelos y sus respectivos escenarios de análisis fueron construidos incluyendo interacciones acuicultura-ambiente documentadas para el cultivo integrados en Asia (Zhang et al. 2009) y cultivos de macroalgas documentados en Chile (Edding & Tala 2003, Romo et al. 2006, Macchiavello et al. 2010, Bulboa et al. 2013, Camus et al. 2016). Estos estudios de caso también incluyeron experiencias de cultivo de macroalgas llevadas a cabo por el Departamento de Repoblación y Cultivo del IFOP (Cárcamo et al. 2017). Además, los grupos de organismos que componen las redes de interacción trófica están basadas en observaciones *in situ* de la comunidad bentónica de sitios APE de bivalvos filtradores en Calbuco y Chiloé.
Las condiciones ambientales fueron definidas como de disponibilidad de nutrientes dentro de un régimen de surgencias, representativo para el sur de Chile. Por lo tanto, el modelo asume una condición inicial en donde factores físicos basales como irradianza, nutrientes y movimiento de agua describen una dinámica cercana a un equilibrio móvil. Por esto, estas variables fueron omitidas del análisis. A su vez, factores biológicos como fitoplancton y zooplancton también cumplen condiciones cercanas al equilibrio, sin embargo, estas variables son incluidas en el análisis por el rol trófico que desempeñan en la acuicultura de bivalvos comerciales.
Datos de abundancia de organismos bentónicos fueron colectados por buzos científicos directamente bajo dos sistemas de APE de mitílidos *sensu* González-Poblete (2018) (i.e., 1 – 3 há, ≤ 200 ton año^{-1}) en las localidades de Calbuco (Canal Quihua) y Ancud (Bahía de Hueihue). Para determinar los grupos de organismos más conspicuos bajo cultivos APE se realizaron conteos sobre tres transectas graduados de 30 m en cada uno de dos sitios independientes bajo instalaciones de cultivo (Sitios APE) y dos sitios de referencia ubicados a una distancia no menor a ~200 m del perímetro de los cultivos, lo que ha garantizado en otros estudios efectos nulos o mínimos del cultivo (Reusch et al. 1994, Borthagaray & Carranza 2007). En cada transecto se registró el número de invertebrados móviles y la cobertura de invertebrados sésiles y macroalgas lanzando cada 6 m un cuadrante reticulado de 0,25 m^2. Las características del sustrato en los sitios de muestreo se determinaron midiendo la cobertura de mitílidos asentados sobre el fondo (vivos y muertos), y/o el sustrato primario (e.g., conchilla, grava, arena, arenilla, sedimento). El porcentaje de materia orgánica del fondo de cada sitio fue obtenido desde la base de datos del monitoreo ambiental del "Estudio del seguimiento del desempeño ambiental de la acuicultura en Chile y su efecto en los ecosistemas de emplazamiento (IFOP, 2018).
La información sobre hábitos alimenticios de las especies registradas fue determinada con literatura especializada sobre comunidades bentónicas del sur de Chile (Häussermann & Försterra 2009). Además, una clasificación mecanicista de las estrategias de alimentación y función de los

invertebrados más importantes, previamente determinada con la rutina multivariada de porcentaje de similitud (SIMPER, PRIMER 6.0), estuvo basada en características de la historia de vida de invertebrados bentónicos del sur de Chile como sigue: Depredador/Carnívoro – (e.g., *Enteroctopus megalocyanthus, Cancer plebejus, Metacarcinus planatus, Ganeria falklandica),* Herbívoros Pastoreadores – (e.g., *Loxechinus albus, Fissurella spp*., *Sunamphithoe femorata*), Detritívoros-Oportunistas (e.g., Annelida, *Arbacia dufresnii, Munida gregaria),* Suspensívoros Sésiles (e.g., *Anthothoe chilensis, Heterocucumis godefroyii, Halichondria prostata*, *Leucatis nuda*) y Autótrofos (e.g., *Macrocystis pyrifera, Ulva spp., Leftofauchea chiloensis, Sarcothalia crispata, Ulva* spp.*)*. La función general de "bio-ingeniero" o "estructuradores de hábitat", fue atribuida a organismos que construyen sustrato biogénico (i.e., *Mytilus chilensis, Aulacomya atra, Tiostrea chilensis*, *Chorus giganteus),* y otros organismos estructuradores como: *Macrocystis pyrifera* y Esponjas Marinas (e.g., *H. prostata*, *L. nuda*).

En resumen, los modelos y sus respectivos escenarios de análisis (Post-siembra, Cosecha y Postcosecha/ Aprovechamiento) están compuestos de 14 variables, lo que lo convierte en un modelo de alta complejidad. Tales variables describen la red de interacciones y efectos de un co-cultivo de mitílidos y macroalgas en interacción con los componentes de la columna de agua y el fondo como sistema ecológico circundante y durante tres fases de un ciclo de cultivo (**Figuras 176, 177** y **178**). Las estimaciones de estabilidad/inestabilidad de los modelos y escenarios fueron determinados desde matrices comunitarias (Jacob-Levins) construidas para cada uno de ellos (**Tablas 55, 56 y 57**) y computadas con el programa online *Loop Stability* (Cortesía: https://josue.shinyapps.io/loop/).

MODELO 1. CULTIVO EN CRECIMIENTO INICIAL

El modelo de post-siembra o fase de crecimiento temprano, muestra al acuicultor (A, **Figura 176**), simulado con auto-retroacción negativa (Desde ahora AR [-]). La AR (-) representa su dependencia de variables biológico-ambientales que controlan el crecimiento y la productividad como disponibilidad de fito y zooplancton (Mitílidos), además de irradianza y nutrientes (Macroalgas). Otras variables que controlan el crecimiento como herbivoría, depredación y denso-dependencia contribuyen con la naturaleza de esta auto-retroacción sobre el acuicultor. La interacción positiva del acuicultor sobre ambas especies en cultivo (Comensalismo; 0/+), es el resultado de la facilitación de condiciones de crecimiento a través de la introducción de propágulos ("semillas") de ambas de especies sobre estructuras de cultivo (Dambacher et al. 2009, Ortiz et al. 2013).

Las AR positivas (AR [+]) de las especies en cultivo reflejan condiciones no limitantes para el crecimiento como disponibilidad de nutrientes con baja biomasa y denso-dependencia característica de etapas de crecimiento inicial de cultivo.

Los mitílidos establecen una interacción de comensalismo (0/+) con organismos epibiontes o fouling (F) ya que las estructuras de cultivo o las semillas facilitan el asentamiento de estas especies ofreciendo sustrato de fijación, sin reducir, en esta etapa, la productividad del cultivo por competencia (Buschmann et al. 1995, 2001, Candia 2010, Peteiro & Freire 2013, Førde et al. 2016).

Por otro lado, existe una relación de pastoreo herbívoro-planta entre el anfípodo pastoreador *Sunamphithoe femorata* (Anf.) (Häussermann & Försterra 2009) y las macroalgas comerciales. Este anfípodo es frecuentemente asociada a cultivos de *M. pyrifera* en el sur de Chile (Camus et al. 2016).

Las AR tanto de F como de Anf se consideran como incógnitas que serán definidas en el análisis de estabilidad junto a las del fito (Fitop) y zooplancton (Zoop), los detritívoros oportunistas (Detrv.), los suspensívoros sésiles (Susp.) y el banco emergente de *M. chilensis* bajo el cultivo (Bco. *Mytilus*) (**Figura 113**). Las incógnitas representarán diferentes escenarios para examinar los criterios de estabilidad local.

La relación de mutualismo (+/+) entre el cultivo de *M. chilensis* y las macroalgas, es el resultado de la absorción por parte de las macroalgas de una parte de los desechos metabólicos nitrogenados generados por los bivalvos (e.g., NH_4^+), las que, a su vez, aportan detritus algal (desprendimiento y degradación apical) que forma parte del alimento que obtiene *M. chilensis* desde la columna de agua. El detritus algal en algunos casos ha demostrado aportar entre 14%–42% del C constituyente de ostras (*Chlamys farreri*) co-cultivadas con macroalgas (Xu et al. 2016). Similarmente, los mitílidos establecen una relación de mutualismo (+/+) con el pool de detritus ambiental aportando a éste, a través de la biodeposición (Fecas y pseudofecas).

Interacciones de pastoreo (-/+) fueron establecidas entre *M. chilensis* y el fito y zooplancton, pero también de comensalismo (0/+) con detritívoros sésiles y el banco emergente a través del aporte de biodepósitos sobre el fondo e individuos que se desprenden del cultivo. El banco emergente de bivalvos pastorea (-/+) sobre el fito y el zooplancton. El pool de detritus ambiental tiene una relación de comensalismo (0/+) con los detritívoros oportunistas y suspensívoros sésiles y además una relación de mutualismo (+/+) con el banco de mitílidos bajo el cultivo. La acumulación continua de mitílidos bajo el cultivo o banco emergente también se relaciona a través de comensalismo (0/+) con los detritívoros oportunistas ya que los mitílidos aumentan la disponibilidad de detritus en el ambiente (Filgueira et al. 2015) actuando como subsidio (0/+) para la productividad secundaria (Krumhansl 2012). De este modo, se modifica la estructura del fondo, influenciando procesos hidrosedimentarios que pueden favorecer poblaciones de detritívoros y suspensívoros bentónicos (McKindsey et al. 2011). Sin embargo, la relación depredador-presa (-/+) entre el banco de mitílidos y los suspensívoros sésiles ocurre porque, si bien, los suspensívoros se ven favorecidos por la disponibilidad de sustrato biogénico proporcionado por los mitílidos, éstos se verían afectados negativamente, primero, por el uso de las valvas *M. chilensis* como sustrato, afectando mecánicamente su desarrollo normal, pero también, compitiendo por partículas en suspensión.

Relaciones de depredación (-/+) fueron establecidas sobre todos los invertebrados bentónicos (detritívoros, suspensívoros, herbívoros pastoreadores y el banco emergente) y los anfípodos del sistema considerando la dieta de pulpos y decápodos de la Patagonia (Häussermann & Försterra 2009). Además, debido a su condición de depredadores móviles, las tasas de cambio poblacional tienden a ser independientes de la disponibilidad de alimento, por lo tanto, los depredadores poseen AR (+).

Los herbívoros pastoreadores, usualmente móviles (e.g., *L. albus*, *Fissurella* spp.), son dependientes de la disponibilidad de alimento mostrando AR (-). Éstos ejercen un efecto negativo de pastoreo (-/+) sobre las macroalgas bentónicas afectando la productividad y reclutamiento. Finalmente, las macroalgas muestran AR (-) ya que su abundancia es controlada tanto por denso-dependencia poblacional, como por pastoreo. Sin embargo, las macroalgas actúan como epibiontes sobre el banco de mitílidos causando daño por arrastre mecánico o disminución de tasas de filtración, lo que puede

llevar a la muerte, si se trata, por ejemplo, de aumentos en el reclutamiento de *M. pyrifera* (Díaz et al. 2015). Por último, se estableció una relación de comensalismo (0/+) debido a la producción y aporte de detritus de las macroalgas al detritus ambiental (Krumhansl 2012) y de pastoreo (-/+) con los anfípodos herbívoros.
Un efecto del co-cultivo que se espera entender con esta modelación, es la interacción entre el cultivo y el ecosistema bentónico asumiendo efectos positivos sobre especies de detritívoros y depredadores móviles por el desprendimiento de mitílidos desde el cultivo durante el ciclo productivo y el período de cosecha y el aporte al pool de detritus. La acumulación de individuos durante varias temporadas de cultivo, podría generar un banco emergente que actuaría primero como hábitat para especies bentónicas sésiles, pero también de invertebrados móviles y peces crípticos como ha sido observado en estudios pertinentes en ambientes similares (Van der Schatte Olivier et al. 2018, Sardenne et al. 2019).

El modelo supone que el banco emergente no produce efectos adversos sobre el cultivo, y al menos, efectos poco estudiados o difusos sobre el ambiente. De acuerdo a investigación reciente, la magnitud de posibles efectos ha sido relacionada con el tamaño del cultivo, el régimen hidrodinámico y la topografía local más el ensamble de especies locales. Por ejemplo, se han observado efectos leves o difusos de la biodeposición, en ambientes donde predomina una energía hidrodinámica alta o moderada (Callier et al. 2007, Mckindsey et al. 2013, Lacoste et al. 2018). Por lo tanto, además del efecto por biodeposición, existe el efecto sobre la red de interacciones entre las especies y el desprendimiento de mitílidos y su función como sustrato biogénico. Este efecto ha demostrado favorecer áreas de asentamiento, crianza y alimentación para invertebrados marinos, algunos de importancia comercial, finalmente, puede acercarse a la dinámica de un banco natural (Gutiérrez et al. 2003, D'Amours et al. 2008, Craeymeersch & Jansen 2019, Sardenne et al. 2019). La red de interacciones se expresa matemáticamente a través de una matriz de interacciones (Jacob-Levins) que define por calculo matricial la red efectos entre todos los componentes del modelo (**Tabla 55**).

El cálculo estabilidad/inestabilidad en el Modelo 1 (M1) arrojó 2.187 posibles escenarios dinámicos, con 40 de ellos ajustándose a los criterios de estabilidad local de Routh-Hurtwitz 1 (RH1) o condición de equilibrio del sistema. Sin embargo, sólo 18 escenarios (0,82 % del total) cumplieron los tres criterios de estabilidad, i.e., RH1, Routh-Hurtwitz 2 (RH2) o equilibrio no oscilatorio y Levins o equilibrio holísticamente sostenible (*fn*).
La abstracción del sistema acuicultura-ambiente en etapa inicial de cultivo con macroalgas y mitílidos en crecimiento sin restricciones presentada en M1 mostró que el cultivo es sostenible en un escenario de máxima estabilidad (bajo los tres criterios) sólo si los organismos incrustantes Fouling, los Suspensívoros sésiles, el Banco emergente bajo el cultivo y los Detritívoros oportunistas mantienen auto-retroacciones negativas, i.e., mantienen un crecimiento estable o entre *K* y *K/2*. En este escenario, las poblaciones de Anfípodos herbívoros mantienen una AR positiva o crecimiento sin restricciones aparentes ya que el potencial inicial de productividad de las macroalgas asegura crecimiento. Por último, el zooplancton y el fitoplancton deberán mantener auto-retroacciones tanto negativas (crecimiento oscilatorio entre *K* y *K/2* o capacidad de carga) o bien = 0 (cercanas al equilibrio).

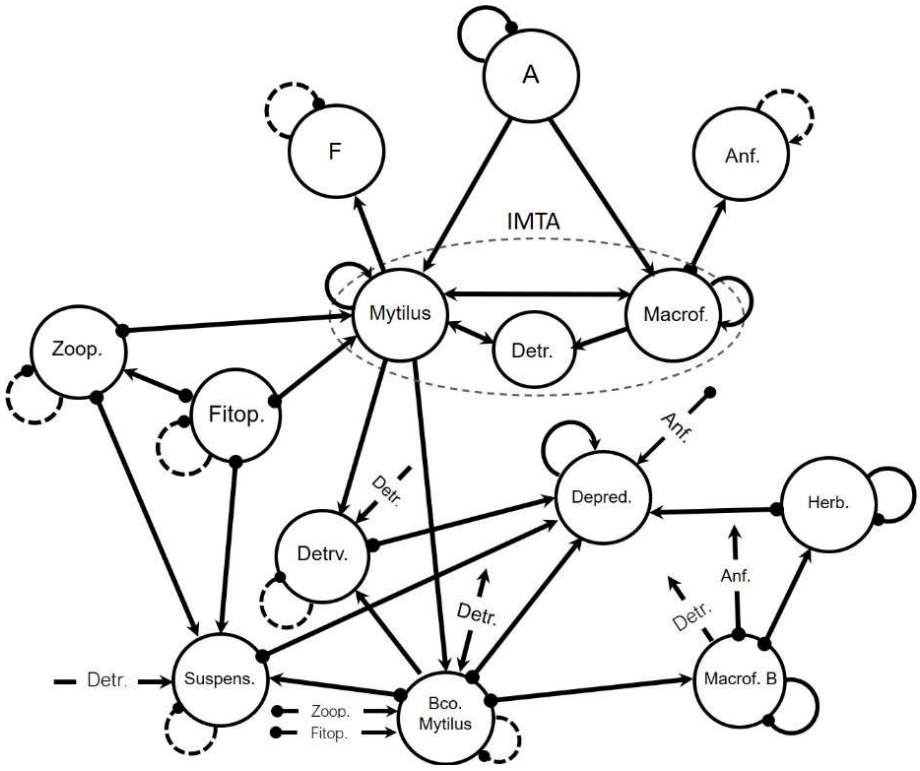


Figura 176. Modelo cualitativo de redes que representa las relaciones de un cultivo mixto a pequeña escala en crecimiento inicial dentro del ecosistema circundante. Las flechas indican interacciones que son positivas, mientras que círculos sólidos (—●) indican un efecto negativo. Depredación (●—→), Comensalismo (⟶), Autorretroacción negativa (—●) y Autorretroacción positiva (→).

Tabla 55.
Matriz de interacciones (Jacob-Levins) Caso 1. Co-cultivo mitílidos-macroalgas. Escenario cultivo inicial. Casillas coloreadas indican todas las auto-retroacciones incógnitas.

M1	A	F	Anf.	Mytikus	Macroal.	Detrit.	Zoop	Fitop	Depred.	Suspens.	Bco. myt	Macroalg	Herb.	Detrv.
A	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	?	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anf.	0	0	?	0	1	0	0	0	-1	0	0	1	0	0
Mytikus	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Macroal.	1	0	-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Detrit.	0	0	0	1	1	0	?	0	0	0	0	1	0	0
Zoop	0	0	0	-1	0	0	0	?	0	-1	0	0	0	0
Fitop	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
Depred.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Suspensiv.	0	0	0	0	0	1	1	1	-1	?	1	0	0	0
Bco. mytilus	0	0	0	1	0	1	0	0	-1	-1	?	-1	0	0
Macroalg B.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	0
Herb.	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	-1	0
Detrv.	0	0	0	1	0	1	0	0	-1	0	1	0	0	?

MODELO 2. CULTIVO EN CRECIMIENTO FINALY COSECHA

Durante la fase final de crecimiento y eventual cosecha, el Acuicultor muestra AR (+) lo que representa la obtención de toda la biomasa y los retornos del cultivo establecidos previamente. De acuerdo a esto, la relación del acuicultor con el cultivo se ajusta a relaciones de pastoreo (+/-), con el efecto positivo de la cosecha (y retorno económico) sobre el acuicultor, pero, con efectos letales sobre estos organismos. De acuerdo a esto, también aparece un efecto negativo del acuicultor sobre el fouling (o remoción del sustrato de fijación) pero con efectos nulos para el cultivador. El efecto negativo del acuicultor sobre el fouling difiere del efecto sobre los anfípodos, debido a que los anfípodos pueden "escapar" (migración) hacia otras algas dentro del ecosistema circundante (incluido aquí como el efecto de pastoreo de Anf. sobre macroalgas bentónicas, [+/-]). Sin embargo, tanto los mitílidos, las macroalgas, el fouling y los anfípodos presentan AR (-) ya que su crecimiento se encuentra cercano a un equilibrio y, por lo tanto, existe mayor denso-dependencia intraespecífica (+/-). El fouling sigue afectando negativamente, en particular, a los mitílidos por el efecto de uso del sustrato biogénico y competencia por recursos, similar al pastoreo (+/-). A medida que avanza la cosecha, el fouling establece relaciones positivas (0/+) con los detritívoros oportunistas (e.g. el camarón de los canales, *M. gregaria*) y el banco emergente de mitílidos bajo el cultivo, a través del desprendimiento masivo de individuos durante labores de cosecha. Por último, el aumento de biomasa del fouling ahora está sujeta a la depredación local (i.e., peces crípticos o crustáceos bentónicos que usualmente trepan o se asientan sobre el cultivo [-/+]). La cosecha de macroalgas establece relaciones positivas con el pool ambiental de detritus, por ejemplo, por destrucción y desprendimiento de frondas (0/+). El detritus ambiental sigue interaccionado positivamente con los mitílidos hasta su remoción, pero el retiro sistemático de mitílidos ha reducido la producción de fecas y pseudofecas hasta valores cercanos a cero que de otra forma alimentarían el pool ambiental (0/-). Las interacciones de pastores (+/-) entre los mitílidos y el fito y zooplancton (+/-) y entre el zoo y fitoplancton continúan durante la cosecha, así como, aquellas entre estos microorganismos y los suspensívoros sésiles y el banco emergente. El desprendimiento de mitílidos tiene efectos positivos inmediatos sobre los suspensívoros sésiles por la introducción de detritus orgánico y nuevos individuos al banco emergente. A su vez, en el sistema bentónico bajo el cultivo, tanto, los detritívoros oportunistas como los suspensívoros sésiles y el banco emergente mantienen su interacciones depredador-presa con depredadores bentónicos (-/+) y tanto éstas como las relaciones entre los grupos de invertebrados y macroalgas bentónicas funcionan de la misma manera que en el Modelo 1 o inicial, con excepción de la depredación sobre anfípodos, en esta fase del cultivo, por depredadores asociados (+/-) que aprovechan el aumento de población de éstos y su pastoreo (por migración) sobre las macroalgas bentónicas.

Este modelo busca establecer escenarios de equilibrio incluyendo incógnitas en las auto-retroacciones que promuevan mayor o menor estabilidad en las variables Fouling, Anfípodos pastoreadores, Detritívoros sésiles, Zooplancton, Fitoplancton, Suspensívoros sésiles, Banco Emergente, Herbívoros y Detritívoros oportunistas (**Tabla 56**).

En el Modelo 2 (M2), se obtuvieron 19.683 escenarios de estabilidad/inestabilidad, con 376 escenarios (1,9 % del total) de estabilidad bajo los tres criterios (i.e., RH1, RH2 y Levins). En un modelo de

cosecha en donde macroalgas y mitílidos se encuentran en su máximo crecimiento la sustentabilidad del cultivo dentro del ecosistema será alcanzada sólo si el Fouling, los Anfípodos pastoreadores, el Detritus, el Zooplancton, el Fitoplancton, los Suspensívoros sésiles, el Banco emergente, los Herbívoros y Detritívoros mantienen auto-retroacciones negativas, i.e., poblaciones con crecimiento oscilando entre *K* y *K*/2. De la misma manera el pool de Detritus natural, el zoo y fitoplancton cumplirán criterios de estabilidad si también mantienen abundancias cercanas a un equilibrio dinámico de abundancia intermedia (= 0).

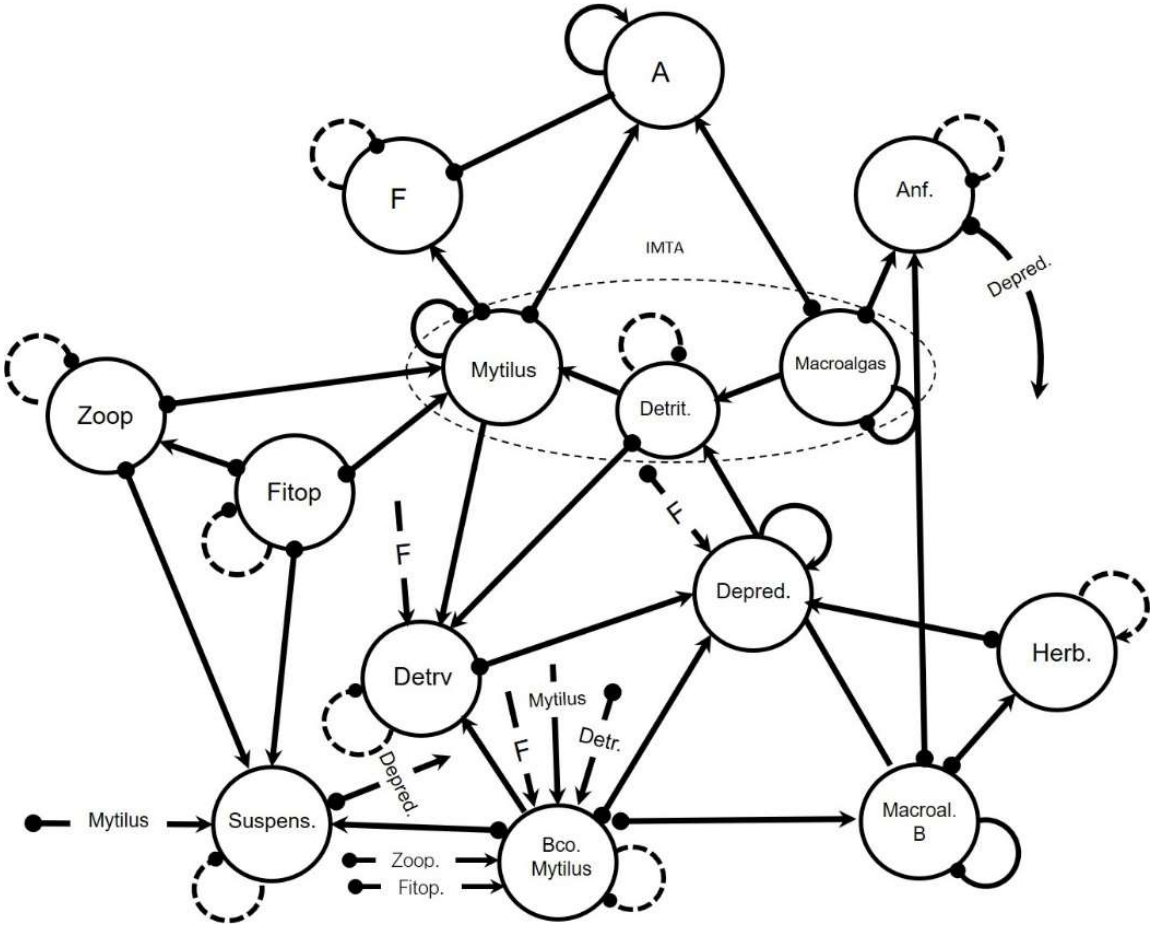


Figura 177. Modelo cualitativo de redes que representa las relaciones de un cultivo mixto a pequeña escala en crecimiento final y cosecha dentro de un ecosistema circundante. Las flechas indican interacciones que son positivas, mientras que círculos sólidos (—●) indican un efecto negativo. Depredación (●⟶), Comensalismo (⟶), Autorretroacción negativa (—●) y Autorretroacción positiva (⟶).

Tabla 56.

Matriz de interacciones (Jacob-Levins) Caso 2. Co-cultivo mitílidos-macroalgas. Escenario Cosecha. Casillas coloreadas indican todas las auto-retroacciones incógnitas.

M2	A	F	Anf.	Mytikus	Macroal.	Detrit.	Zoop	Fitop	Depred.	Suspens.	Bco. myt	Macroalg	Herb.	Detrv.
A	1	-1	-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	?	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anf.	0	0	?	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mytikus	-1	-1	0	-1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Macroal.	-1	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Detrit.	0	0	0	0	0	?	0	0	0	0	0	0	0	0
Zoop	0	0	0	-1	0	0	?	1	0	-1	0	0	0	0
Fitop	0	0	0	-1	0	0	-1	?	0	1	0	0	0	0
Depred.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Suspensiv.	0	0	0	0	0	1	1	1	-1	?	1	0	0	0
Bco. mytilus	0	0	0	1	0	1	0	0	-1	-1	?	-1	0	0
Macroalg B.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	0
Herb.	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	?	0
Detrv.	0	0	0	1	0	1	0	0	-1	0	1	0	0	?

MODELO 3 ESCENARIO POSTCOSECHA Y "APROVECHAMIENTO"

En este escenario, el acuicultor ya con un cultivo "vacío", vuelve a presentar una AR (-) debido a que el esfuerzo de cultivo está controlado por la temporalidad del mercado postcosecha (en estado estacionario), la eventual disponibilidad de productores de "semillas" y la re-implementación logística de un nuevo ciclo de "siembra" similar al Modelo 1. Estos controladores externos requieren tiempo e inversión dentro de un sistema económico-ecológico con dinámicas no-lineales, similar al de una pesquería bentónica (Ortiz & Levins 2018). Habiendo removido la biomasa y durante la limpieza del sistema de cultivo, el efecto del acuicultor sobre el fouling y los anfípodos vuelve a ser negativo, pero sin efectos sobre el acuicultor (0/-). La re-implementación del cultivo establece efectos positivos para las semillas de ambas especies que son introducidas para el siguiente ciclo de cultivo (0/-). Las relaciones entre *M. chilensis*, el fitoplancton, el zooplancton y de estos componentes se mantienen similares a los modelos anteriores, con la salvedad de que el input de individuos de *M. chilensis* sobre los detritívoros oportunistas y el banco emergente permanecerían, al menos en esta etapa de siembra, cercanas a 0. Así mismo, el detritus alimenta las semillas de *M. chilensis* especialmente en fases tempranas de crecimiento con una relación de pastoreo de los mitílidos sobre éste y el banco emergente (+/-) y detritívoros oportunistas. También, se mantienen interacciones de depredación (+/-) sobre detritívoros oportunistas, suspensívoros sésiles, herbívoros (y de éstos por pastoreo sobre las macroalgas bentónicas [*/-]) y el banco emergente bajo el cultivo. A su vez, el pastoreo de los anfípodos sobre macroalgas bentónicas se mantiene cercana al cero, ya que las poblaciones de estas especies permanecen con muy baja densidad, principalmente por estacionalidad. Por último, en esta etapa, el Acuicultor puede obtener beneficios del banco emergente, tanto para, suplir necesidades de subsistencia o, generalmente, aumento de ingresos durante la temporada de crecimiento del cultivo en un escenario de "aprovechamiento" del banco e invertebrados asociados. Este efecto toma la forma

de pastoreo o depredación (+/-) sobre organismos que usan el sustrato biogénico del banco (*L. albus*, *M. planatus*, *C. plebejus*), así como, el mismo sustrato biogénico (*M. chilensis*, *A. atra*, *Choromytilus chorus*).

En este modelo los escenarios de equilibrio fueron explorados incluyendo incógnitas en las AR del Acuicultor los Suspensívoros sésiles, el Banco Emergente y los Detritívoros oportunistas (**Tabla 57**).

El Modelo 3 (M3) de postcosecha con aprovechamiento del banco emergente y especies comerciales que crecen sobre éste, arrojó un total de 81 escenarios, de los cuales, sólo cuatro (4,9% del total de escenarios) cumplieron con los tres criterios de equilibrio. Estos escenarios sugieren que un equilibrio sostenible en donde el acuicultor podría mantener algún nivel de explotación de invertebrados comerciales bajo el cultivo debe considerar una AR (-) o cero para el Acuicultor, i.e., el acuicultor debe explotar de manera que permita el crecimiento entre K y K/2 o bien una "dependencia" del banco emergente sobre el cual se desarrolla el cultivo. Este equilibrio también puede darse en un estado cercano al equilibrio dinámico (AR = 0) lo cual significa que valores de explotación deben ser intermedios. Los Suspensívoros sésiles deben presentar abundancias medias (AR = 0) o bien crecimiento no restrictivo (AR+), lo cual, implica que el sustrato que permite su desarrollo compuesto por las especies estructuradoras de hábitat del banco emergente (*M. chilensis*, *A. atra, C. chorus*), debería mantenerse dentro de un crecimiento oscilatorio entre *K* y *K/2*, asegurando la persistencia la comunidad de Suspensívoros sésiles y Detritívoros que lo habita.

Tabla 57.
Matriz de interacciones (Jacob-Levins) Modelo 3 Co-cultivo mitílidos-macroalgas. Escenario Postcosecha (Aprovechamiento). Casillas coloreadas indican todas las auto-retroacciones incógnitas.

M3	A	F	Anf.	Mytikus	Macroal.	Detrit.	Zoop	Fitop	Depred.	Suspens.	Bco. myt	Macroalg	Herb.	Detrv.
A	?	-1	-1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
F	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anf.	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mytikus	-1	-1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Macroal.	-1	0	-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Detrit.	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
Zoop	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0
Fitop	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0
Depred.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Suspensiv.	0	0	0	0	0	1	1	1	-1	?	1	0	0	0
Bco. mytilus	-1	0	0	0	0	1	0	0	-1	-1	?	-1	0	0
Macroalg B.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	0
Herb.	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	1	0
Detrv.	0	0	0	1	0	1	0	0	-1	0	1	0	0	?

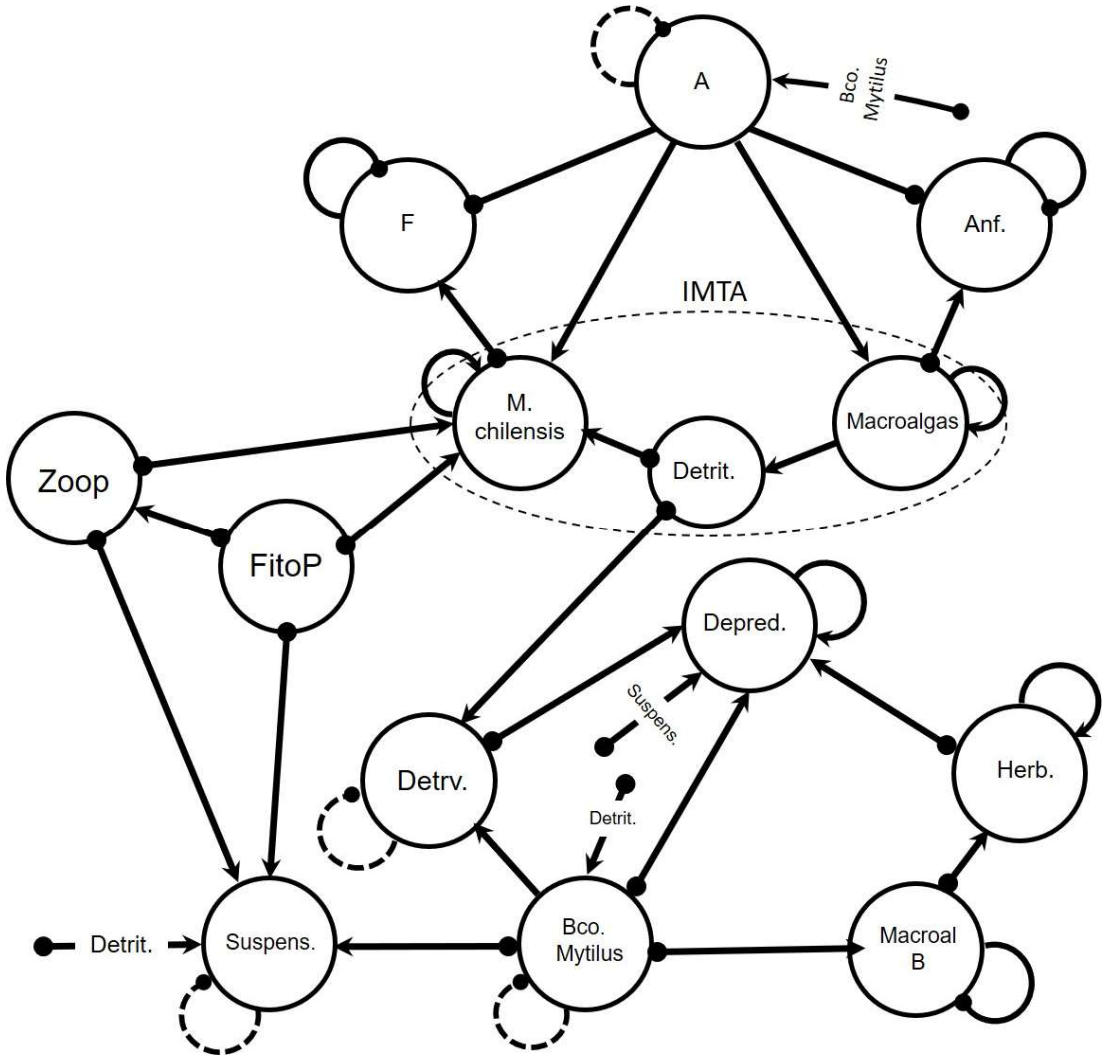


Figura 178. Modelo cualitativo de redes que representa las relaciones de un cultivo mixto a pequeña escala durante la etapa de post-cosecha y aprovechamiento del ecosistema bentónico por el acuicultor. Se muestran las interacciones con el ecosistema circundante. Las flechas indican interacciones que son positivas, mientras que círculos sólidos (—●) indican un efecto negativo. Depredación (●⟶), Comensalismo (⟶), Autorretroacción negativa (—●) y Autorretroacción positiva (⟶).

5.11.4. Caso 3. Repoblación de huiro palo en comunidad de fondos blanqueados

En los sistemas costeros marinos, los fondos blanqueados se caracterizan por un predominio de algas calcáreas incrustantes y por una alta densidad de erizos de mar, y se consideran un estado estable alternativo de sistemas colapsados debido al sobrepastoreo de erizos de mar que originalmente estaban dominados por macroalgas formadoras de dosel (Piazzi & Ceccherelli 2019, Petraitis & Dudgeon, 2004; Filbee-Dexter & Scheibling, 2014). La aparición y la persistencia de estos sistemas representan un fenómeno de expansión en muchas partes del mundo (Feehan et al., 2012; Filbee-Dexter & Scheibling, 2014; Perreault et al., 2014). Este fenómeno puede ser una consecuencia de las fluctuaciones naturales del reclutamiento de erizos de mar, pero puede estar relacionado con otras causas como el calentamiento global (Ling et al., 2009) o la sobrepesca de depredadores naturales de erizos de mar, que pueden alterar los mecanismos reguladores naturales del mar (Shears & Babcock, 2003).
La AMERB Chungungo B presentaba en su ESBA, una pradera de *L. trabeculata*, que luego de presiones antrópicas fue degradado al punto de desaparecer, dando paso a un ecosistema de fondos blanqueados. Para determinar cuáles acciones de manejo, desde el punto de vista teórico, son pertinentes para desestabilizar el sistema de fondos blanqueados y permitir una recuperación de esta pradera se realizó el modelamiento considerando datos obtenidos en la evaluación de comunidades y censo de peces. Para el modelamiento se estableció como incógnita todas las auto-retroacciones excepto la variable *L. trabeculata*, con el objetivo de determinar la condición ideal de las variables en los distintos escenarios de manejo establecidos.

MODELO INICIAL

Para construir el modelo inicial se consideraron las especies identificadas en el área de estudio. Luego se determinaron grupos funcionales que constituyeron, finalmente, las variables. La definición de grupos funcionales se basa en biología y taxonomía similares (e.g., estrellas, rodófitas) o roles ecológicos que desempeñaron (e.g., peces carnívoros) y nivel trófico. También se incluyen grupos funcionales constituidos por 1 especie, debido a la importancia ecológica en el objetivo del modelamiento como *L. trabeculata, Tetrapygus niger y*. *Lithophyllum* spp. (**Tabla 58**). Una vez establecidos los grupos funcionales se identificaron las interacciones entre las variables. Los escenarios de manejo utilizados en la modelación constituyen acciones de manejo factibles de realizar por los socios de la OPA. Debido a que esta modelación busca la inestabilidad del sistema de fondos blanqueados, para el análisis se utilizaron los 10 resultados más inestables y oscilatorios, es decir, no estables (según RH1), altamente oscilatorios (RH2) y no holísticamente estables (Levins). Estos resultados nos muestran las condiciones ideales de cada variable al momento de la ejecución de las acciones de manejo establecidas en cada escenario.

Tabla 58.
Variables incluidas en el modelo inicial. Modelamiento de repoblación de *L. trabeculata* sobre fondos blanqueados, AMER Chungungo B.

Nivel trófico	Grupos funcionales	Abreviatura	Especies
Productores primarios	*Lessonia trabeculata*	LT	*Lessonia trabeculata*
	Rodófitas	Rho	*Gelidium spp*
			Corallina spp
			Hildenbrandia spp
	Lithophyllum spp.	Litho	*Lithophyllum spp.*
Consumidores primarios	Small Epifauna	SE	*Fissurella spp.*
			Turritella cingulata
			Alia unifasciata
			Nassarius gayii
			Argobuccinum pustulosum
			Crassilabrum crassilabrum
			Tegula tridentata
			Fissurella spp.
			Scurria spp.
			Pagurus edwarsi
			Athyonidium chilensis
			Phymanthea pluvia
			Allopetrolisthes spinifrons
			Romaleon setosum
			Rhynchocinetes typus
	Peces herbívoros	HF	*Aplodactylus punctatus*
	Tetrapygus niger	TN	*Tetrapigus niger*
	Pyura chilensis	Py	*Pyura chilensis*
Consumidores terciarios	Peces carnívoros	CF	*Pinguipes chilensis*
			Cheilodactylus variegatus
	Estrellas	Str	*Heliaster helihantus*
			Meyenaster gelatinosum
			Stichaster striatus
	Pesquería	F	Pescadores

Se consideraron 3 variables pertenecientes a productores primarios: 1) *L. trabeculata*: A pesar de ser una especie sésil, el modelo describe la repoblación de esta especie sobre fondos blanqueados, se asume que presenta inicialmente, una densidad baja, y por lo tanto posee una autoretroacción positiva, esta es la única auto-retroacción que se considerará al momento de modelar. Es consumido por peces herbívoros, *T. niger* y especies presentes en el grupo de Small Epifauna. 2): *Lithophyllum* spp. Principalmente establece interacciones de amensalismo con otros productores primarios como Rhodophyta y *L. trabeculata*, esto es por el efecto alelopático sobre el asentamiento de esporas de otras algas. 3) Rhodophyta: Agrupa a especies de rodófitas registradas en la evaluación de comunidades. Son principalmente consumidos por *T. niger*, Small epifauna y peces herbívoros.

Cuatro variables de consumidores primarios fueron incluidas en el modelo. 1) *T. niger*: Especie muy abundante en el área, herbívoro y móvil. Consume las variables que constituyen los productores primarios del sistema: Rhodophyta y *L. trabeculata*. A su vez es presa de las estrellas *Heliaster helianthus* y *Meyenaster gelatinosus*. 2) Small epifauna: Agrupa a 15 especies, entre ellas a *Fissurella spp*. que tiene valor comercial y por lo tanto es potencialmente explotado. También se incluye a herbívoros, por lo tanto, el grupo depreda sobre Rhodophyta y *L. trabeculata*. Además, son presas de peces carnívoros y de las estrellas *H. helianthus* y *M. gelatinosus*. 3) Peces herbívoros: Constituido por *Aplodactylus punctatus* (Jergilla). Depreda sobre productores primarios y es capturado por pescadores. 4) *Pyura chilensis*: En el área de manejo se instaló un cultivo de piure por captación natural. En la EVACOM se detectó el asentamiento de esta especie en el fondo. Debido a que es una especie de interés por parte de los pescadores del área, se incluyó como una variable.
Las 3 variables de consumidores secundarias incluidas fueron: 1) Peces carnívoros: constituidos por dos especies de peces de roca, se incluye como variable ya que existe una pesquería sobre ellos por parte de buzos deportivos. 2) estrellas: constituida por tres especies de estrellas que depredan sobre *T. niger*, Small epifauna y *P. chilensis*. Y finalmente 3) Fishers: Pescadores artesanales, incluidos los pertenecientes a la OPA que explotan recursos bentónicos como algunas especies incluidas en el grupo Small epifauna y eventuales cazadores de pesca deportiva que capturan peces herbívoros y carnívoros.
Con esta información se construyó el dígrafo (**Figura 179**) y la matriz Jacobiana (**Tabla 59**) iniciales.

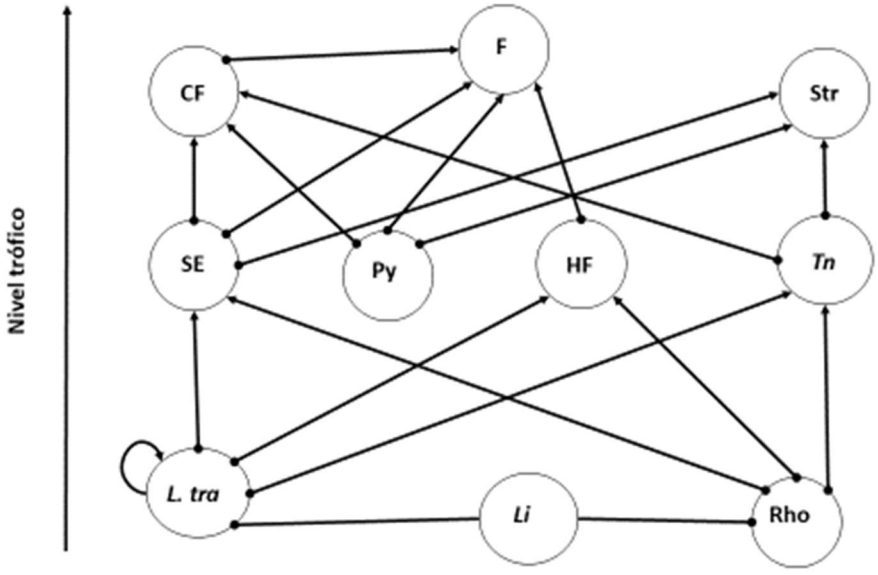


Figura 179. Modelo cualitativo de redes que representa las variables en círculos y las interacciones entre ellas Las flechas indican interacciones que son positivas, mientras que círculos sólidos (—●) indican un efecto negativo. Depredación (●⟶), Amensalismo (—●) y Auto-retroacción positiva (⟶). Las variables están dispuestas según el nivel trófico.

Tabla 59.
Matriz de interacciones (Jacob-Levins) Casillas coloreadas indican todas las auto-retroacciones incógnitas.

	L. tra	**Li**	**Rho**	***Tn***	**SE**	**Py**	**HF**	**CF**	**Str**	**F**
L. tra	1	-1	0	-1	-1	0	-1	0	0	0
Li	0	?	0	0	0	0	0	0	0	0
Rho	0	-1	?	-1	-1	0	-1	0	0	0
Tn	1	0	1	?	0	0	0	-1	-1	0
SE	1	0	1	0	?	0	0	-1	-1	-1
Py	0	0	0	0	0	?	0	-1	-1	-1
HF	1	0	1	0	0	0	?	0	0	-1
CF	0	0	0	1	1	1	0	?	0	-1
Str	0	0	0	1	1	1	0	0	?	0
F	0	0	0	0	1	1	1	1	0	?

ESCENARIOS DE MANEJO Y RESULTADOS

Se seleccionaron 3 acciones de manejo posible de realizar por los socios de la OPA del AMERB, y la combinatoria de ellos (**Tabla 60**). Además, se estableció como se representa la acción de manejo en el modelamiento (**Figura 180**) y los cambios respectivos en la matriz Jacobiana (**Tabla 61**).

Tabla 60.
Escenarios establecidos dependiendo de las acciones de manejo descritas y el modelamiento.

Escenarios	Descripción manejo	Modelamiento
1	Repoblamiento de *L. trabeculata*	Fisher (neutro) a L. tra (positivo)
2	Aumento de estrellas por traslado a área de repoblación	Fisher (neutro) a Star (positivo)
3	Disminuir densidad de *Tetrapygus niger*	Fisher (neutro) a Tn (negativo)
1 + 2	Repoblamiento de *L. trabeculata* y aumento de estrellas por traslado a área de repoblación	Fisher (neutro) a L. tra (positivo) y Fisher (neutro) a star (positivo)
2 + 3	Aumento de estrellas por traslado a área de repoblación y Disminuir densidad de *T. niger*	Fisher (neutro) a Star (positivo) y Fisher (neutro) a Tn (negativo)
1 + 3	Repoblamiento de *L. trabeculata y* Disminuir densidad de *T. niger*	Fisher (neutro) a L. tra (positivo) y Fisher (neutro) a Tn (negativo)
1 + 2 + 3	Repoblamiento de *L. trabeculata* y aumento de estrellas por traslado a área de repoblación y Disminuir densidad de *T. niger*	Fisher (neutro) a L. tra (positivo), Fisher (neutro) a star (positivo) e interacción Fisher (neutro) a Tn (negativo)

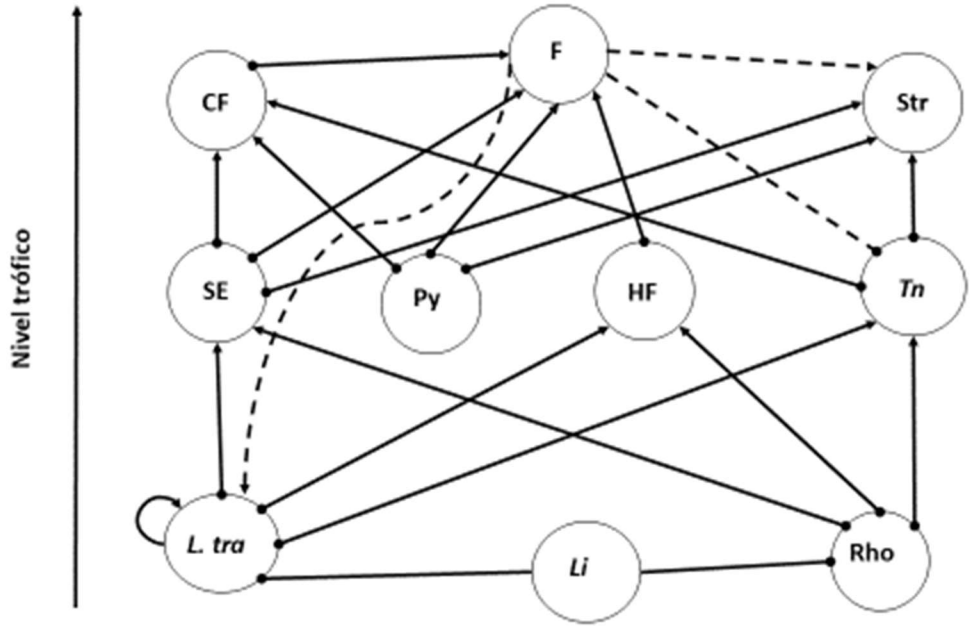


Figura 180. Modelo cualitativo de redes que representa las acciones de manejo modeladas en el análisis (líneas punteadas)

Tabla 61.
Matriz de interacciones (Jacob-Levins) Casillas coloreadas indican todas las auto-retroacciones incógnitas, en azul los cambios que representan las acciones de manejo en el modelamiento.

	L. tra	Li	Rho	*Tn*	SE	Py	HF	CF	Str	F
L. tra	1	-1	0	-1	-1	0	-1	0	0	0/1
Li	0	?	0	0	0	0	0	0	0	0
Rho	0	-1	?	-1	-1	0	-1	0	0	0
Tn	1	0	1	?	0	0	0	-1	-1	0/-1
SE	1	0	1	0	?	0	0	-1	-1	-1
Py	0	0	0	0	0	?	0	-1	-1	-1
HF	1	0	1	0	0	0	?	0	0	-1
CF	0	0	0	1	1	1	0	?	0	-1
Str	0	0	0	1	1	1	0	0	?	0/1
F	0	0	0	0	1	1	1	1	0	?

La matriz inicial arrojó 19.683 resultados de los cuales 2.987 fueron no estables según el criterio de RH1, oscilatorios (criterio RH 2) y no holísticamente estables según Levins (**Tabla 62**). Las condiciones más inestables y oscilantes se dieron cuando las autorretroacciónes de *Lithophyllum* spp. eran negativas en un 70%, sin embargo, en el resto de las variables incógnitas la tendencia es a establecer auto-retroacciones positivas (**Figura 181**).

Tabla 62.
Resultados del modelamiento del modelo inicial. Se indica la frecuencia absoluta y relativa de los resultados según los criterios RH1, RH2 y Levins.

RH 1	RH 2	Levins	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Estable	No Osc.	Holist. Est.	154	0,782401057
	Osc.	Holist. Est.	87	0,442005792
No Est.	No Osc.	Holist. Est.	1819	9,241477417
		Marg.	4171	21,19087537
		No Holist. Est.	1925	9,780013209
	Osc.	Holist. Est.	2852	14,48966113
		Marg.	5688	28,89803384
		No Holist. Est.	2987	15,17553219
Total general			19683	100

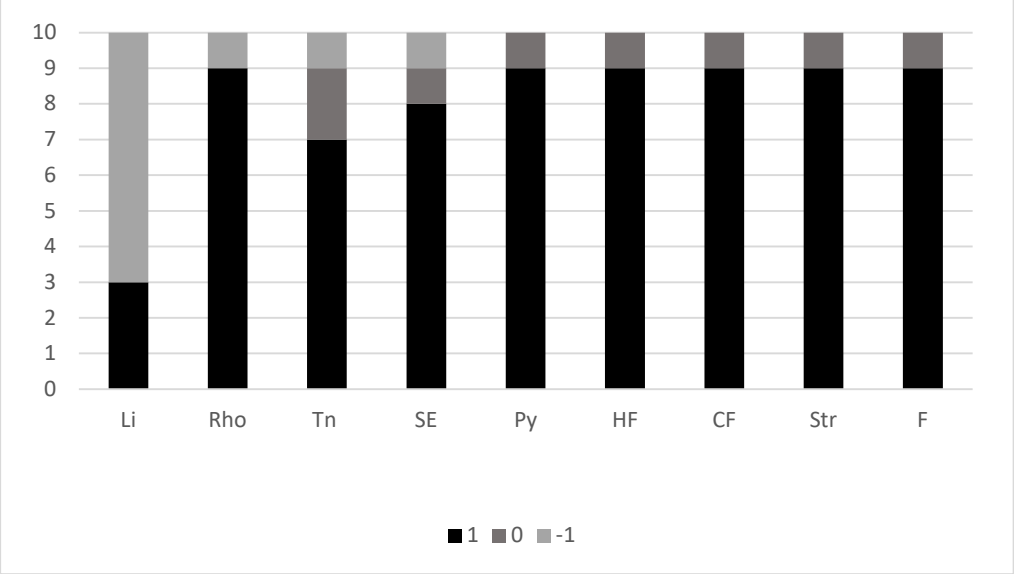


Figura 181. Frecuencia absoluta de las primeras 10 resultados con mayor inestabilidad y oscilación del modelamiento de la matriz inicial sobre las auto-retroacciones de las variables incógnitas. En negro, frecuencia absoluta de auto-retroacciones positivas, en gris oscuro, sin auto-retroacción y en gris claro auto-retroacciones negativas.

Los resultados del modelamiento de los distintos escenarios muestran en términos generales que las auto-retroacciones positivas de las variables incluidas en el modelo tienden a la estabilidad, por lo tanto, la mayoría de los resultados muestran mayor frecuencia de auto-retroacciones positivas.
En los escenarios con acciones de manejo únicas, las variables de *P. chilensis* y peces herbívoros mostraron en los 10 resultados de mayor inestabilidad y oscilación, el 100% de auto-retroacciones positivas. La variable. *Lithophyllum* spp. muestra una proporción entre un 40 a 50% de auto-retroacciones positivas y negativas. El resto de las variables presentan sobre un 70% de frecuencia de auto-retroacciones positiva. La variable Fishers mostro mayor frecuencia de auto-retroacciones positivas (sobre 80%), lo que indica que los pescadores no deberían tener restricciones en su actividad para inestabilidad el sistema en estos escenarios (**Figura 182**).

Los escenarios combinados los resultados fueron más variables. En el escenario de aumento de *L. trabeculata* y aumento de estrellas en el área, las variables *Li*, Rho, *Tn* y SE muestran un 100% de auto-retroacciones negativas, la variable *Py* mostro 50% de auto-retracción negativa. En tanto los peces carnívoros también muestran un porcentaje importante de resultados de auto-retroacciones negativas (70%) En el escenario del aumento de *L. trabeculata* más disminución de *Tn*, las variables *Py*, peces herbívoros y fishers mostraron 100% de auto-retroacciones positivas. El escenario de aumento de estrellas y disminución de Tn, las variables con mayor auto-retroacción positivas fueron *Py*, peces carnívoros, herbívoros y estrellas. En el escenario con las tres acciones combinadas las variables con auto-retroacciones positivas en un 100% fueron los peces herbívoros, carnívoros y estrellas (**Figura 183**).

Los resultados de las auto-retroacciones responden a factores de densodependencia de las variables estudiadas. El signo de las auto-retroacciones tiene relación con la capacidad de carga de las variables en el área estudiada, por ello las auto-retroacciones negativas corresponden a una capacidad de carga entre k/2 y K, en tanto las auto-retroacciones positivas corresponden a capacidad de carga entre 0 y k/2. Por lo tanto, podemos relacionar estos resultados con las abundancias de las variables en el ambiente y con las condiciones ecológicas que llevarían a una inestabilidad del sistema de fondos blanqueados bajo las acciones de manejo seleccionadas en este estudio (**Tabla 63**).

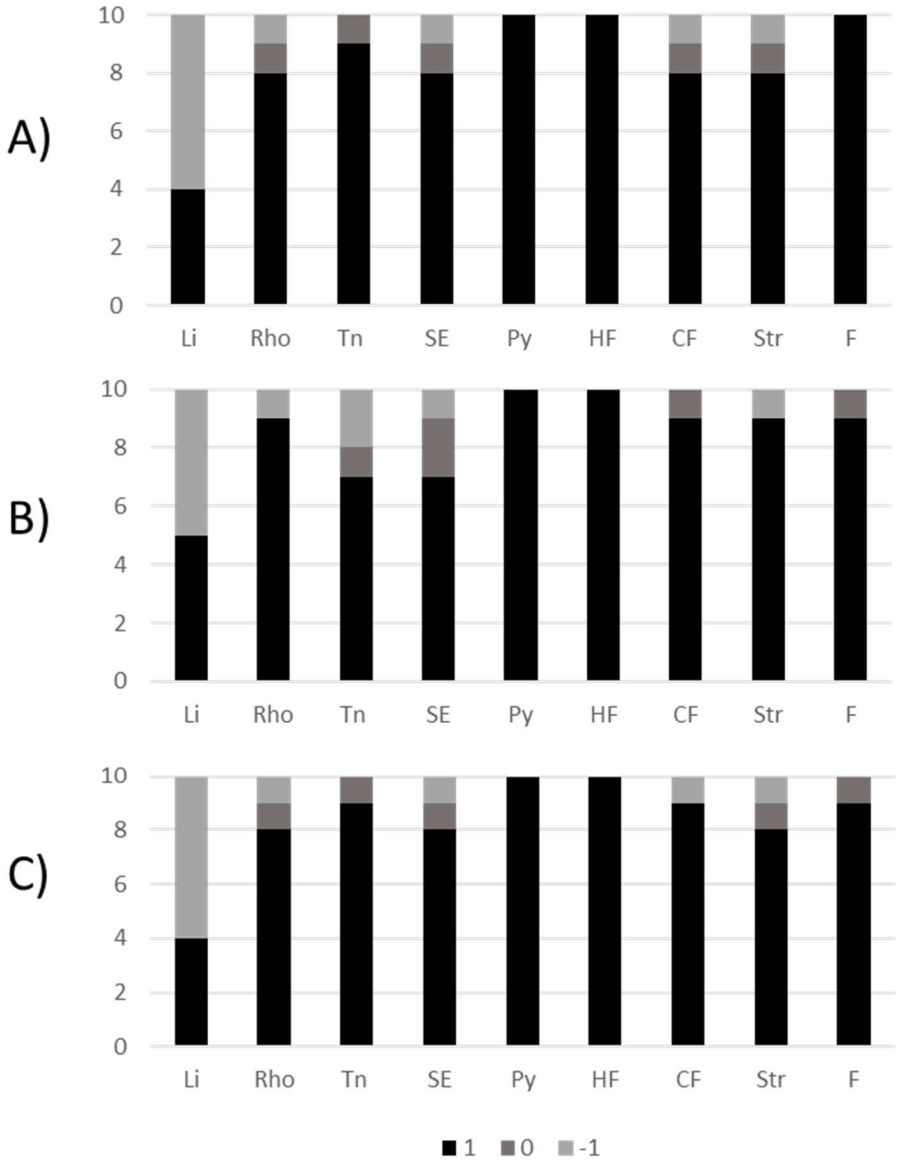


Figura 182. Frecuencia absoluta de las primeras 10 resultados con mayor inestabilidad y oscilación. En negro, frecuencia absoluta de auto-retroacciones positivas, en gris oscuro, sin auto-retroacción y en gris claro auto-retroacciones negativas. A) Escenario 1: repoblación de *L. trabeculata*. B) Aumento de estrellas en el área. C) Disminución de *T. niger*.

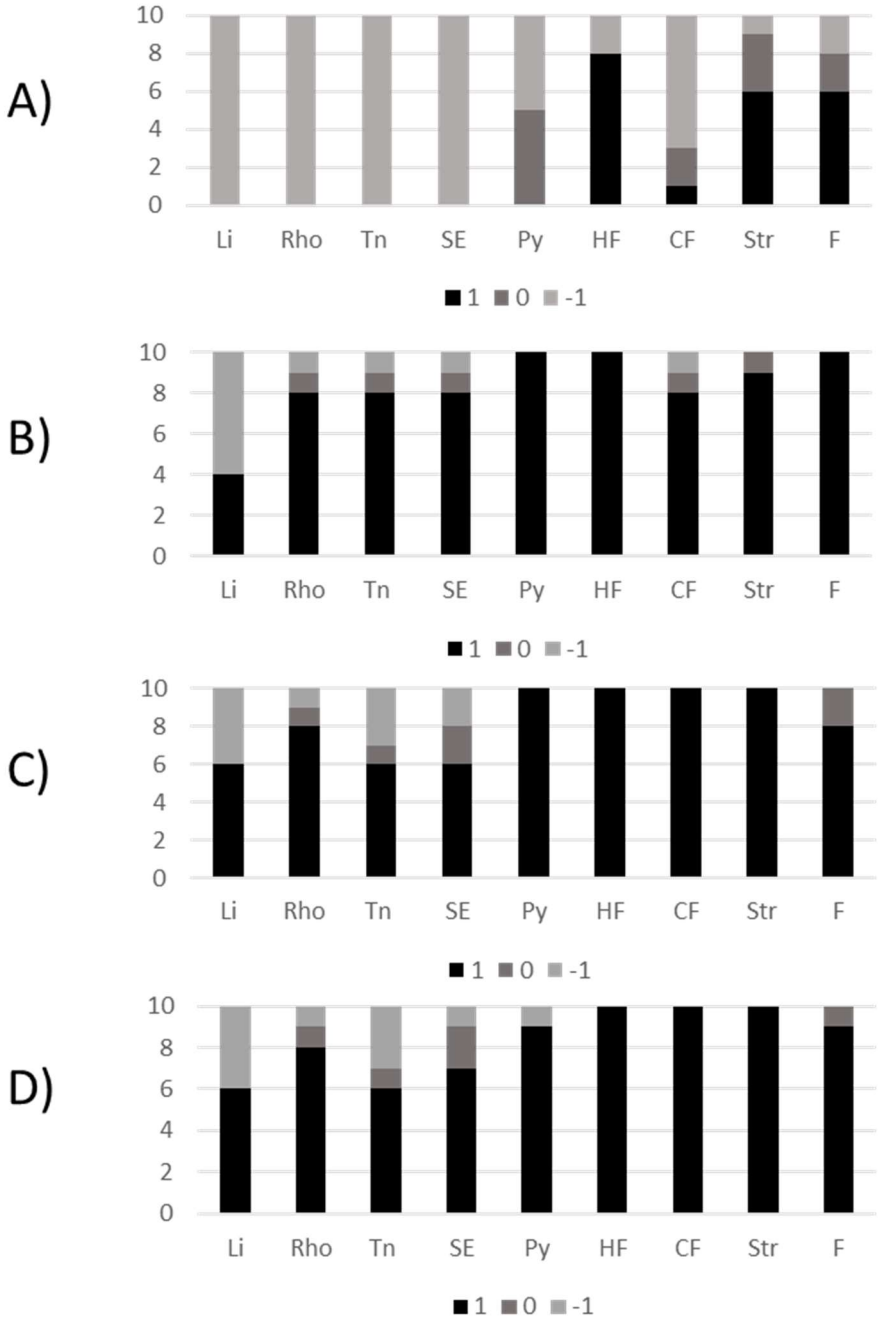


Figura 183. Frecuencia absoluta de las primeras 10 resultados con mayor inestabilidad y oscilación. En negro, frecuencia absoluta de auto-retroacciones positivas, en gris oscuro, sin auto-retroacción y en gris claro auto-retroacciones negativas. A) Escenario 1 y 2, B) Escenario 1 y 3, C) Escenarios 2 y 3, y D) Escenario 1, 2 y 3.

Tabla 63.
Resultados del modelamiento del modelo inicial. Se indica la frecuencia absoluta y relativa de los resultados según los criterios RH1, RH2 y Levins.

Escenarios	Descripción manejo	Modelamiento
1	Repoblamiento de *L. trabeculata*	Baja abundancia de Piure y peces herbívoros. Pescadores sin restricciones
2	Aumento de estrellas por traslado a área de repoblación	Baja abundancia de SE y Peces carnívoros
3	Disminuir densidad de *Tetrapygus niger*	Baja abundancia de Piure y peces herbívoros.
1 + 2	Repoblamiento de *L. trabeculata* y aumento de estrellas por traslado a área de repoblación	Baja abundancia Tn y peces herbívoros. Pescadores sin restricción
2 + 3	Aumento de estrellas por traslado a área de repoblación y Disminuir densidad de *T. niger*	Baja abundancia de pyure y pescadores sin restricción
1 + 3	Repoblamiento de *L. trabeculata y* Disminuir densidad de *T. niger*	Baja abundancia de Piure y peces herbívoros. Pescadores sin restricciones
1 + 2 + 3	Repoblamiento de *L. trabeculata* y aumento de estrellas por traslado a área de repoblación y Disminuir densidad de *T. niger*	Baja abundancia de Piure y peces herbívoros. Pescadores sin restricciones

5.12. Evaluación del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas

5.12.1. Impacto ambiental de la acuicultura de bivalvos

La acuicultura de especies de ingenieros de ecosistémicos como ostras y mitílidos, contribuye con aproximadamente 17 millones de toneladas a la producción acuícola mundial (FAO, 2020). Esta industria representa la segunda fuente de productos marinos derivados de acuicultura después de los peces, por lo tanto, tiene importantes implicaciones socioeconómicas (Wijsman et al.2019, FAO 2020). En la naturaleza, la presencia de bancos de ostras y mitílidos es responsable de la creación, modificación y persistencia de hábitats biogénicos, aumentando la diversidad a nivel del paisaje (Jones et al. 1994, Bruno & Bertness 2001, Norling & Kautsky 2008). Cuando estas especies son cultivadas de manera intensiva han demostrado generar tanto impactos como servicios al ecosistema (Rullens et al.2019, Strand & Ferreira 2019). La acuicultura de bivalvos impacta los ecosistemas bentónicos a través de la acumulación de biodepósitos que generalmente llevan al enriquecimiento orgánico, anoxia (Mckindsey et al. 2013 y referencias en el mismo) y una posterior pérdida de diversidad del fondo (Pearson & Rosenberg 1978, Hartstein & Rowden 2004, Gallardi 2014). Sin embargo, la evidencia disponible sugiere que el alcance de los impactos negativos puede depender del tamaño de la operación de acuicultura y de factores oceanográficos predominantes, como la topografía, la profundidad y la dinámica de las corrientes (Gallardi 2014). En hábitats con suficiente velocidad de corriente, los biodepósitos pueden dispersarse amortiguando los efectos negativos sobre las comunidades bentónicas (Crawford et al.2003, Macleod et al.2004, Zhang et al.2009, Ren et al.2014, Walls et al.2017, Lacoste et al.2018). Por otro lado, el desprendimiento continuo de bivalvos contribuye con procesos de estructuración biogénica bajo los cultivos transformando un ambiente bidimensional (e.g., hábitats de sedimentos blandos) en un hábitat tridimensional de mayor complejidad (Bruno & Bertness 2001, Bruno et al.2003, Bertolini et al.2018, Strand & Ferreira 2019).

Las estructuras biogénicas surgen de las actividades de un organismo (e.g., madrigueras creadas por cangrejos o poliquetos) o se crean por procesos de agregación de conespecíficos. Ejemplos de este tipo de agregaciones son, bosques de manglares, praderas de pastos marinos, jardines de esponjas, bosques de algas pardas y arrecifes de ostras y mitílidos (Bruno et al., 2001). Estas agregaciones generan servicios de regulación como la disminución de partículas de detritus inorgánico e orgánico, pero también fitoplancton y zooplancton (Gedan et al.2014, Petersen et al.2014, Rullens et al.2019), además de nutrientes y contaminantes (Petersen et al.2014, Rullens et al.2019). También, generan servicios de sustento como la adición de sustrato biogénico, que aumenta los espacios inter-estructurales atrayendo una variedad de organismos móviles y sésiles que pueden mantener la riqueza local (Witman 1985, Tokeshi & Romero 1995, Bruno & Bertness 2001, Gentry et al. 2018, Bertolini et al.2018). En este contexto, las capacidades que posee la acuicultura de bivalvos para promover servicios ecosistémicos más allá de la producción de bienes son cada vez más reconocidas (Gutiérrez et al.2003, Gentry et al.2018, Smaal et al.2018, Alleway et al.2018). En un ambiente cada vez más intervenido y perturbado por actividades antrópicas la recuperación y conservación de funciones del ecosistema es clave para la persistencia de los sistemas naturales que sostienen actividades productivas como la pesca y la acuicultura. Sin embargo, la agregación de conespecíficos desde

cultivos de mitílidos y ostras como organismos formadores de hábitat ha sido poco reconocido (pero con contribuciones notables, Kirk et al.2007, D'Amours et al.2008, Norling & Kautsky 2008, Wong & O ' Shea 2011, Lacoste et al.2018, Rullens et al.2019, Sardenne et al.2019).

Chile, contribuye con el 2% de la producción mundial de mitílidos), convirtiéndose en el segundo mayor exportador después de China en 2018 (FAO 2020). El 97% de esta producción se cultiva a lo largo de canales y ensenadas en el mar interior de la Región de Los Lagos (González-Poblete et al. 2018). La acuicultura de mejillón en esta región ha mostrado una rápida expansión durante las últimas décadas comenzando con 20.000 toneladas en el año 2000 a 402.000 toneladas en el 2018 (SERNAPESCA 2018). El crecimiento comercial ha sido posible con apoyo en investigación, insumos e incentivos gubernamentales a la investigación, inversionistas, emprendedores y asociaciones de agricultores locales: Este apoyo local ha sido complementada con inversión privada de la industria salmonera y pesquera. Hoy en día, la acuicultura de mitílidos es una de las actividades más conspicuas en los márgenes costeros del sur de Chile. En términos de magnitud, González-Poblete et al. (2018) clasificaron las granjas de cultivo como Micro (0-1 há.), Pequeña (1-3 há.), Mediana (3-8 há.) y gran escala (8-30 há.). Llama la atención que aproximadamente el 67% de la producción es llevada a cabo en cultivos de micro y pequeña escala (González-Poblete et al. 2018). Actualmente, aproximadamente 800 granjas se encuentran dispersas en toda la región (Crowley 2020), ya sea como, pequeñas granjas aisladas o conglomerados con docenas de ellas.

En términos administrativos, la legislación chilena prohíbe el cultivo sobre bancos naturales tanto para concesiones de acuicultura como para MEABR. Esta medida debe ser avalada con un estudio ambiental de referencia de carácter obligatorio y promulgado en el artículo 19, D.S. N ° 320/01; del Reglamento Ambiental para la Acuicultura (Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción 2001), que evalúa las condiciones de salud del fondo en una concesión considerando los niveles de Redox (mV), pH y O2 (mg l-1). Debido a estas regulaciones, la mayoría de las granjas de mitílidos se ubican frecuentemente sobre los amplios páramos de sustratos “monótonos” de “fondo blando”, (aunque este estudio evidenciará la diversidad de hábitats asociados) que son característicos de los sistemas marinos interiores de la Región de Los Lagos (Jara & Céspedes 1994). Estos dominios representan un vasto espacio marino que puede ser modificado por estructuración biogénica dada la presencia de una extensa red flotante de granjas de mitílidos. Dado que el establecimiento de bancos parece requerir solo la presencia de individuos de la especie (Wilcox et al.2017, Wilcox & Jeffs 2017), el estado de esta interacción acuicultura-ambiente es poco conocida, tanto en términos de impacto, como de otros efectos sobre la fauna bentónica.

Dada la relevancia que la micro y pequeña acuicultura de mitílidos representa para las personas y los ecosistemas, este trabajo presenta seis casos de estudio en el mar interior de Chiloé en la Región de Los Lagos. Aquí, se inspeccionaron los hábitats bentónicos bajo granjas de bivalvos de microescala (~ 200 ton año-1), meso-escala (~300 - 500 ton año-1) y gran escala (> 1.500 ton año-1) luego de entre 13-16 años de cultivo continuo.
El estudio busca probar las siguientes premisas (1) el desprendimiento de bivalvos puede fomentar la creación de hábitats biogénicos modificando la composición del sustrato primario bajo de las granjas,

(2) este sustrato puede beneficiar a la comunidad epibentónica local aumentando la riqueza de especies, (3) el cambio en la estructura de la comunidad podría caracterizarse por que las funciones de las especies observadas difieren de especies típicas de fondos con impactos por bioacumulación, y (4) la escala de cultivo puede afectar (2) y (3). Los resultados se discuten considerando las implicaciones contrastantes como el manejo de cosecha y la conservación de un potencial hábitat emergente.

5.12.2. Resultados evaluación período 2020-2021

En la **Figura 184** se muestran los 6 sitios de estudio incluidos en la presenta etapa.

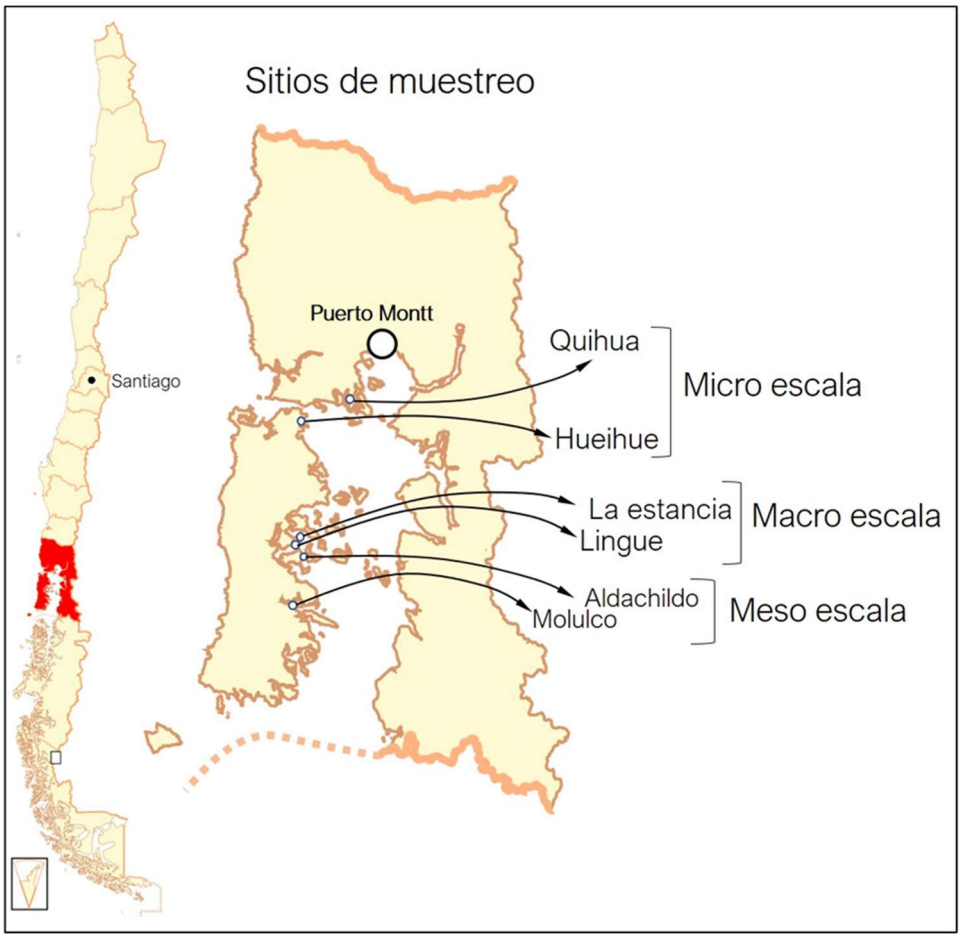


Figura 184. Mapa con ubicación y clasificación de los 6 sitios de estudio.

5.12.2.1. Hidrodinámica de los sitios de estudio

El Canal Quihua mostró valores de velocidad de corriente promedio de 22.2 cm s^{-1}, mientras que en Hueihue la velocidad promedio alcanzó 6.2 cm s^{-1}. El sitio de Aldachildo mostró una velocidad promedio entre 5 – 6 cm s^{-1}, mientras que en el sitio-estero en Molulco mostró ~ 5 cm s^{-1}. Lingue y La estancia (Sector de Rilán) mostraron velocidades 4 – 5 cm s^{-1}.

5.12.2.2. Sustrato biogénico

La mayor parte del sustrato biogénico bajo los sitios de cultivo (**Figura 185**) estuvo compuesto por mitílidos vivos (incluyendo también *Aulacomya atra*, *Tiostrea chilensis* y la lapa *Crepipatella* sp.) adheridos por biso formando parches de extensión variable (centenares o decenas de metros), o bien, conglomerados de menor tamaño (decenas de cm) dominados mayoritariamente por *Mytilus chilensis* (**Figura 185**). Sin embargo, dada la gran diversidad de ambientes estudiados otros componentes conspicuos del sustrato fueron: Sustrato mixto (i.e., mezcla de trozos de conchas de bivalvos, gastrópodos, guijarros, arena y sedimentos), sustrato rocoso y fondo blando (**Figura 185**).

Esta variación en la composición de sustrato entre sitios de micro, meso y macroescala se visualizó con una ordenación de escalamiento multivariado (MDS; **Figura 185A** y **B**). Se prefirió esta técnica en vez de una Ordenación de Componentes Principales (PCO) debido a que la naturaleza no-lineal de los datos (efecto "herradura") hace más adecuada una ordenación basada en ranqueo de datos, en vez de los requisitos de linealidad del PCO. De acuerdo a un análisis de ANOVA Permutacional (PERMANOVA) existieron diferencias significativas entre los lugares con diferente escala de cultivo ($p(PERM) < 0.01$) el test de similaridad promedio indicó que la dispersión espacial de las muestras de sustratos asociados a sitios con acuicultura a pequeña escala presentaba una composición diferente a los sitios de meso y macroescala, los cuales, presentaron una mayor similitud.

M. chilensis mostró una cobertura de hasta un 54% bajo centros de cultivo, destacando el sitio APE de Bahía Hueihue, mientras que el sustrato blando y sustratos mixtos dominaron en los sitios de referencia en las áreas aledañas a los cultivos. Variaciones en la ubicación específica de los sitios de monitoreo y/o dinámica del fondo fue representada por la aparición de sustrato rocoso en Molulco, Lingue y La Estancia, durante el monitoreo de marzo del 2021. (**Figura 186**).

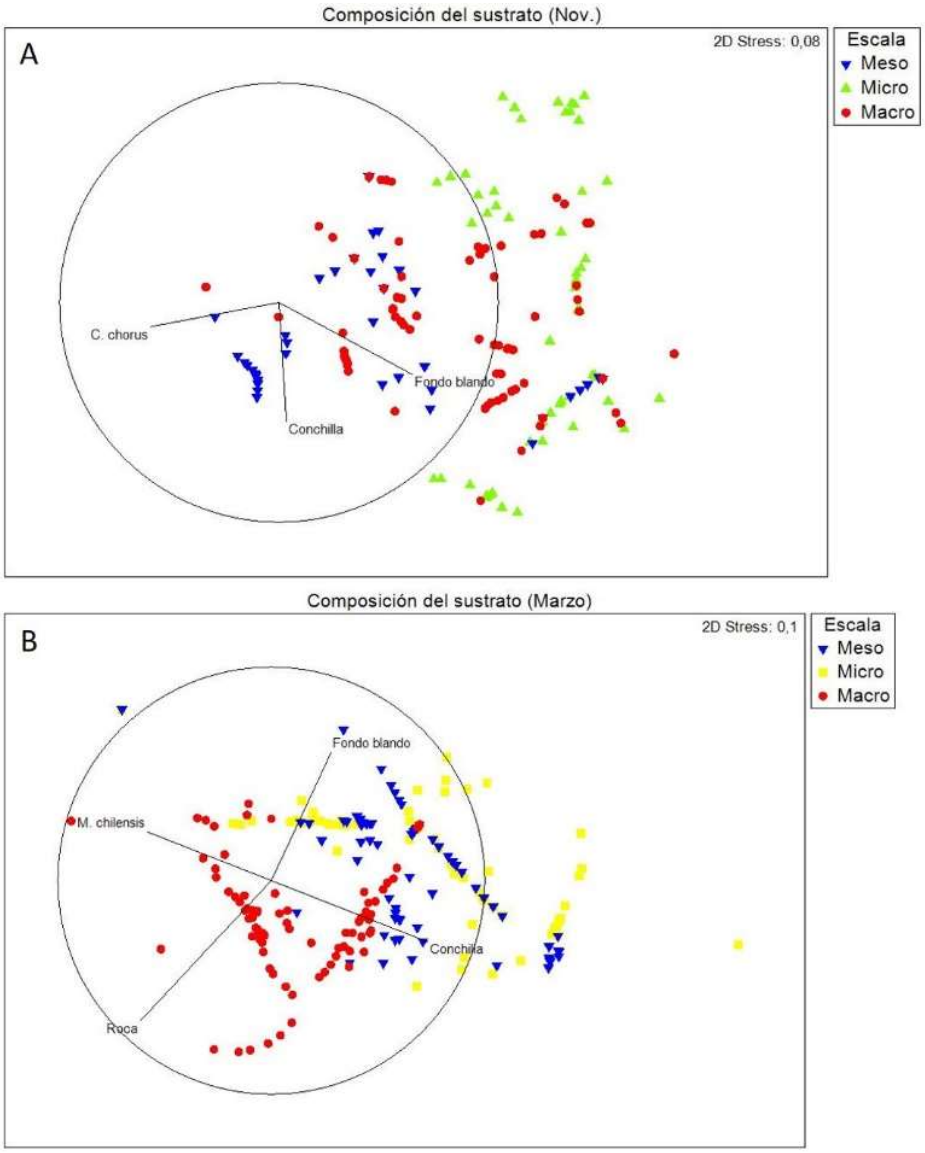


Figura 185. Ordenación de Escalamiento Multidimensional (MDS) de la cobertura de sustrato en sitios de micro, meso y macroescala de acuicultura de mitílidos. (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Vectores indican una correlación de Spearman (r > 0,5) con los tipos de sustrato que explican mejor la ordenación espacial de datos. El círculo indica una correlación r = 1.

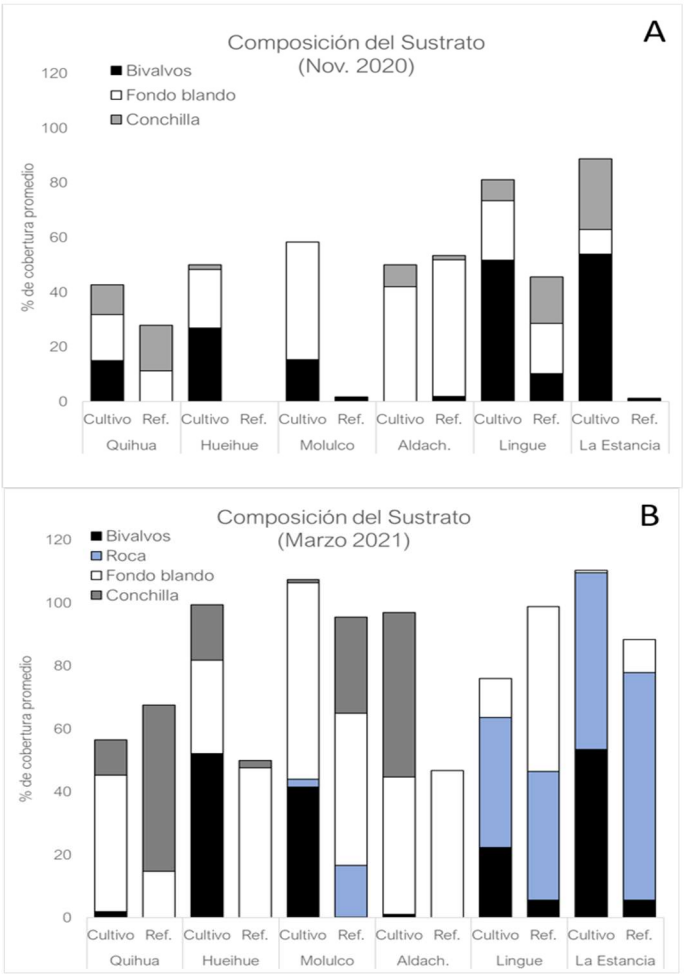


Figura 186. Porcentaje de composición del sustrato incluyendo a bivalvos como sustrato biogénico primario, A) Campaña noviembre 2020. B) Campaña de marzo 2021.

5.12.2.3. Estructura comunitaria

Considerando el set completo de datos, incluyendo la variabilidad en sitios de cultivo y referencia, la estructura de la comunidad de invertebrados móviles e individuales (i.e., aquellos que siendo sésiles no forman colonias o agregaciones estructurales) mostró diferencias significativas (p(PERM) < 0,01). El análisis de comparación pareada evidenció que la estructura comunitaria que más se diferenció del grupo competo fue la asociada a sitios de microescala (**Figura 187A** y **B**). Una correlación de Spearman (r > 0,25) mostró que las especies mejor asociadas a la distribución de sitios de microescala fue *Arbacia dufresnii* y la anémona *Metridium* sp., mientras que el camarón de los canales, *Munida gregaria*, parece estar más asociado con la estructura comunitaria de sitios de meso y macroescala durante noviembre del 2020 (**Figura 187A**). En marzo, las diferencias entre estructuras comunitarias se mantuvieron similares a las observadas en noviembre (p(PERM) < 0,01). Pero, en esta temporada

los crustáceos *Halicarcinus edwardsii* (Jaiba Marmola) y *M. gregaria*, y el suspensívoro *Heterocucumis godeffroyi* (pepino de mar) aparecieron más asociados (Spearman, r > 0,25) a sitios de micro y mesoescala. Mientras que los erizos *A. dufresnii* y *Loxechinus albus* presentaron correlaciones más débiles, asociadas a las tres estructuras comunitarias (**Figura 187B**).

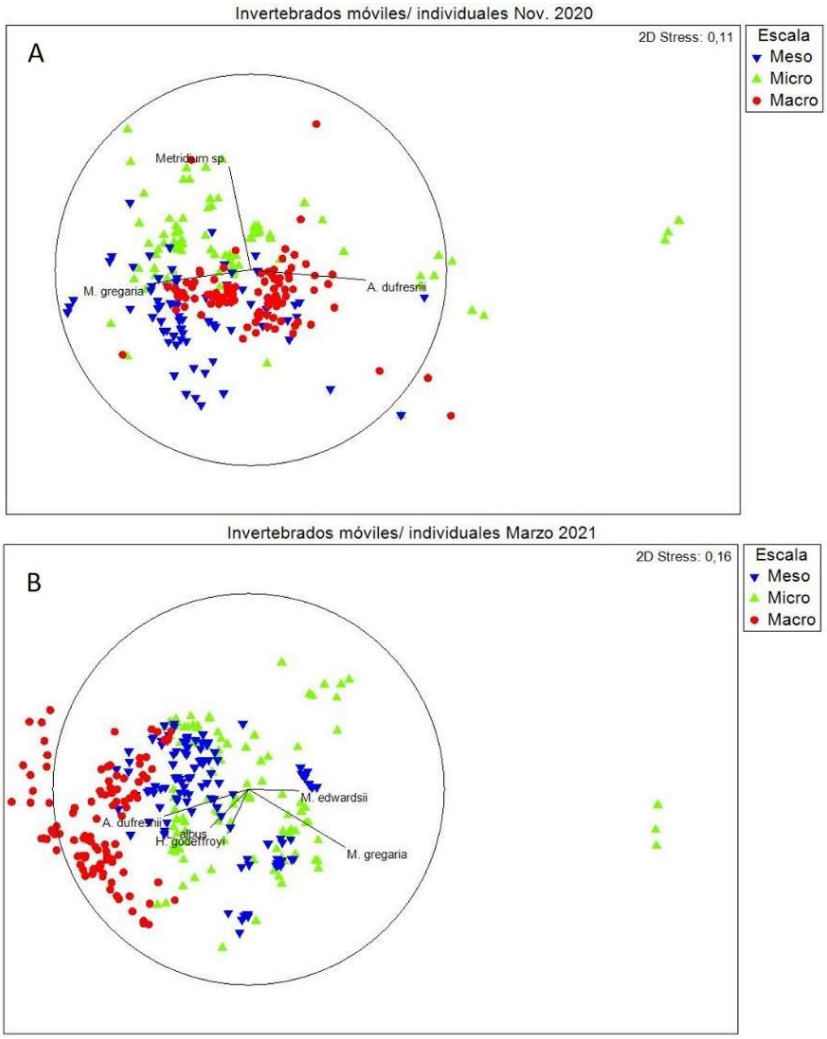


Figura 187. Ordenación de Escalamiento Multidimensional (MDS) de la comunidad de invertebrados móviles e individuales en sitios de micro, meso y macroescala de acuicultura de mitílidos. (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Vectores indican una correlación de Spearman (r > 0,25) con las especies que explican mejor la ordenación espacial de datos. El círculo indica una correlación r = 1.

Visualizando la condición de cultivo y de referencia durante noviembre del 2020 (**Figura 188A** y **B**), *Metridium* sp. y *M. gregaria* aparece como principal componente de la estructura comunitaria de sitios bajo cultivo (**Figura 188A**), mientras que *A. dufresnii* parecer ser el componente más conspicuo en

sitios de referencia. En marzo del 2021 *L. albus* y *H. godeffroyii* son los componentes más presentes en sitios de cultivo (**Figura 188B**), mientras que la relación de *A. dufresnii* y *M. gregaria* aparece difusa entre las condiciones de muestreo.

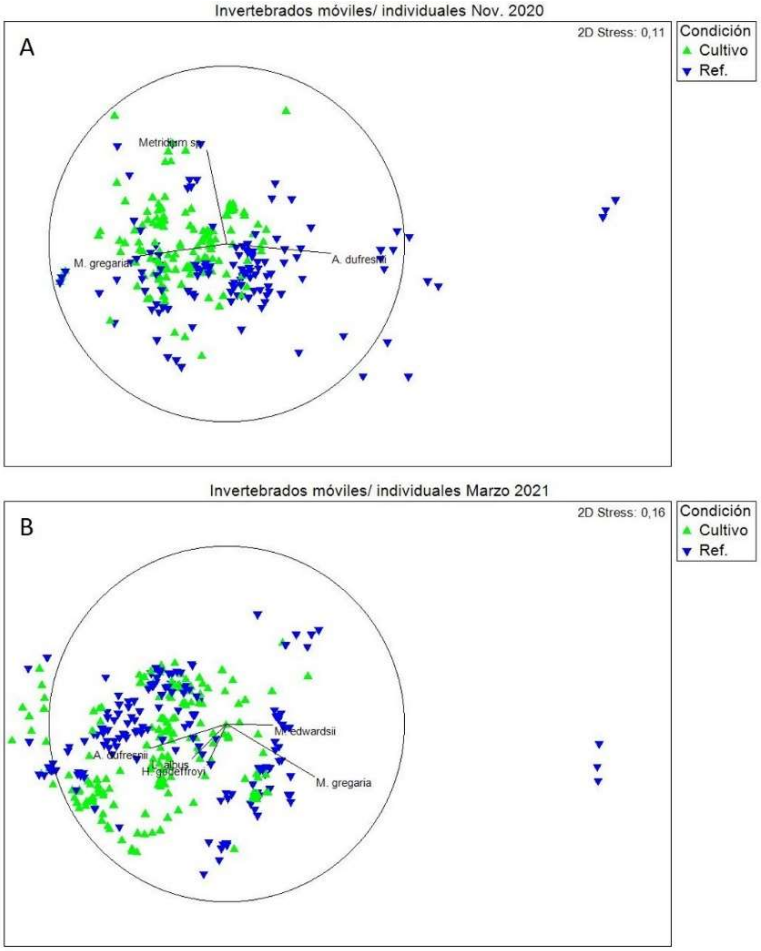


Figura 188. Ordenación de Escalamiento Multidimensional (MDS) de la comunidad de invertebrados/ individuales móviles en condiciones de cultivo y referencia. (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Vectores indican una correlación de Spearman (r > 0,25) con las especies que explican mejor la ordenación espacial de datos. El círculo indica una correlación r = 1.

Estructuradores de sustrato biogénico primario, principalmente *M. chilensis*, pero también, *A. atra*, *T. chilensis*, *C. chorus*, *Crepipatella* spp. y *Austromegabalanus psittacus* mostraron diferencias entre sitios de diferente escala de cultivo (*p*(PERM < 0.01 para noviembre y marzo, respectivamente) en ambos períodos de muestreo (**Figura 189A** y **B**). Durante noviembre 2020 *M. chilensis* apareció asociado a los sitios de micro y macroescala (Figura **189A**; Spearman, r > 0,5), sin embargo, *A. atra*. *C. chorus* y *A. psittacus* estuvieron escasamente asociados a sitios de microescala.

De manera similar en marzo 2021, existieron diferencias en la distribución de estructuradores primarios), donde sitios de micro y mesoescala presentaron más similitudes (**Figura 189B**). En este período, *Mytilus chilensis* estuvo correlacionado (Spearman, r > 0,5) principalmente con gran parte de las muestras en las tres escalas, mientras que, *A. atra*. *C. chorus*, *A. psittacus* y *T. chilensis,* aunque presentaron cierto grado de correlación específica en algunos sitios (e.g., *A. atra* y *A. psittacus* con Molulco – mesoescala y Lingue – macroescala; *T. chilensis* con Quihua – microescala, *C. chorus* con Lingue – Macroescala).

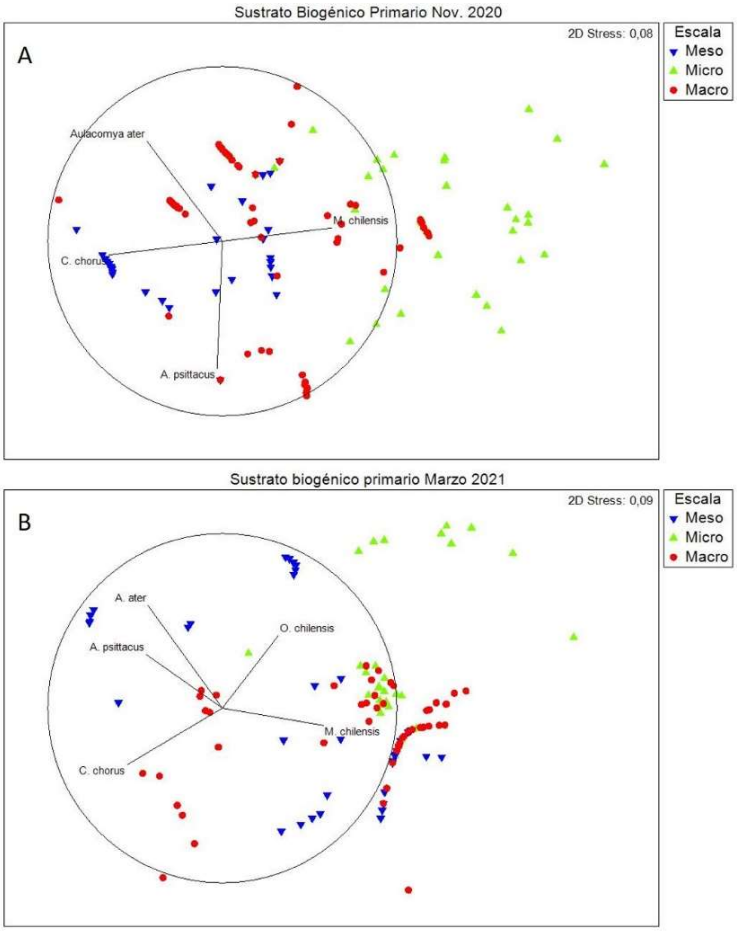


Figura 189. Ordenación de Escalamiento Multidimensional (MDS) de la comunidad de invertebrados de estructuradores de sustrato biogénico primario en sitios de micro, meso y macroescala de acuicultura de mitílidos. (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Vectores indican una correlación de Spearman (r > 0,25) con las especies que explican mejor la ordenación espacial de datos. El círculo indica una correlación r = 1.

La estructura comunitaria de invertebrados sésiles/ coloniales formadores de hábitat secundario que incluyó macroalgas, esponjas y tunicadas coloniales mostró diferencias significativas (p(PERM) < 0,01;

para noviembre y marzo, respectivamente) entre sitios con distintas escalas de cultivo (**Figura 190A** y **B**). El test de similitud pareada promedio demostró que los grupos de micro y mesoescala presentaron estructuras comunitarias con mayor similitud que los sitios de macroescala en ambos períodos. En noviembre del 2020, especies de esponjas y las macroalgas *Desmarestia* sp. y *M. pyrifera*, estuvieron asociadas a sitios de referencia principalmente Hueihue (Spearman > 45). Mientras que algas crustosas rosadas, representadas por *Lithothamnion* spp. estuvieron mejor correlacionadas con la estructura comunitaria de sitios de meso y macroescala (**Figura 190A**). Durante marzo del 2021, estructuradores como las esponjas *Halichondria prostata*, Porifera sp. 1 y el alga parda *M. pyrifera* fueron asociadas mayoritariamente con sitios de microescala (**Figura 190B**), mientras que *Ulva* spp. y *Lithothamnion* spp. aparecieron asociadas mayoritariamente tanto a sitios de macro y mesoescala, pero también a muestras de sitios de microescala (Spearman, r > 0,45).

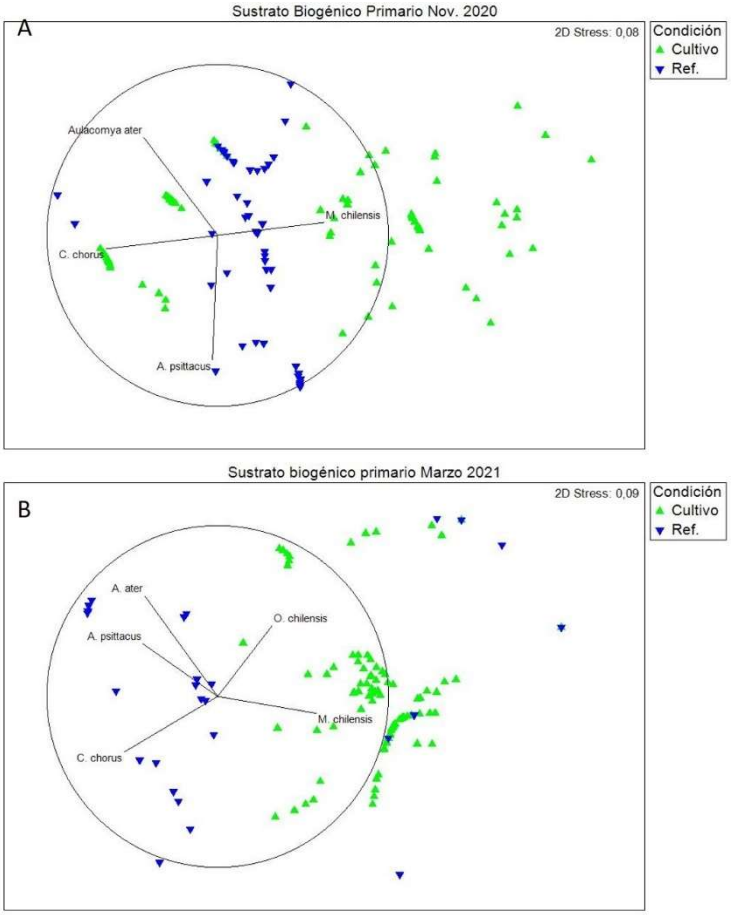


Figura 190. Ordenación de Escalamiento Multidimensional (MDS) de la comunidad de invertebrados de estructuradores de sustrato biogénico primario en sitios de micro, meso y macroescala de acuicultura de mitílidos. (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Vectores indican una correlación de Spearman (r > 0,25) con las especies que explican mejor la ordenación espacial de datos. El círculo indica una correlación r = 1.

Sin embargo, la relación de la identidad del sustrato biogénico entre sitios se clarifica al visualizar la condición de la estructura comunitaria bajo los cultivos y sitios de referencia (**Figura 191A** y **B**) en donde *T. chilensis,* pero principalmente *M. chilensis,* aparece como principal componente de la estructura de la comunidad de referencia. Por otro lado, la asociación de especies más conspicuas entre las estructuras comunitarias de sitios bajo cultivos y sitios de referencia es poco clara (**Figura 192A** y **B**)

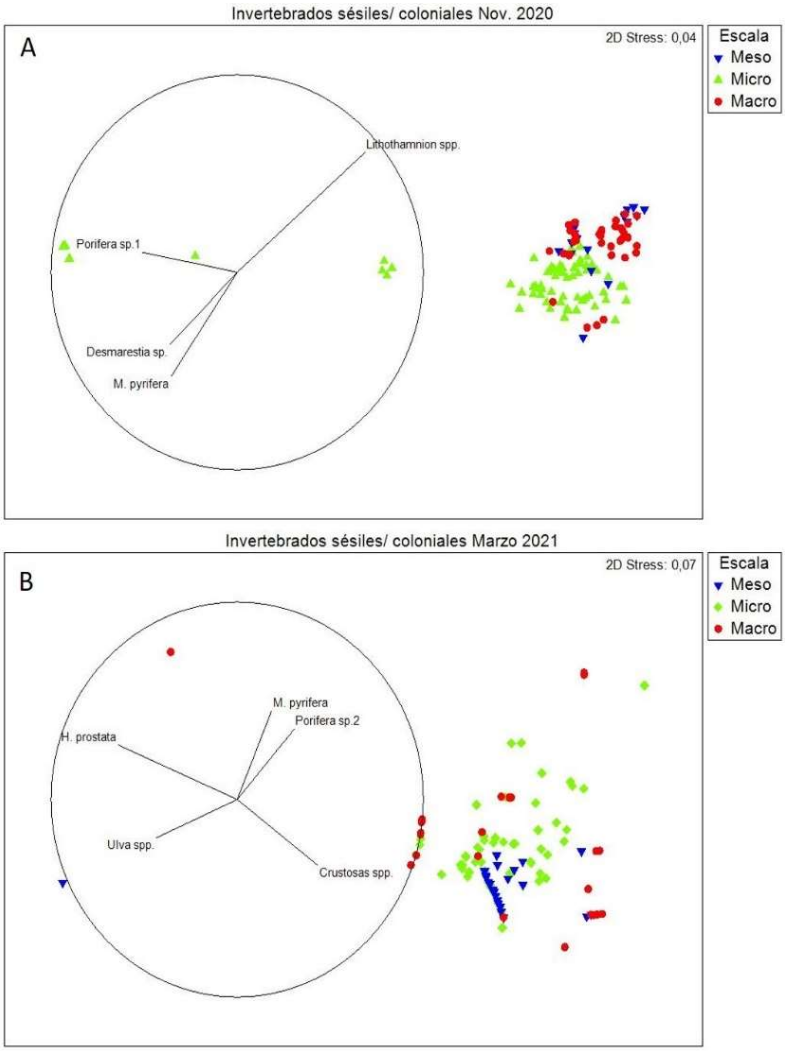


Figura 191. Ordenación de Escalamiento Multidimensional (MDS) de la comunidad de invertebrados sésiles coloniales o estructuradores secundarios en sitios de micro, meso y macroescala de acuicultura de mitílidos. (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Vectores indican una correlación de Spearman (r > 0,25) con las especies que explican mejor la ordenación espacial de datos. El círculo indica una correlación r = 1.

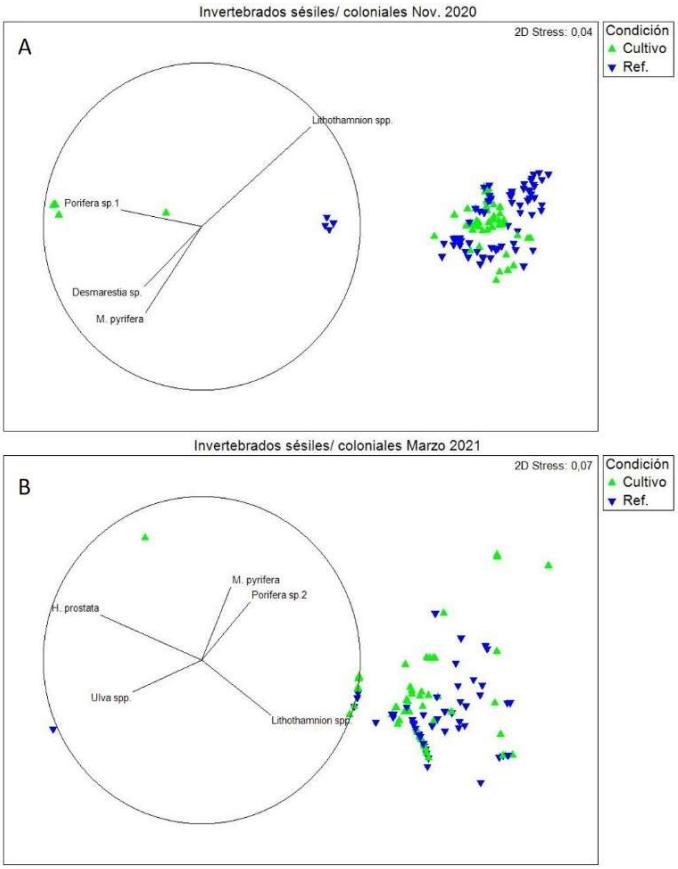


Figura 192. Ordenación de Escalamiento Multidimensional (MDS) de invertebrados sésiles/ coloniales o estructuradores secundarios en condiciones de cultivo y referencia. (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Vectores indican una correlación de Spearman (r > 0,25) con las especies que explican mejor la ordenación espacial de datos. El círculo indica una correlación r = 1.

5.12.2.4. Diversidad

La riqueza promedio de especies varió estacionalmente, alcanzando valores mayores en noviembre (Figura **193A** y **B**). El sitio de microescala Quihua, mostró valores significativamente más altos que la mayoría del resto de los sitios de estudio (Noviembre: F = 25,16, g.l. = 11, p < 0,01 – Marzo: F = 8,43, g.l. = 11, p < 0,01). En promedio los sitios de cultivo mostraron una ligera tendencia a presentar mayor riqueza que sitios de referencia en las tres escalas de cultivo, con excepción de los sitios de referencia de microescala en Quihua durante noviembre (**Figura 193A**). En marzo la riqueza disminuyó, sin embargo, la tendencia descrita en noviembre mostró el patrón similar (**Figura 193B**).

Por su parte, la equidad (Índice J´ Pielou) entre especies por sitio mostró valores relativamente homogéneos en ambas temporadas y entre sitios, pero existieron diferencias estadísticamente significativas entre sitios (noviembre: F = 6,24, g.l. = 11, *p* <0.01– Marzo: F = 7,8, g.l. = 11, p < 0,01) (**Figura 194A** y **B**). Valores relativamente bajos (~0,4) fueron observados en sitios de meso (i.e.,

Molulco y Aldachildo) y macroescala (i.e., La Estancia) en noviembre, pero también, en sitios de cultivo de microescala en marzo (i.e., Hueihue, ~ 0,6).

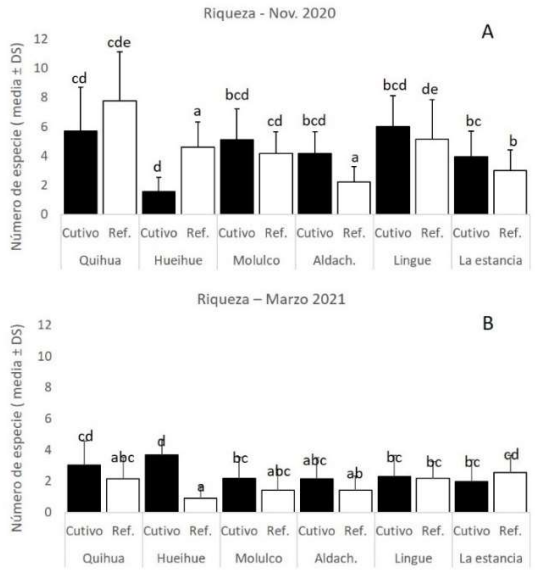


Figura 193. Riqueza de especies (Media ± DS) entre sitios de acuicultura de micro (Quihua-Hueihue), meso (Molulco – Aldachildo) y macroescala (Lingue – La Estancia).

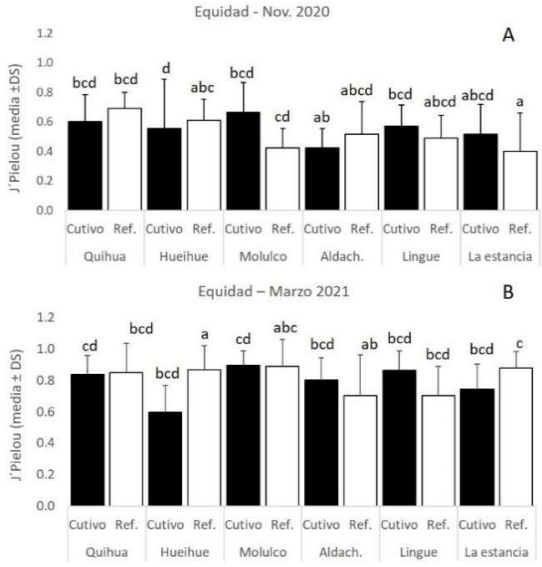


Figura 194. Equidad entre especies (Media ± DS) entre sitios de acuicultura de micro (Quihua-Hueihue), meso (Molulco – Aldachildo) y macroescala (Lingue – La Estancia). Letras indican diferencias entre grupos de datos.

5.12.2.5. Infauna

La estructura comunitaria de la infauna mostró amplia variabilidad para noviembre del 2020 y marzo del 2021 (Figura **195A** y **B**), donde los modelos de ordenación de componentes principales (PCO), explicaron entre 23% y 35 %, respectivamente. Sin embargo, tanto la escala de cultivo, como la condición (i.e., sitios de Cultivo vs. Referencia) mostraron diferencias significativas en ambas temporadas (p(PERM) < 0,01) y la similaridad promedio indicó que la estructura de los sitios de micro y mesoescala presentaron mayor similitud comparadas con los sitios de macroescala.

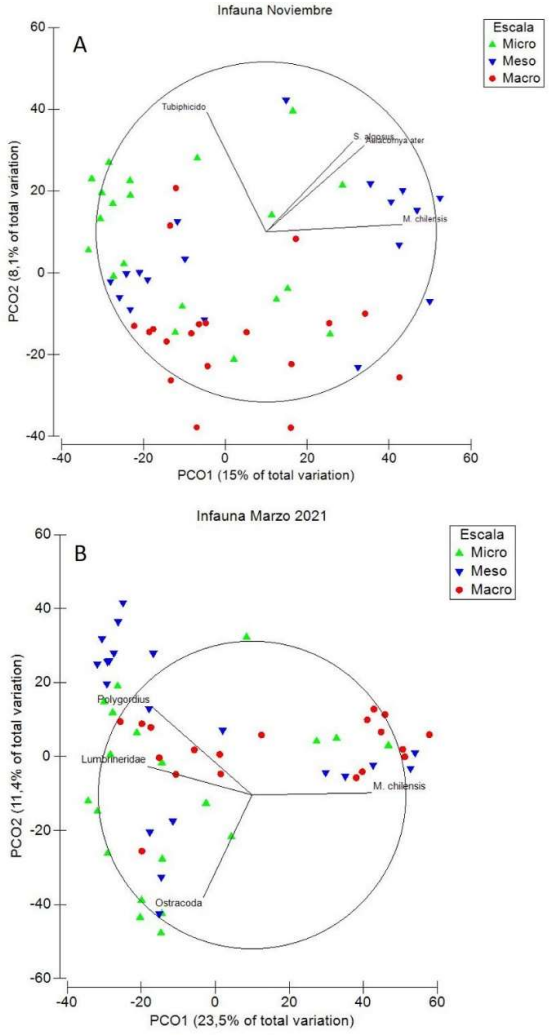


Figura 195. Ordenación de Escalamiento Multidimensional (MDS) de la comunidad de infauna en sitios de micro, meso y macroescala de acuicultura de mitílidos. (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Vectores indican una correlación de Spearman (r > 0,7) con las especies que explican mejor la ordenación espacial de datos. El círculo indica una correlación r = 1.

En términos de la escala de cultivo las especies mejor correlacionadas (Spearman, r > 0,7) con la estructura de las comunidades, destacó la presencia de oligoquetos de la familia Tubiphicidae asociados a sitios de micro y mesoescala, así como, juveniles (~ 1mm) de *S. algosus, A. atra y M. chilensis* (**Figura 195A**), pero, principalmente asociadas a sitios de Cultivo. En mazo del 2021, no existió una relación clara, pero anélidos de la familia Lumbrinidae y el género *Polygordius* parecieron estar más asociados a sitios de meso y microescala. Sin embargo, en términos de la condición de cultivo o referencia (**Figura 196A** y **B**), juveniles (~ 1mm) de *M. chilensis* aparecieron frecuentemente en las muestras asociadas a sitios bajo sitios de cultivo. A su vez, Ostrácodos aparecieron frecuentemente asociados a sitios de referencia, principalmente de microescala.

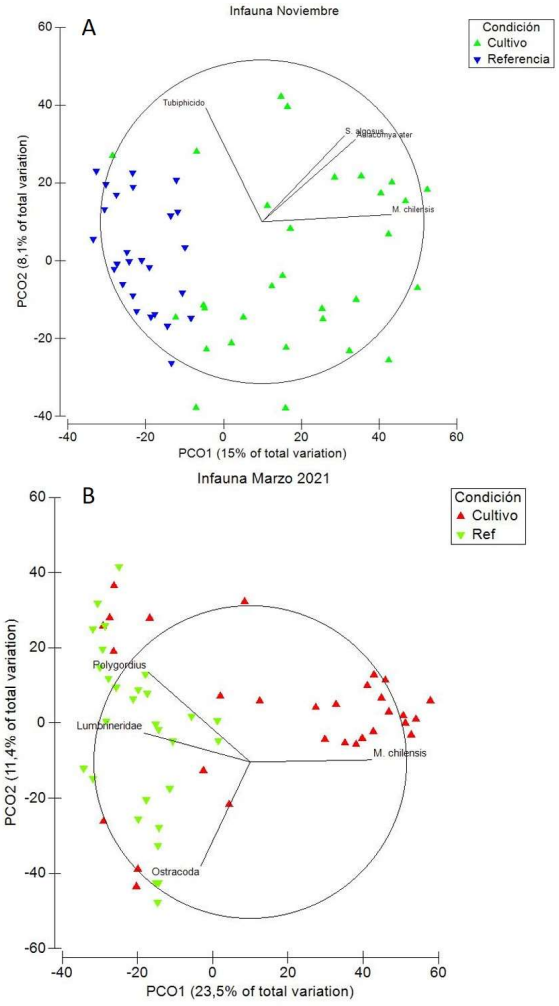


Figura 196. Ordenación de Escalamiento Multidimensional (MDS) de la comunidad de infauna en sitios de micro, meso y macroescala de acuicultura de mitílidos. (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Vectores indican una correlación de Spearman (r > 0,7) con las especies que explican mejor la ordenación espacial de datos. El círculo indica una correlación r = 1.

La riqueza de organismos de la Infauna mostró diferencias estacionales, siendo mayor en noviembre del 2020 y diferencias significativas entre sitios en ambas temporadas (F = 4,42, g.l. = 11, p < 0,01 – F = 3,38, g.l. = 11, p < 0,01) (**Figura 197A** y **B**). El número de especies fue significativamente menor en cultivos a macroescala (i.e., Lingue y La Estancia), especialmente durante noviembre, mientras que los sitios de referencia de meso y microescala (i.e., Molulco y Quihua, respectivamente) alcanzaron los mayores valores (**Figura 197A**). Mientras que en marzo los sitios de cultivo, particularmente, la Estancia, Molulco y Hueihue, lo que representó las tres escalas de cultivo (**Figura 197B**).
La equidad de especies (Índice J´ Pielou) en cada temporada, no mostró diferencias significativas (Noviembre: F = 1,59, g.l. = 11, p = 0,13 - F = 1,8, g.l. = 11, p = 0,08) (Figura **198A** y **B**).

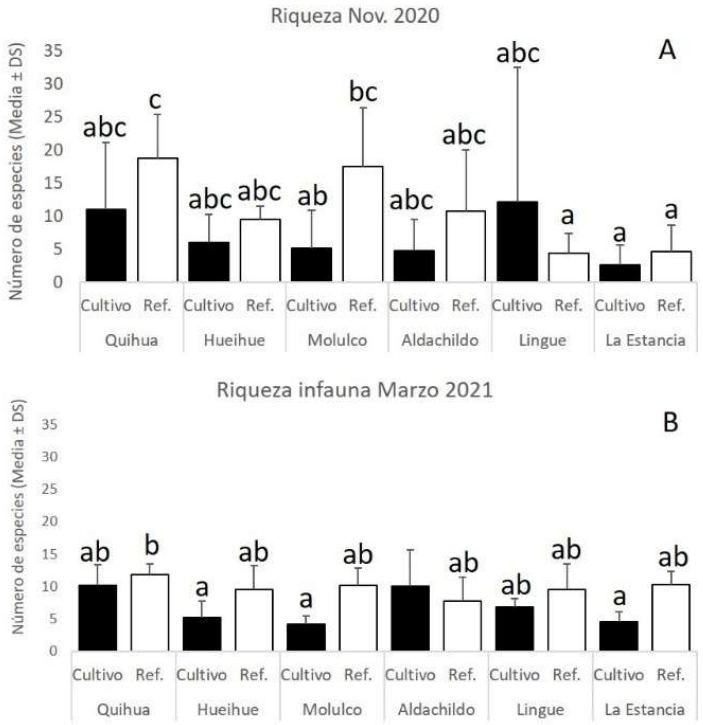


Figura 197. Riqueza de especies de la infauna (Media ± DS) entre sitios de acuicultura de micro (Quihua-Hueihue), meso (Molulco – Aldachildo) y macroescala (Lingue – La Estancia). (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021.

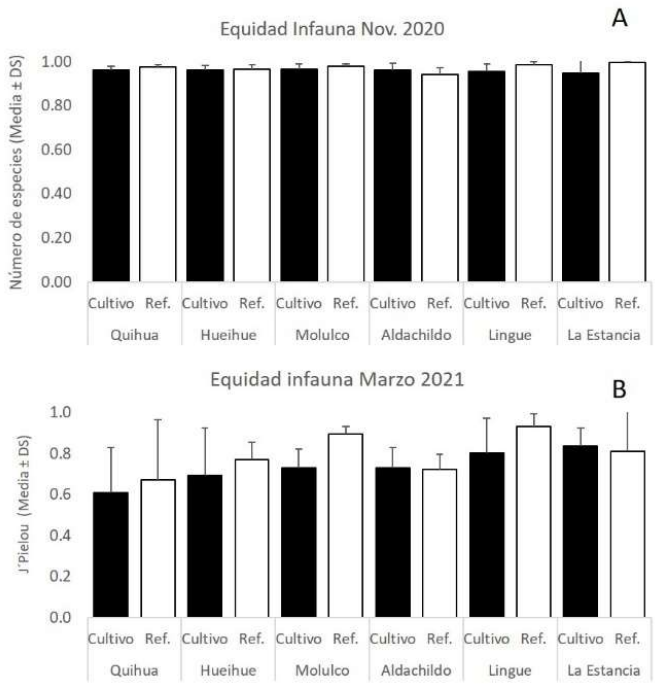


Figura 198. Equidad entre especies de la infauna (Media ± DS) entre sitios de acuicultura de micro (Quihua-Hueihue), meso (Molulco – Aldachildo) y macroescala (Lingue – La Estancia). Letras indican diferencias entre grupos de datos. (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021.

5.12.2.6. Riqueza funcional

La diversidad funcional, i.e., las funciones particulares de los organismos que influencian como operan los ecosistemas mostró amplias diferencias dada la diversidad de hábitats/ sustratos en cada sitio de estudio, ocasionando, en algunos casos, la ausencia de grupos funcionales (GF) en sitios completos. Por lo tanto, el análisis de datos se omitió aquellos sitios donde la abundancia fue = 0 y fueron analizados con Análisis de Varianza (ANOVA) siguiendo métodos convencionales para el modelo general lineal.

La riqueza funcional relativa de herbívoros ramoneadores (**Figura 199 A** y **B**), como, erizos (en algunas circunstancias ambientales también considerados omnívoros), especies de lapas (e.g., *Fisurella* spp., *Fisurellidae patagonica*, etc.) *Tegula atra*, Chitones, *Crepipatella* spp., etc., mostró diferencias significativas entre sitios en ambos períodos (noviembre: $F = 22,5$, g.l. = 9, $p < 0.01$; marzo: $F = 20,6$, g.l. = 9, $p < 0,01$). Existió una riqueza funcional significativamente mayor en sitios bajo cultivo con su máximo en el sitio de microescala de Bahía Hueihue (Media 2,30 ± 0,14 EE), pero también, en los sitios de macroescala de Lingue y La Estancia (1,30 ± 0,25 EE y 0,70 ± 0,19 EE, respectivamente). Esta tendencia fue similar en marzo (**Figura 199B**). Por otro lado, la riqueza herbívoros en sitios de referencia estuvo entre un ~5-50 % más baja, exceptuando los sitios de macroescala en ambas

temporadas que alcanzaron valores similares. Las diferencias más marcadas fueron observadas especialmente en sitios de micro y mesoescala caracterizados por sustratos blandos o mixtos.

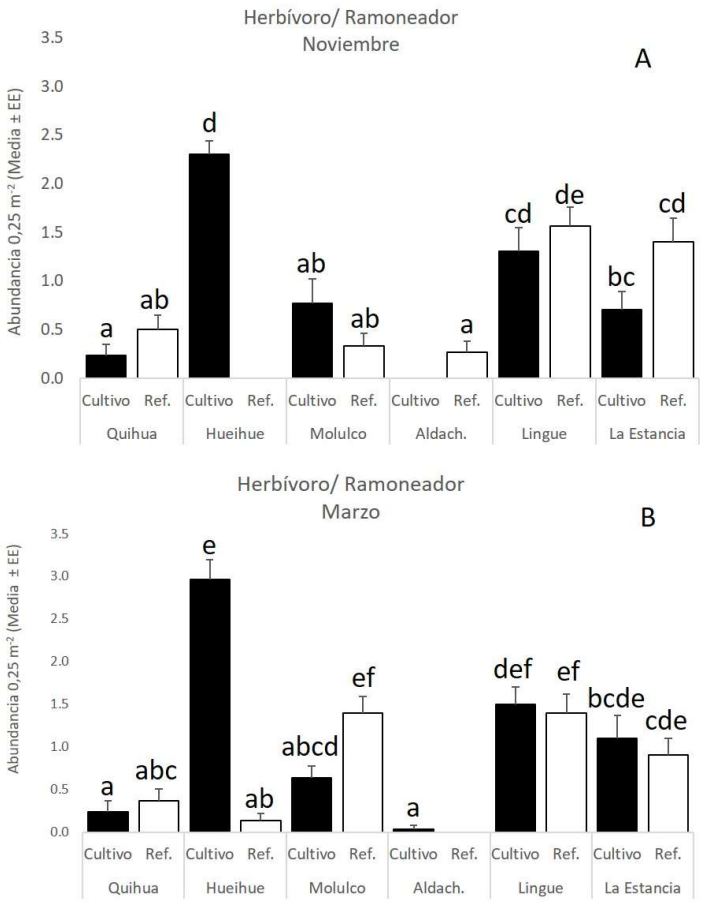


Figura 199. Abundancia promedio (± EE) de herbívoros ramoneadores en sitios de cultivo de mitílidos y sitios de referencia. Microescala (Quihua y Hueihue), Mesoescala (Molulco y Aldachildo) y Macroescala (Lingue y la Estancia). (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Letras muestran diferencias estadísticamente significativas entre sitios

La riqueza de especies de estructuradores de hábitat que considera a *M. pyrifera*, *Pyura chilensis*, esponjas marinas, *Crepipatella* spp. y el ensamble típico de bivalvos aparecen en la **Figura 200A** y **B**. Existieron diferencias significativas entre sitios tanto en noviembre como en marzo ($F = 18{,}91$, g.l.= 11, $p < 0{,}01$; $F = 23{,}4$, g.l. = 9, $p < 0{,}01$; respectivamente) Los organismos estructuradores dominaron bajo los cultivos por la frecuente presencia de parches de bivalvos en las tres escalas de cultivo, alcanzando máximos en sitios de microescala (Quihua 1,67 ± 0,44 EE; Hueihue 1,53 ± 0,14 EE), pero con valores cercanos en los demás sitios en ambas temporadas particularmente en sitios de macroescala. El sitio de referencia de Quihua, mostró los valores promedios más altos durante ambos

períodos de muestreo (pero, principalmente aquí por la presencia de especies de esponjas marinas, e.g., *H. prostata*, *Mycale doellojuradoi*, *Leucatis nuda*, *Cliona chilensis* e individuos de *M. pyrifera*). En general, en sitios de referencia de lugares sometidos a cultivos de meso y macroescala la abundancia de estructuradores de hábitat fue de alrededor de 25-30 % menor que en sitios de cultivo, exceptuando los hábitats de microescala. Cabe señalar que los sitios de referencia en la bahía de Hueihue y Aldachildo (marzo) estuvieron caracterizados por extensos hábitats de fondo blando con ausencia casi total de elementos estructuradores.

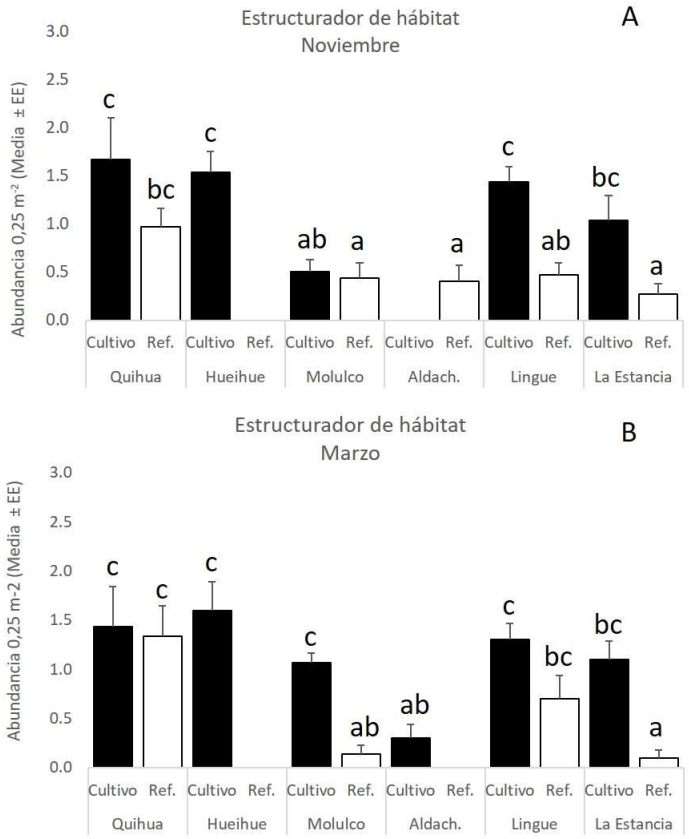


Figura 200. Abundancia promedio (± EE) de estructuradores de hábitat en sitios de cultivo de mitílidos y sitios de referencia. Microescala (Quihua y Huiehue), Mesoescala (Molulco y Aldachildo) y macroescala (Lingue y la Estancia). (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Letras muestran diferencias estadísticamente significativas entre sitios

El grupo de carnívoros que incluyó, Peces crípticos (e.g., *Helcogrammoides cunninghami*), gremios de nudibranquios y estrellas de mar, así como gastrópodos murícidos y volútidos (*Chorus giganteus*, *Fusitron cancellatus*, *Adelomelon ancilla*, etc.) y cefalópodos (*Robsonella fontaini*, *Enteroctopus megalocyanthus* y *Semirrosia patagónica*). Existieron diferencias estadísticamente significativas entre sitios en noviembre del 2020 y marzo del 2021 ($F = 2,42$, g.l. = 10, $p = 0,01$; $F = 4,87$, g.l. = 10, $p < 0,01$,

respectivamente). Se observó la mayor riqueza en los sitios de cultivo a microescala, con máxima abundancia promedio en Quihua y Hueihue durante noviembre (1,53 ± EE; 0,70 ± EE, respectivamente) (**Figura 201A**), mientras que, los sitios de mayor escala de cultivo mostraron valores ~ 5-10% comparados con los valores en sitios de microescala. Este grupo fue particularmente bajo en sitios de meso y macroescala en ambos períodos de estudio, pero, en particular durante marzo (**Figura 201A** y **B**).

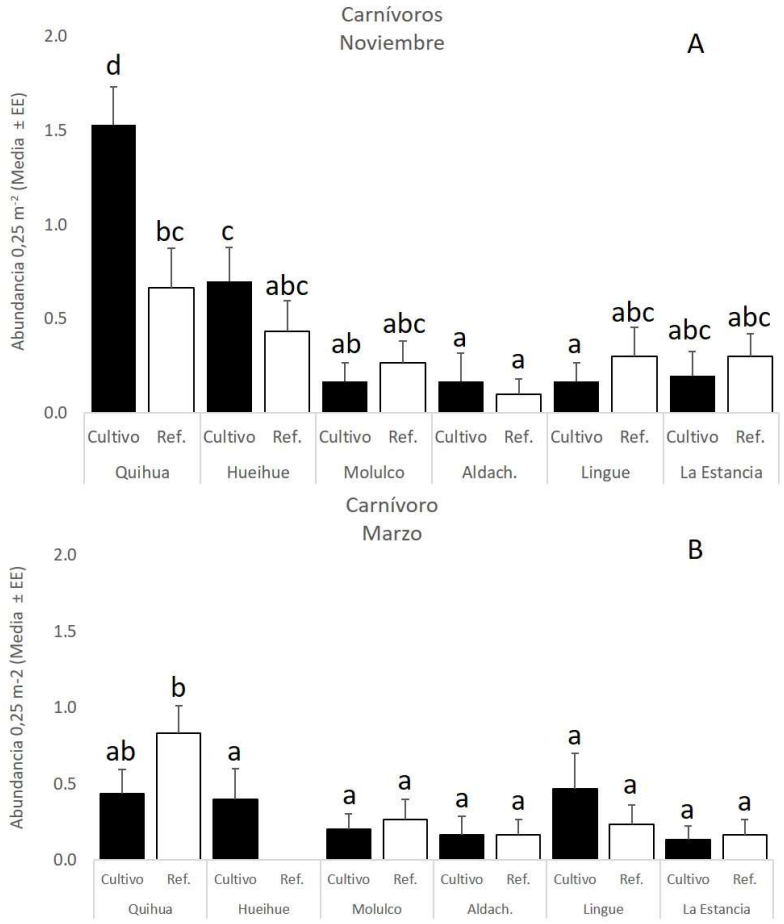


Figura 201. Abundancia promedio (± EE) de carnívoros en sitios de cultivo de mitílidos y sitios de referencia. Microescala (Quihua y Hueihue), Mesoescala (Molulco y Aldachildo) y macroescala (Lingue y la Estancia). (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Letras muestran diferencias estadísticamente significativas entre sitios.

La riqueza de crustáceos carnívoros/ generalistas varió ampliamente entre temporadas probablemente debido a diferencias de productividad estacional (**Figura 202A** y **B**). En este grupo se incluyó a *H. edwardsii*, *Cancer plebejus* y *Taliepus dentatus* (se decidió por omnívoría en *T. dentatus* debido a los hábitos de depredación y canibalismo de adultos observados frecuentemente en las campañas de

muestreo), aunque es típicamente asociado con pastoreo en bosque de macroalgas. También fueron incluidos especies de Pagurus (Cangrejos hermitaños) y pequeños camarones bentónicos como *Nauticaris magellanica* y *Campylonotus vagans,* entre otros.

Durante noviembre la riqueza de este grupo funcional estuvo significativamente asociada a sitios de cultivo de las tres escalas de producción (F = 16,1, g.l. = 11, p < 0,01) con máxima riqueza promedio (1,5 ± 0,2 EE) en sitios de cultivo de mesoescala (**Figura 202A**). En sitios de referencia, la mayor riqueza promedio se encontró en el sitio de referencia en Quihua (0,8 ± 0,18 EE), pero alcanzó valores bajos en los sitios de referencia de Hueihue y Lingue (micro y macroescala respectivamente) de entre 10 y 5 % a los observados en ambientes de cultivo. En marzo, la riqueza funcional disminuyó drásticamente a cerca de la mitad de la observada en noviembre (**Figura 202B**), con la zona de cultivo de Aldachildo mostrando una riqueza significativamente mayor al resto de los sitios de estudio (F = 5,14, g.l., 10, p < 0,01), pero al menos un 60% menor a los máximos observados en noviembre (0,67 ± 0,17 EE).

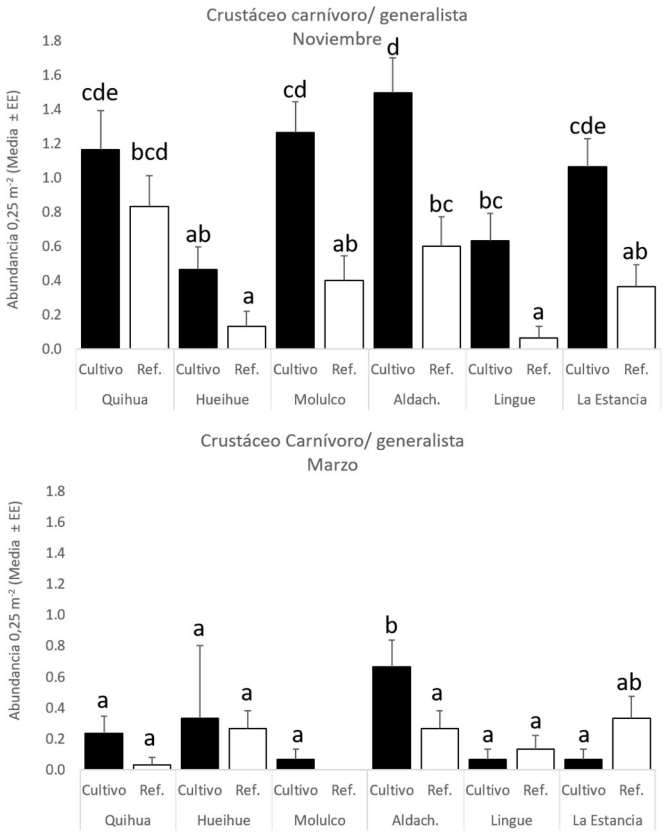


Figura 202. Abundancia promedio (± EE) de crustáceos carnívoros/ generalistas en sitios de cultivo de mitílidos y sitios de referencia. Microescala (Quihua y Hueihue), Mesoescala (Molulco y Aldachildo) y macroescala (Lingue y la Estancia). (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Letras muestran diferencias estadísticamente significativas entre sitios.

Finalmente, la riqueza de detritívoros típicos como *Nassarius gayii*, *M. gregaria* y *H. godeffroyi* mostró valores promedio mayores, generalmente, en los sitios de cultivo durante noviembre, pero, y aunque existieron diferencias significativas entre casi todos los sitios de estudio (F = 9,67, g.l., 11, p <0,01) (**Figura 203A**) y esta tendencia se mantuvo en marzo (F = 14,9, g.l., 11, p <0,01) con una riqueza similar en los ambientes bajo los cultivos (**Figura 203B**). La riqueza máxima de detritívoros se observó en el área de cultivo de Aldachildo en noviembre (1,27 ± 0,12 EE) y su ambiente de referencia (0,87 ± 0,24 EE). En, general el resto de los sitio mostró una riqueza un 50% menor a los máximos obervados en Aldachildo en marzo.

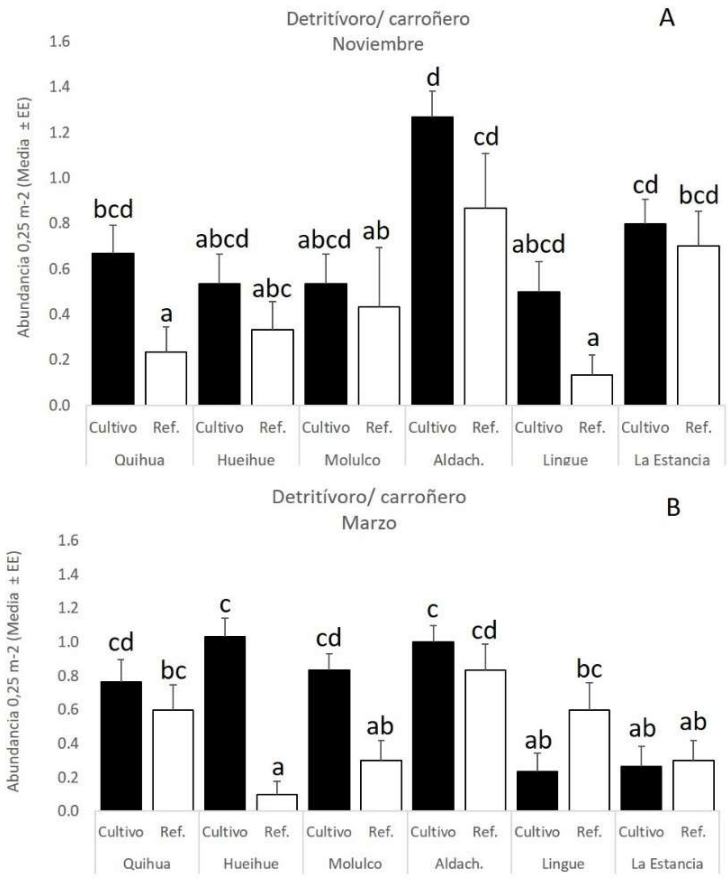


Figura 203. Abundancia promedio (± EE) de detritívoros/ carroñeros en sitios de cultivo de mitílidos y sitios de referencia. Microescala (Quihua y Hueihue), Mesoescala (Molulco y Aldachildo) y macroescala (Lingue y la Estancia). (A) noviembre 2020, (B) marzo 2021. Letras muestran diferencias estadísticamente significativas entre sitios.

Objetivo específico 6: *Realizar acciones de difusión, entrenamiento y transferencia asociadas al desarrollo de la acuicultura de algas e invertebrados.*

5.13. Desarrollo de protocolos de implementación de sistemas de cultivo para desarrollar APE

Se desarrolló un protocolo, el cual fue diagramado en un formato de manual bajo una enfoque didáctico, ilustrativo y artístico. Se titula "Manual. Sistemas de Cultivo para Acuicultores de Pequeña Escala", donde se presentan 10 sistemas de cultivo que pueden implementarse para la APE en Chile. EL manual se encuentra en fase de diagramación final, para su posterior impresión en formato físico y digital. Se contempla la producción de 200 ejemplares impresos los cuales serán distribuidos a diferentes OPA y acuicultores a lo largo de Chile. En el **Anexo 7** se presenta parte del manual en su fase pre-diagramación final.

5.14. Desarrollo de página web sobre acuicultura de algas

www.sembrandoelmar.cl es el dominio de la página web diseñada como producto de las actividades de difusión del Programa. El sitio consta de siete secciones:

- Inicio: presenta el objetivo y el contenido de la página web, con una breve descripción de cada sección.
- APE: Esta sección está orientada a explicar, de manera sencilla, en qué consiste la APE. Incorporando preguntas tales como: dónde cultivar, cómo cultivar, y qué cultivar. Se explican los sistemas de cultivo ocupados en diferentes recursos consolidados a pequeña escala y se exponen los recursos en los cuales existen potencialidades para ser desarrollados. Se incluye además una guía para la tramitación de permisos para desarrollar APE.
- Quiénes somos: Contiene información respecto del Departamento de Repoblación y Cultivo del IFOP, destacando la misión institucional y la cobertura de trabajo de este grupo a nivel nacional. Se presenta el Programa APE, destacando el enfoque de investigación, objetivo y grupos de colaboradores (investigadores, pescadores artesanales y pequeños acuicultores).
- Líneas de investigación APE: Incluye una descripción de las líneas de investigación desarrolladas en el ámbito APE. Las que incluyen: cultivo de macroalgas, cultivo multi-especies, cambio climático, impacto ambiental, bioeconomía, capacidades socio-organizacionales, selección de sitios y APE y Repoblación.
- Publicaciones: Se incluyen diversas publicaciones (informes, publicaciones científicas, manuales, normativa, otros links) de interés en el marco de la APE.
- Noticias: Contiene las novedades respecto al desarrollo de la APE.
- Audiovisual: Se presentan diferentes cápsulas (videos) con información de las diferentes líneas de investigación desarrollados dentro del Programa, como también de otros proyectos ejecutados por IFOP.

Cada sección incluye en la parte inferior un sector destinado a la comunicación entre el visitante y el administrador del sitio (IFOP) con el fin de requerir mayor información respecto a un tema en particular;

además la web contiene enlace con redes sociales (Instagram y Twitter) asociadas a este grupo de trabajo. Para mayor detalle ver **Anexo 7.**

5.15. Visita tecnológica de OPA y Capacitación en materias vinculadas a la postulación en el marco de la Ley de Bonificación al repoblamiento y cultivo de algas

Tal como fue informada a la contraparte técnica, esta actividad producto de las restricciones de movimiento y agrupación derivadas de la Pandemia COVID-19, no pudo ser ejecutada en los términos planteados originalmente (Visita a Centro Experimental Hueihue, IFOP). Sin embargo, y como se puede observar en el registro fotográfico de lo resultados del Objetivo 2 "Desarrollar cultivos pilotos de algas e invertebrados en AMERB y CCAA de diferentes zonas geográficas del país", se mantuvo un constante trabajo y capacitación en terreno con las OPA de la Región de Coquimbo y Los Lagos para la implementación de cultivos APE. Además, de manera posterior a este Informe Final se hará entrega a las OPA beneficiarias del Programa de manuales APE impresos (Sección 5.13.).

5.16. Actividades generales

5.16.1. Reuniones de Coordinación

Durante el año 2020, se mantuvieron diversas reuniones mediante video-conferencia, entre el equipo técnico y la contraparte SUBPESCA, para informar la afectación de las actividades del Programa producto de las restricciones de la Pandemia COVID-19, así como, consensuar las alternativas para subsanarlas.

5.16.2. Difusión de Resultados del Programa

El Taller se realizó el jueves 27 de mayo del 2021 en modalidad on-line vía Google Meet. Se presentaron 7 ponencias y contó con una audiencia entre 65-75 personas. El programa, invitación y las respectivas presentaciones se adjuntan en el **Anexo 7.**

6.DISCUSIÓN

6.1. Análisis bio-económico de cultivos multi-especies (Fase 2)

La variabilidad espacio–temporal de la producción es inherente a la acuicultura. Dentro de un mismo yearclass las mismas especies sometidas a idénticos sistemas tecnológicos de cultivo en distintos lugares suelen presentar diferencias. Incluso en distintos yearclass de la misma especie en el mismo lugar presentan diferentes rendimientos productivos y también económicos. También se observa el mismo fenómeno en ciclos del mismo yearclass en la misma localidad.
Los ciclos del yearclass 2020 mostraron una gran variabilidad productiva entre e intra-localidad. El rendimiento entre localidades también es claro, por ejemplo, al comparar lo ocurrido con el alga chicoria en Dalcahue y en Quinchao. Mientras en la primera la producción permitió obtener ingresos netos positivos, en la segunda el pobre rendimiento biológico no lo permitió, aun cuando el sistema de cultivo fue el mismo.
Sólo el 40% de los cultivos experimentales desarrollados en esta Etapa resultaron ser exitosos en términos de su desempeño económico. De cuatro experimentos de éxito tres ocurrieron en la localidad de Pudeto. En la Etapa 3, el cultivo de pelillo, yearclass 2019, mostró no ser rentable ni en el experimento control ni en el cultivo mixto con ostras, el que sí resultó exitoso para el yearclass 2020. Esto habla de la variabilidad interanual, pero también indica que el pelillo en ausencia de ostras en esta localidad no se ha dado bien en dos temporadas consecutivas.

La **Tabla 64** intenta resumir el comportamiento de 2 yearclass en términos de ser capaces de generar ingresos netos positivos en sus ciclos productivos. De hecho, el yearclass 2019 no mostró resultados positivos en ninguna de las localidades. De hecho, y aunque sólo hay dos yearclass evaluados, Quinchao pareciera ser una localidad con pocas condiciones para sostener un cultivo comercial, principalmente por la poca productividad observada en esta localidad. También pareciera ser que el pelillo tampoco es una especie atractiva para ser cultivada. En algunos casos (Quinchao) esto pareciera estar asociado a la productividad, pero además juega en contra su bajo precio de venta. La única localidad donde fue rentable (Pudeto) la condición se originó debido a que no hay costos asociados más allá de la cuerda donde se adhiere las plántulas ni tampoco costos de mano de obra, ya que las estructuras donde se apoyan las cuerdas son las camillas orientadas al cultivo de ostras y el costo de la mano de obra está asociado al cultivo de este bivalvo. Probablemente el cultivo de chicoria pudiera resultar rentable, tal como lo sugiere su cultivo en plansa en la localidad de Dalcahue, aunque el yearclass 2019 no resultó rentable, pero si el de 2020. El precio de esta alga es seis veces mayor al del pelillo, lo que aumenta la probabilidad de generar costos medios de producción inferiores a este valor y que permita generar un excedente del productor. En esta localidad más observaciones de yearclass aportarían a evaluar de mejor forma su capacidad de desempeño.
Junto con generar más observaciones en cuanto al número de yearclass necesarios para analizar las tendencias de largo plazo en la producción y en el beneficio neto, sería importante generar esfuerzos de cultivo en aquellos meses donde no hay observaciones y que se muestran en la **Figura 66.** En este sentido, se hace necesario conocer cuál (es) de la (s) especie (s) trabajadas hasta ahora es (son) capaz de generar un ciclo completo durante los meses de abril – junio que es el periodo donde no hay

especies siendo cosechadas y que eventualmente pudieran aumentar el ingreso económico para la organización dueña de la concesión.

Tabla 64.
Resultados económico – productivos observados en las yearclass 2019 (Etapa 3) y 2020 (Etapa 4) del Programa de APE. (+) ingreso neto positivo; (-) ingreso neto negativo. La yearclass 2019 se evaluó sólo en función del costo medio de producción, pero como se demostró en este Informe en tanto el costo medio supere al precio de venta inevitablemente el ingreso neto será negativo.

Localidad	Tipo de cultivo	Especie	2019	2020
Dalcahue	Plansa	Chicoria	-	+
	Plansa	Pelillo	-	-
	Balsa	Chorito	-	-
	Balsa	Pelillo	-	-
Pudeto	Camilla	Ostra	-	+
	Camilla	Choro zapato	-	+
	Estacas	Pelillo	-	-
	Camilla	Pelillo	-	+
Quinchao	Plansa	Chicoria	-	-
	Plansa	Pelillo	-	-

Otra vía de mejorar los ingresos y que requiere mayor análisis es el diseño y costeo de los sistemas de cultivo. El sistema de balsa es el más costoso en comparación con la plansa y además el menos productivo, lo que afecta el desempeño económico–productivo. En la misma dirección de disminuir costos, está el tema de los costos de mano de obra, que junto con las depreciaciones de los sistemas de cultivo son regularmente los ítems más importantes en el análisis del costo medio de producción. Una alternativa, sobre todo en aquellos cultivos más intensivos en mano de obra, como lo es el sistema de camilla el que por su número requiere de mantenimiento y vigilancia. Una alternativa es que la propia organización puede aportar tiempo de sus asociados en temas de vigilancia y mantenimiento, aunque tiene la desventaja que puede representar un costo de oportunidad importante para los asociados.

La APE puede ser vista como un subsector relativamente conservador en términos de las especies que habitualmente cultivan. Sin embargo, esto está condicionado muchas veces por un tema de permisos y autorizaciones de la autoridad central que limitan las opciones disponibles para el cultivador de pequeña escala. A modo de ejemplo, los bajos precios de venta del pelillo hacen que sea poco atractivo en términos de las expectativas económica ligadas a su cultivo. Una mejor opción es cultivar especies de mayor valor, ostras por ejemplo y/o chicoria, pero por un tema de permisos hace que esta mejor opción en la práctica no esté disponible. Una mayor flexibilidad para decidir qué especie cultivar sería deseable, en una analogía con el cultivo agrícola donde el agricultor decide la especie a cultivar en función de las expectativas de precio futuro de éstas.
Finalmente, también es un tema de discusión el concepto de policultivo cultivo multi-especie. A excepción de la experiencia en Pudeto con el cultivo mixto de ostras y pelillo en camillas, todos los

esfuerzos por cultivar moluscos junto con algas no han mostrados buenos desempeños. Es el caso de chorito–pelillo en Dalcahue y choro zapato–pelillo en Pudeto. Las causas requieren ser revisadas desde el punto de vista experimental, dado los resultados observados en los yearclass 2019 y 2020.

6.2. Diagnóstico de dinámicas socio-organizacionales que determinan la adopción de prácticas APE por parte de OPA

Las OPA artesanales presentan diversas características que pueden promover o bloquear la implementación exitosa de iniciativas de APE. Algunas organizaciones presentan una cadena de comercialización fortalecida, implementando procesos para darle valor agregado a sus recursos. Otras organizaciones han promovido la inclusión de mujeres en la organización, lo cual ha demostrado ser una condición que propicia las prácticas sustentables en el manejo pesquero (FAO 2014, 2015). Por otro lado, existen OPA, las cuales, en base a la experiencia práctica y teórica, tienen una mayor disposición para invertir en proyectos de acuicultura, e incluso desarrollar proyectos incluso si estos no generan beneficios económicos a corto plazo.
Lo anterior es evidente en los resultados mostrados. De las 44 organizaciones encuestadas, observamos una importante variedad respecto a la presencia de variables que promueven la viabilidad para la implementación de proyectos de acuicultura. El índice de viabilidad para implementar proyectos de acuicultura, vario entre ~30 y ~80 puntos (con un máximo de 100 y un mínimo de 0). Es importante destacar que estos resultados deben ser interpretados en el marco de la muestra de este estudio, la cual no es representativa para el territorio nacional.

La identificación de factores sociales y organizacionales que determinan la viabilidad de adoptar practicas APE por OPA presenta dos aplicaciones o estrategias de intervención. En primer lugar, los criterios permiten identificar las dimensiones y criterios que son necesarios fortalecer para promover la implementación de proyectos APE. En particular, se recomienda promover el enfoque de género, integrando a las mujeres en los proyectos de acuicultura y en las organizaciones. Mejorar el conocimiento de los procesos de comercialización, generando iniciativas que aumenten en valor agregado. También se considera importante potenciar la diversificación productiva, promoviendo la acuicultura como una alternativa complementaria a la pesca artesanal. En este estudio se destaca como relevante la necesidad de establecer y consolidar las redes de colaboración, en particular la participación de proyectos conjuntos con otras organizaciones, y la vinculación con asociaciones y federaciones. Un elemento presente en los resultados se refiere a la importancia de establecer nomas y el cumplimiento de éstas, como un criterio que permite evaluar la fortaleza organizacional de los interesados en proyectos de acuicultura.
Por otro lado, los resultados permiten establecer un modelo de priorización de organizaciones de acuerdo a su viabilidad para implementar proyectos exitosos de acuicultura. Este modelo de priorización está construido en base a ponderaciones de importancia relativa para cada criterio y variable. Estas ponderaciones pueden ser sujetas a análisis de sensibilidad. También es posible establecer diversas ponderaciones para cada criterio y variable, de acuerdo a la importancia relativa que cada tomador de decisión les asigne a éstas. No obstante, es recomendable evaluar posteriormente en un panel de expertos las ponderaciones establecidas para cada criterio y variable.

Un resultado importante de este estudio fue relevar la importancia de la variable de género para promover la APE. Históricamente, las mujeres en la pesca han tenido un rol mayor en la recolección algas. Sin embargo, recientes estudios muestran que el rol de las mujeres es cada vez mayor en la APE, generando mayores capacidades organizacionales asociadas a aspectos como compromiso, responsabilidad y consistencia en la implementación de proyectos (FAO 2014, 2015). En este estudio se observó una alta variabilidad en el número de mujeres socias en las organizaciones encuestadas, con un rango de 0% a 100% y un promedio de ~25%. Sin embargo, cerca de un ~60% de los encuestados señalan que la presencia de mujeres es importante o muy importante para la organización. El trabajo con mujeres en los proyectos de acuicultura es una de las líneas de trabajo importantes para los futuros proyectos APE.

Con respecto a los procesos de comercialización, las organizaciones encuestadas indican que mayoritariamente conocen la cadena de comercialización de los recursos extraídos y comercializados. Sin embargo, los resultados destacan que la mayoría consideran que no reciben un precio justo por los recursos. Si bien, las cantidades de eslabones que poseen las diferentes cadenas de comercialización pueden variar, es asumido que a medida que más eslabones posee la cadena de comercialización, un menor valor monetario tendrá el recurso, es decir, menor cantidad de dinero recibirá cada socio. Las cadenas de comercialización pesquera, en la actualidad siguen girando en torno a dos tópicos, el tradicional y los supermercados. En el caso del tópico tradicional, se encuentra compuesto por las ferias libres y pescaderías de barrio que venden los productos marinos al detalle abastecidos directamente por los pescadores. En el caso de los supermercados, cuentan con dos tipos de proveedores de productos: producción propia y empresas comercializadoras, aumentando la cantidad de intermediarios en la cadena de comercialización, por lo tanto, disminuye el precio del producto al momento de la compra a las OPA. Estos elementos, relacionados con la cadena de comercialización y número de intermediarios presentes, deben ser considerados paro promover un mayor beneficio económico asociado a proyectos de acuicultura, lo cual puede promover la disponibilidad de participar por parte de dirigentes y socios.

Con respecto al desarrollo de valor agregado en los productos, las organizaciones encuestadas señalan en un ~75% que no implementan estos procesos. Sin embargo, el ~90% tendría la disposición a realizar procesos de valor agregado. Este es un elemento muy importante para mejorar los beneficios económicos derivados de proyectos de acuicultura, lo cual también está relacionado con la percepción de los encuestados que en su mayoría no reciben un precio justo por sus productos. El desarrollo de valor agregado es tema emergente para la APE. De hecho, en la revisión bibliográfica no se identificaron investigaciones que abordaran esta temática, generando un vacío de conocimiento en cómo la cantidad de eslabones de una cadena de comercialización y la presencia o no de procesos de valor agregado tienen la capacidad de influir en la implementación de la acuicultura a pequeña escala.

En este estudio también se identificaron variables sociales claves para promover la viabilidad en la implementación de proyectos APE. Las redes de colaboración y pertenencia a asociaciones y federaciones de pesca son consideradas como un atributo importante para el capital social (Crona et

al. 2017). El capital social es un elemento crítico para el fortalecimiento organizacional y la implementación de proyectos de acuicultura. No obstante, en este estudio sólo el 50% de las organizaciones reporta tener experiencias de colaboración, lo cual abre una ventana de oportunidad en términos de promover el fortalecimiento organizacional. Por otro lado, el establecimiento de normas y sanciones es considerado otra variable crítica para el desarrollo sustentable de las pesquerías artesanales (Ostrom, 2005). En este estudio se observa que la gran mayoría de las organizaciones tienen estatutos que establecen reglas y sanciones. Sin embargo, la mayoría de los encuestados señala que las sanciones no se aplican cuando existe incumplimiento de éstas. Por lo tanto, el fortalecimiento organizacional requiere promover el establecimiento de mecanismos que permitan asegurar el cumplimiento de las reglas, y en caso contrario, establecer sanciones que permitan prevenir los incumplimientos en el futuro.

Finalmente, se concluye la necesidad de promover una línea de investigación asociada a desarrollar estrategias para fortalecer los criterios de viabilidad para proyectos APE en AMERB y CCAA. Esto requiere profundizar en el entendimiento de las variables y criterios identificadas en esta actividad. Así mismo, la ampliación de la muestra de estudio en una segunda etapa entregará mayores antecedentes sobre las dinámicas socio-organizacionales presentes en el sistema pesquero nacional.

6.3. Estudio de cadena productiva y de valor, y demanda de mercado nacional de algas comerciales y comestibles

Si bien las actividades de APE basadas en macroalgas se encuentran en diferentes etapas de desarrollo, se puede observar un patrón común asociadas a las complejidades que éstas presentan para competir con el sector extractivo. Si bien los productos provenientes de los cultivos poseen atributos que los distinguen de los recursos proveniente de la extracción (FAO, 2018), éstos no son visibles en el valor de transacción. Tomando como ejemplo el caso del pelillo, dentro de las principales limitaciones observadas en el poder de negociación se encuentran las siguientes:

- Elevada competencia en el abastecimiento proveniente de la extracción de praderas naturales, con menores costos de producción, incrementando la oferta de mercado y reduciendo la capacidad de negociación.
- Escasa dependencia al abastecimiento local fresco, ya que parte de éste proviene de otras plantas ubicadas en regiones vecinas, con algún nivel de elaboración preliminar, compitiendo con el abastecimiento de productos frescos, afectando la capacidad de negociar
- El bajo número de plantas productivas, lo que limita la competencia por los productos (oligopsonio).
- Pronósticos de un escenario futuro poco alentador para el mercado de agar agar. Si bien se espera un alza en el precio del 6,5% para los próximos 9 años, los volúmenes de exportación tenderán a descender en el orden del 3%, por lo cual no se espera un crecimiento real en la demanda del sector, ni tampoco una transferencia real en los ingresos de los usuarios, ya que sólo la inflación esperada de la canasta básica (IPC), para el mismo periodo de tiempo proyectado, crecerá cerca de un 15%, superando el alza esperada en los precios y reduciendo los niveles de renta percibida.

Además, los tres productos algales (pelillo, chicoria, cochayuyo) presentan problemas similares respecto de su capacidad de competir con la extracción natural y con el mercado internacional, donde China se ha transformado en un actor principal tanto para el abastecimiento de materias primas como de productos elaborados para el consumo humano directo e indirecto (FAO, 2018) con significativos efectos tanto en los precios y volúmenes de exportación nacional.
Esta situación visibiliza un complejo escenario para las aspiraciones que puede presentar el sector APE algas, ya que deberá lidiar con una fuerte competencia interna, proveniente de la extracción a menores costos de producción, y con un mercado internacional con bajas expectativas de crecimiento.
Considerando que las APE son un conjunto de empresas que se pueden categorizar como PYMES, es importante reflexionar respecto del cómo ha ido evolucionando este sector para ser competitivo y mantener su espacio dentro de un sector productivo cada vez más complejo.
Durante las últimas décadas la literatura vinculada a la competitividad de las PYMES ha ido evolucionando desde las facultades propias de las empresas (capital humano, capacidad organizacional) hacia las capacidades y oportunidades de innovación que presentan (Pomar et al., 2014). Ya a fines del siglo anterior, las PYMES han evidenciado un importante cambio, siendo capaces de ofrecer a sus clientes productos y servicios de calidad, permitiéndoles tener presencia en un mercado cada vez más exigente (Anzola, 2002). Su tamaño les ha dado la posibilidad de innovar para lograr una ventaja competitiva, debido a que su estructura organizacional es más simple y flexible para adaptarse más fácilmente a los cambios de mercado (Lloyd et al. 2002); sin embargo, existen situaciones externas, como la competencia y la globalización, e internas, como las culturales, financieras y de gestión, que limitan el proceso de cambio, razón por la cual muchas de ellas aún no han podido lograrlo (Pomar et al. 2014).

Un factor esencial para mejorar la competitividad de las PYMES es la innovación; lo que implica el desarrollo de nuevos productos y métodos de producción, así como la implementación de nuevas estrategias comerciales y modelos de negocio más sofisticados, dirigidos a mercados de nichos cada vez más especializados (Mueller & Thomas, 2000; Álvarez, 2013; Pomar et al., 2014).
La innovación consiste, en la implementación de un nuevo y/o significativamente mejorado producto o servicio, proceso, estrategia de marketing, método organizacional, práctica de negocio o de relaciones públicas (OCDE, 2005) que genere un valor económico (Álvarez, 2013). La incorporación del factor de la innovación a los sectores productivos que puede influir en el proceso de adaptación a los cambios del entorno y mejorar las oportunidades para alcanzar los objetivos empresariales (Rubio & Aragón, 2006).
No obstante, las PYMES, al igual que el sector APE, se enfrentan a diversas barreras al momento de innovar como son: la falta de recursos financieros, deficiencias en las estrategias de comercialización, insuficiente desempeño de los recursos humanos y débiles gestiones financiera y administrativa (Pomar et al., 2014). Piater (1984) clasifica las barreras de innovación en exógenas y endógenas. Las barreras exógenas son todas aquellas externas a la empresa y pueden dividirse en oferta y demanda. Los obstáculos relacionados a la oferta son la dificultad para la obtención de información sobre tecnología, falta de materias primas y dificultades financieras. Las barreras relacionadas con la demanda son aquellas asociadas a las necesidades de los clientes, su percepción del riesgo y las condiciones en el mercado nacional e internacional. Las barreras endógenas pueden caracterizarse

por la falta de fondos internos, falta experiencia y gestión interna. Considerado lo expuesto, a nivel nacional Alfaro & Caneo (2014), clasifican éstas barreras en cuatro aspectos: factores de costos (obtención de financiamiento), conocimientos (falta de personal calificado en los procesos como en la comercialización), mercado (entorno de la empresa y requerimientos del cliente) y regulatorios (marco regulatorio del emprendimiento y burocracias sectoriales). Según los resultados obtenidos por los autores, a nivel nacional, las principales barreras para la innovación son percibidas en un mayor grado de importancia a medida que se reduce el tamaño de las firmas, siendo los factores de costos y mercado las principales dificultades para estas empresas, particularmente vinculado a la falta de fondos propios y la competencia con empresas establecidas. En este sentido, es de suma importancia la incorporación de mecanismos que faciliten el acceso al financiamiento a aquellas empresas con mayores restricciones al crédito, incrementando el apoyo a programas como capital semilla y capital para el emprendimiento innovador (Alfaro & Caneo, 2014; Pomar et al., 2014).

En esta materia, considerando el marco de acción de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y la ley orgánica que la define (DFL 5 de 1983), se establecen que dentro de las facultades, funciones y atribuciones de la institución se destaca el rol que cumple para el fomento de la actividad productiva y el estudio de medidas que permitan promover y orientar el desarrollo del sector pesquero y acuicultor. Además, bajo la Ley N°21.069, Ley INDESPA del Ministerio de Economía, en su artículo 7a), indica que la Subsecretaría podrá proponer al Consejo Directivo, en cualquier tiempo, programas extraordinarios para su financiamiento, siempre que estén orientados a asegurar el cumplimiento de la normativa y sus objetivos, o la sustentabilidad de las actividades de pesca y acuicultura. Ambas leyes generan un marco que sustenta la elaboración de acciones y mecanismos que vayan dirigidos al apoyo y fomento de la innovación del sector productivo APE, haciendo factible el incremento de la competitividad del sector por medio de incorporación innovación sobre los procesos de transformación y comercialización de dichos recursos.

6.4. Desempeño productivo y ambiental de los cultivos

6.4.1. Sitio Chungungo

C. gigas fue introducida para su cultivo en la bahía de Coquimbo en 1978, con el objetivo de evaluar su adaptación a las condiciones del Pacifico sur, comprobándose, además, que al alcanzar su madurez sexual no se reproducía en condiciones naturales (Munita 1989, Moller *et al*. 2001). Esta especie es euritérmica y eurihalina (Miossec et al., 2009), lo que le permite desarrollarse y sobrevivir dentro de rangos amplios de temperatura (−2 hasta 35 °C) y salinidad (0 hasta 50 psu) (Héral & Deslous-Paoli 1990). Por lo anterior, ha sido cultivada exitosamente en diversos países con resultados variables en cuanto a su tasa de crecimiento. Osorio (1990) obtuvo una tasa de crecimiento de 6,3 mm/mes en Ecuador, mientras que, en Perú, Cisneros *et al* (2000) registraron tasas de crecimiento de 7,70 mm/mes en los años 1995 – 1996, 8,36 mm/mes en la cohorte del año 1996 y de 13,31 mm/mes en la cohorte del año1998, similar a lo registrado por Akaboshi (1979) en Brasil. En cuanto a la supervivencia, Lodeiros *et al* (2018) estimaron una sobrevivencia del 60 al 65% en las costas ecuatorianas, lo que se considera adecuado según Chávez-Villalba (2014). Según estos últimos autores, los reportes sobre las tasas de crecimiento de esta especie en México muestran gran

variabilidad de resultados. Por ejemplo, las tasas de crecimiento en largo de la concha van desde los 0.098 a los 0.502 mm/día, mientras que las tasas de peso total presentan valores desde 0.055 hasta 0.427 g/día. La supervivencia también muestra fluctuación importante con registros desde 11% hasta el 100%. El cultivo instalado en Chungungo B es más bien reciente, por lo tanto, la comparación en las tasas de crecimiento, biomasa y mortalidad de otras experiencias se realizará una vez se realice la cosecha. Esto será reportado en la siguiente etapa del programa.

6.4.2. Cultivos macroalgas, sitios Quinchao, Pudeto y Dalcahue

Los cultivos realizados en Quinchao y Dalcahue para *C. chamissoi*, mostraron diferencias en sus crecimientos, siendo las observadas en Dalcahue mucho mayores (sobre 3 kg/5m) que las observadas en Quinchao (sobre 1 kg/5m). La variabilidad en los valores de temperatura, intensidad lumínica y nutrientes fueron similares para ambas localidades, por lo que otros factores podrían estar influenciando el crecimiento de los cultivos de forma distinta en los lugares (sitio, estructuras de cultivo). Para el caso de *A. chilense*, los valores observados en Pudeto fueron mucho mayores (entre 5 a 7.8 kg/ 5m) que los obtenidos en las demás localidades (Dalcahue entre 3 a 5 kg/ 5m, Quinchao entre 1.9 a 2 kg/ 5 m). El co-cultivo choro zapato-macroalga realizado en Pudeto, mostró valores menores a todos los obtenidos en las demás localidades (entre 0.8 a 1.8 kg/5m), el mejor desempeño productivo solo se alcanzó en el cultivo solo macroalgas, debido a que estas líneas de cultivo no se encontraban asociadas a estructuras tipo camilla. Los valores obtenidos para *C. chamissoi* fueron mayores a lo observado en cultivos en la zona norte (Bulboa & Macchiavello 2006), pero menores a los obtenidos en el ciclo de cultivo 2019-2020 realizado por IFOP (Cárcamo et al. 2020). Los valores obtenidos para *A. chilense* en todos los sectores cultivados fueron menores a lo reportado en cultivos realizados en la región del Biobío (Alveal et al. 1997), pero mayores a los realizados en el ciclo de cultivo 2019-2020 realizado por IFOP (Cárcamo et al. 2020). Los resultados correspondientes a la experiencia de cultivo realizada en la localidad de Dalcahue, para el caso de *C. chamissoi* y *A. chilense*, muestran que los desempeños productivos fueron mayores que los observados en la localidad de Quinchao. Esto podría estar influenciado por la dinámica de mareas del canal Dalcahue, en comparación con el sector de cultivo en Quinchao, que corresponde a una bahía semi cerrada. El desempeño productivo de *A. chilense*, en el estuario del rio Pudeto, mostró un desempeño favorable para dos de los tres tratamientos realizados (solo macroalga y co-cultivo ostra-macroalga). Se evidencia que el cultivo debe tener una duración de 3 a 4 meses, luego la biomasa macroalgal comienza a disminuir y también se observa el aumento de organismos epibiontes. Las diferencias geográficas, hacen que los desempeños productivos de cada organismo cultivado presenten variaciones puntuales, pero permiten demostrar que éstos pueden ser cultivados en distintas condiciones. La incorporación de estructuras de cultivo que optimicen el desempeño productivo es una de los desafíos para el desarrollo de la APE en estas localidades.

6.4.3. Co- cultivo macroalgas-bivalvos (A. chilense – C. gigas; A. chilense – C. chorus), sitio Pudeto.

No se pudo observar un efecto sinérgico evidente del co-cultivo entre bivalvos y macroalgas. Aparentemente el detritus macroalgal producido por *A. chilense*, no alcanza a ser consumido por los

organismos en las camillas de cultivo, probablemente por la dinámica de corrientes mareales presente en el estuario. La presencia de mallas con ostras o cajas con choro zapato sobre las camillas, podrían estar influenciando un menor crecimiento de *A. chilense*, debido a una menor disponibilidad de luz. Los desempeños productivos de *C. gigas* y *C. chorus*, muestran que estos organismos pueden ser cultivados sin problemas en el estuario del rio Pudeto, debido a la disponibilidad natural de alimento presente en el lugar. Respecto al índice de condición para *C. gigas*, para el cultivo solo ostra, los rendimientos productivos que se observan son menores a los del co-cultivo ostra-macroalga, lo que resulta un poco contradictorio, ya que se observó un mayor crecimiento en biomasa para el tratamiento solo ostra. Esto podría estar influenciado por el crecimiento de macroalgas en las estructuras de cultivo (camillas), que podrían estar favoreciendo la retención de partículas en suspensión, a diferencia del cultivo solo ostra, donde no se observó el crecimiento de macroalgas. Se observó un buen desempeño productivo de estos organismos (solo ostra 25.9 ± 9.6 g; co-cultivo ostra-macroalgas 57.9 ± 16.2 g) en comparación con los observados en cultivos realizados por otros autores en ambientes estuarinos (39.5 ± 22.0 g) (Lopes et al. 2013). Para el caso de *C. chorus*, los valores del índice de condición fueron similares entre tratamientos. Los valores para el crecimiento en biomasa alcanzaron, al último monitoreo, sobre los 8 kg/ caja de cultivo para ambos tratamientos, lo que no evidencia que el co-cultivo de estas especies pueda generar un mejor desempeño productivo. Sn embargo, Este tipo de co cultivos, podrían estar favoreciendo la disminución de nutrientes asociados a la eutroficación de los lugares, por el potencial filtrador de los organismos (Wei et al. 2019).

6.4.4. Co-cultivo macroalgas-bivalvos (A. chilense - M. chilensis), sitio Dalcahue.

El co-cultivo entre *M. chilensis* y *A. chilense*, mostró que la potencial generación de detritus macroalgal, no tuvo efectos en el crecimiento de *M. chilensis*. Luego de 80 días de cultivo, la macroalga comenzó a degradarse, y también se observó un aumento en los organismos epibiontes. Para el caso de *M. chilensis* no se observó una disminución en su tasa de crecimiento, lo que evidencia que la oferta alimentaria presentes en el canal Dalcahue, cumple con las necesidades para el cultivo de esta especie. Respecto al índice de condición para *M. chilensis,* se observó que luego de 107 días de cultivo, los organismos correspondientes al tratamiento balsa, presentaron un rendimiento productivo mayor al de los organismos en el tratamiento control (IC balsa final 72.2 ± 24.3 %, IC control final 65.7 ± 23.2 %), mayores a lo observado por otros autores para la especie (IC 39.7 ± 5.3 %) (Díaz et al. 2019). Esto puede estar influenciado por la estructura de cultivo (balsa), donde no se observó el crecimiento de macroalgas, en comparación a los organismos del control que se encontraban en long lines, donde el crecimiento de macroalgas y otros organismos epibiontes podrían influenciar su menor rendimiento. Nuevamente se evidencia que el sitio en donde se cultivan los organismos, proveerá características que permitan un mejor o peor desempeño productivo para los organismos cultivados. La disponibilidad de nutrientes, pareciera no ser una limitante para el desarrollo de los cultivos.

6.4.4. Monitoreo ambiental. Nutrientes.

La variación temporal de los nutrientes nitrógeno total, fue levemente distinta entre localidades. La tendencia fue más similar entre Pudeto y Dalcahue, exceptuando una medición bajo los 0.15 mg/l

durante diciembre 2020 en Pudeto. Para el caso de Quinchao, al inicio del periodo de cultivo se observó una medición bajo los 0.15 mg/L, las que luego aumentaron. Los valores de fosfatos no presentaron variaciones muy marcadas. Los valores de nitrógeno total y fosfato se mantienen dentro de lo reportado por Carrasco & Silva (2007.) Valores menores observados en las localidades de Quinchao (septiembre y noviembre 2020) y Pudeto (noviembre y diciembre 2020), podrían estar influenciados por la disminución de las lluvias en estos periodos, lo que disminuye el aporte de nutrientes desde los sectores aledaños.

6.5. Seguimiento y evaluación de experiencias de cultivo de fondo de algas pardas y rojas en el norte y sur de Chile

6.5.1. Cultivo de fondo de huiro palo en AMERB Chungungo

La explicación más plausible para el desprendimiento de ejemplares observado en esta actividad, corresponde a a la cantidad de cianoacrilato utilizado para la adhesión, puesto que la persistencia de plántulas con discos de fijación de mayor tamaño requería de mayor cantidad de pegamento. Por otra parte, es importante señalar que la corriente y el tamaño de la plántula son factores a considerar al momento de la adhesión, puesto que mientras mayor es longitud del alga y la cantidad de estipes que posea, mayor es la resistencia a la corriente y por lo tanto requería de mayor esfuerzo por parte de los buzos. Westermeier et al. (2013), probaron distintas metodologías de adhesión de fragmentos de discos de *L. berteroana* y *M. pyrifera* en la región de Atacama. Entre los tratamientos probados, los fragmentos trasplantados que se desarrollaron en cantos rodados fueron los más inestables, con desprendimientos de hasta el 90%. Según estos autores, la fijación de fragmentos de algas marinas a los cantos rodados puede ser crítica, porque este tipo de sustrato puede desplazarse fácilmente por fuerzas mecánicas y causar heridas o incluso aplastamiento de las plantas. Además, el efecto abrasivo de las partículas de arena puede ser crítico, dañando estrías y desprendiendo individuos completos. Durante la siguiente etapa del Programa, se realizará el monitoreo de las plántulas supervivientes.

6.6. Validación de metodología para identificar sitios óptimos para desarrollar APE de algas y cultivos multi-especies

La diferencia entre regiones con geografía y condiciones ambientales aparentemente contrastantes no fue particularmente alta. Como ejemplo, existió mayor heterogeneidad y aptitud de cultivo en la región de Los Lagos, particularmente en el mar interior, pero en términos globales estos índices se mantuvieron entre valores de aptitud medios, salvo algunas excepciones, que fueron semejantes para ambas regiones.

Los resultados sugieren que la costa de la provincia del Elqui en la región de Coquimbo posee la mayor aptitud para el cultivo multiespecies, con un rango medio entre 0,56 - 0,61, mientas que, en Los Lagos, las franjas costeras que rodean al golfo de Ancud, sus estuarios y el sur del Seno de Reloncaví

aparecen como las áreas con mayor idoneidad (~0,61). En general, la frecuencia de mayores índices de aptitud de cultivo de la región de Los Lagos corrobora la ventaja geográfica de un régimen ambiental de mar interior para la implementación de cultivos. Excepcionalmente, el estuario del río Pudeto, emerge como un sitio con alto valor para cultivo multiespecies (i.e., 0,76), lo cual contrasta con el escaso desarrollo tecnológico en temas de acuicultura multiespecífica del sector, hoy dedicado casi exclusivamente al cultivo tradicional de pelillo. Esto plantea interrogantes y desafíos sobre posibles esfuerzos dirigidos a la adición, de al menos, las especies de filtradores consideradas en este estudio. Cabe señalar que otros estuarios en esta región (e.g., Maullín) podrían verse favorecidos con la introducción de especies de filtradores comerciales ya que, a su vez, estas especies pueden actuar como control biológico de floraciones de diatomeas y algas verdes (e.g., *Rhizoclonium* sp.) que hoy son frecuentemente observadas en el estuario que en algunas circunstancias afectan la producción de pelillo, con consecuencias socio-ecológicas complejas.

Por otro lado, la poca accesibilidad de muchos sitios de cultivo en la costa de la región de Coquimbo, podría considerarse como un obstáculo para la implementación de acuicultura. Sin embargo, las condiciones bio-físicas parecen otorgar una viabilidad ambiental cercana a la observada en el sur de Chile, ya que, los índices finales no difieren muy significativamente. Esta oportunidad puede requerir inversión en infraestructura y desarrollo social. En esta línea, el desarrollo de sistemas sumergibles de operatividad simple, capaces de aumentar la persistencia de cultivos en zonas expuestas a regímenes de marejadas perennes puede ser un polo de desarrollo tecnológico preponderante dados los resultados de esta modelación.

Variables ambientales altamente valoradas en acuicultura como la disponibilidad de nutrientes, Clorofila a (como proxy de disponibilidad de fitoplancton), salinidad, oxígeno disuelto, oleaje, viento, corrientes marinas y material particulado, parecen no ser limitantes (salvo ejemplos espacialmente acotados, e.g. Fiordo Comau) para el desarrollo tanto de monocultivos o cultivos multiespecies. Las diferencias de accesibilidad geográfica, preferencia de especies por las organizaciones y las capacidades organizacionales podrían ser las variables más importantes a la hora de implementar políticas de desarrollo en acuicultura para pescadores artesanales coherente con realidades locales.

6.7. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de algas y bivalvos co-cultivados (Fase 2)

Como lo evidenciamos en el experimento anterior (Cárcamo et al. 2020), la interacción de especies co-cultivadas a una densidad total, pero en diferentes proporciones puede ser evaluada usando la metodología de series de reemplazo de la interacción entre las especies (De Wit 1960). En ambos experimentos, se observó un RRT significativamente > 1, 0 en co-cultivos, sugiriendo una relación mutuamente positiva en las proporciones iniciales de biomasa de 2:1, 1:1 y 2:1. En estas proporciones, el crecimiento de ambas especies fue estimulado y maximizado en comparación a los mono-cultivos, posiblemente porque por los beneficios mutuos de la interacción metabólica (e.g., excreción/utilización de los desechos de cada una) generada en el medio de cultivo. Esto es una evidencia temprana de que el co-cultivo de macroalgas y bivalvos podría beneficiar la producción de biomasa en APE, ya que

se aprovechan los procesos metabólicos de cada especie para beneficio mutuo (Fernández et al. 2019).

A diferencia del experimento anterior donde se co-cultivo *M. pyrifera* y *M. chilensis* (Cárcamo et al. 2020), RRT fue significativamente mayor en co-cultivos de *C. chamissoi* y *C. gigas*, y *S. skottsbergii* y *C. gigas*. Esto se debe a que la tasa de crecimiento específica de macroalgas y bivalvos fue mayor en los tratamientos de biomasa inicial 2:1, 1:1 y 2:1. Además, en los experimentos reportados aquí, se utilizaron semillas del bivalvo, con una mayor tasa de crecimiento que la mostrada por adultos de *M. chilensis* durante el primer experimento de co-cultivo (Cárcamo et al. 2020). Sin embargo, aún se requiere una evaluación del desempeño de co-cultivos en experimentos de mayor duración y en terreno. Por ejemplo, la temperatura empleada de 15°C no es en la que se registrarían las mayores tasas de crecimiento. En el caso de la macroalga, las condiciones óptimas para la productividad su encuentran entre los 15 y 20°C (Bulboa and Macchiavello 2006). Para el bivalvo, el rango óptimo de temperaturas para crecimiento está entre 11-34°C (Chávez-Villalba 2014). Por lo tanto, sincronizar la temperatura de cultivo en la que macroalgas y bivalvos es un desafío de investigación a abordar para mejorar la productividad de biomasa en co-cultivos.

Las condiciones experimentales de cultivo fueron adecuadas para las especies co-cultivadas. Fv/Fm es un coeficiente que muestra la relación con el porcentaje de centros funcionales del fotosistema II, considerándose un indicador de funcionamiento adecuado del aparato fotosintético (Figueroa et al. 2013); valores reducidos pueden indicar estrés fotosintético y fotoinhibición, además de ser utilizado como indicador de condiciones limitantes de nutrientes (Leal et al. 2020). En el caso de ambos experimentos de co-cultivo, los valores de Fv/Fm para las dos especies de macroalgas rojas están dentro de lo descrito en la literatura (Véliz et al. 2018), indicando que la macroalga no estuvo bajo condiciones de estrés fotosintético y que la disponibilidad de nutrientes no fue limitante (Gordillo et al. 2003; Fernández et al. 2020; Leal et al. 2020). En el caso de C. gigas, la tasa de respiración fue > 2 mg g peso fresco^{-1} en todos los tratamientos de co-cultivo, indicando que su tasa metabólica no fue afectada negativamente por las condiciones experimentales (Gosling 2015; Navarro et al. 2020).

6.8. Determinación del efecto del origen sobre la calidad del alga

Las características fisiológicas y bioquímicas de una especie de macroalga pueden mostrar variaciones estacionales y regionales asociadas a caracteres genéticos de cada cepa y condiciones ambientales locales, tales como temperatura, nutrientes, luz, salinidad (Bermejo et al. 2018, Simatupang et al. 2021). Sin embargo, individuos de *C. chamissoi* provenientes de Pullihue y Quetalmahue mostraron tasas de crecimiento y Fv/Fm similares entre temperaturas de cultivo. Este puede estar relacionado a que los individuos de Pullihue y Quetalmahue forman parte de una misma población, evidenciado por sus respuestas similares a los tratamientos experimentales. Para poder confirmar esta hipótesis, se debe esperar por los resultados de producción de carragenanos bajo las condiciones experimentales. La producción de carragenanos en especies de *Chondracanthus* también depende de las fluctuaciones de factores ambientales tales como temperatura, nutrientes, intensidad de luz y salinidad (Pereira and Mesquita 2004, Véliz et al. 2017). Por ejemplo, la cantidad de

carragenanos es mayor durante primavera-verano que en otoño-invierno en *C. chamissoi* proveniente de Bahía La Herradura, Coquimbo (Véliz et al. 2017). Esta variación se asocia a que, bajo condiciones ambientales adecuadas de luz y temperatura, la macroalga puede producir y almacenar biocompuestos (floridoside y almidón floridano) que son utilizados en la biosíntesis de carragenanos (Pereira & Mesquita 2004, Véliz et al. 2017).

6.9. Construcción de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de algas e invertebrados (Fase 2)

6.9.1. Caso 1. Cultivo de macroalgas

Los resultados permiten identificar el estado de los principales componentes de este sistema y sus relaciones en las diferentes etapas del cultivo de esta especie.
Se identificaron seis etapas (siembra-precosecha-cosecha única- cosecha 1- cosecha 2-postcosecha) dentro del cultivo; a partir de las cuales se desarrollaron cinco modelos. Dentro de todos los modelos destaca la variable manejo como primordial sobre el cultivo, para obtener biomasa de calidad. En cuanto a las cosechas se ofrecen dos opciones al acuicultor: cosecha única o parcializada; la cosecha única y la cosecha 1 de la opción parcializada se comportan del mismo modo, al asumir el mismo comportamiento de la variable macroalga para el mismo periodo de tiempo. Sin embargo, desde el punto de vista productivo siempre es mejor realizar dos cosechas que sola una; esta condición dependerá de la época en que se realice el cultivo.
La modelación semi cuantitativa mediante Loop análisis permite construir modelos tróficos facilitando la visualización de la complejidad de los ecosistemas. Permitiendo, además sugerir respuestas frente a las relaciones e interconexiones de las diferentes variables que conforman un sistema frente a un impacto o perturbación.
Las principales diferencias encontradas entre los modelos desarrollados consisten en las auto-retroacciones establecidas por las perturbaciones del medio sobre las variables; en algunos casos negativas, donde las variables vuelven a su condición inicial y en otros casos positivas ocasionando una respuesta amplificada (Levins 1998).

Para el cultivo de macroalgas, el uso de Loop análisis permitió predecir como estrategia fundamental, para lograr un desarrollo sostenible del sector, mantener durante todas las etapas del cultivo (representada por todos los modelos desarrollados) la limpieza del sistema de cultivo que se utilice, es decir, un sistema de manejo continuo sobre el cultivo.

6.9.2. Caso 2. Co-cultivo mitílidos-macroalgas

La acuicultura de bivalvos filtradores y macroalgas (especies extractivas), a nivel global, ha sido propuesta como de bajo impacto ambiental, tanto por el control indirecto de la eutroficación marina (exceso de nutrientes) a través del consumo de fitoplancton por los mitílidos, como de manera directa, a través de la asimilación de compuestos nitrogenados por las macroalgas (Neori et al. 2004, Barrington et al. 2009, 2010). Ambas especies no requieren fuentes de alimento procesado y en ciertas

circunstancias ambientales, niveles medios o bajos de producción de mitílidos, parecen no afectar de manera exagerada el ecosistema marino (Reusch et al. 1994, Hartstein & Rowden 2004, Borthagaray & Carranza 2007). Sin embargo, el efecto de la engorda de una gran densidad de juveniles ("semillas") de especies estructuradoras de hábitat (e.g., *M. chilensis*, *M. pyrifera*) sobre el ecosistema bentónico, salvo por efectos de la acumulación de desechos y/o detritus orgánico, ha sido escasamente estudiado (Forget et al. 2020a).

Por otro lado, considerando la relevancia en nuestro país de este tipo de acuicultura, ésta es un área que carece de conocimiento pertinente. En esta línea, el efecto potencial de un cultivo de mitílidos a pequeña escala, mientras no acelere procesos que afecten la abundancia de poblaciones de invertebrados que realizan funciones ecológicas clave como el reciclaje de desechos o la persistencia de biomasa para depredadores y herbívoros, puede garantizar escenarios de sustentabilidad. Por otro lado, este tipo de acuicultura, capaz de subsidiar semillas y adultos facilitando la formación de un banco incidental con eventual efecto estructurador sobre la comunidad bentónica, puede ser otro elemento clave, tanto para el aprovechamiento sostenible de especies comerciales, como de la comunidad completa en interacción con el cultivo. Esto es relevante para cualquier escala de cultivo.

En este sentido la APE de mitílidos y macroalgas podría tener un impacto leve (e.g., acumulación de biodepósitos, eutroficación, desechos del cultivo), pero podría asegurar efectos positivos sobre las poblaciones de invertebrados bajo su área de influencia.

Los resultados obtenidos en las tres fases o escenarios de cultivo muestran que, claramente, la estabilidad del sistema acuicultura-ambiente subyace al crecimiento del acuicultor y la función biológica y crecimiento poblacional de los invertebrados locales, comenzando con las especies estructuradoras (Banco emergente de bivalvos) y en segundo lugar, Detritívoros, Suspensívoros sésiles, Macroalgas y consumidores, los cuales son capaces de reciclar los desechos del cultivo y regular el crecimiento comunitario. En este contexto, además, el modelo sugiere que las poblaciones de fito y zooplancton también deben mantenerse en niveles de abundancia cercanos al equilibrio dinámico (AR = 0), lo cual ha sido largamente evidenciado en estudios de capacidad de carga (Dame & Prins 1997).

Un resultado clave es garantizar estabilidad oscilatoria del sistema de acuicultura, representado aquí por el Acuicultor (AR [-]) o la "dependencia" del sistema en el cual se desarrolla el cultivo. Esta idea emanada del modelo, implica la consciencia y reconocimiento social de que el sistema productivo es parte del equilibrio dinámico de un ecosistema que "subsidia" y regula el crecimiento de las especies comerciales.

La gran cantidad de escenarios de inestabilidad, (siempre > al 95% del total) estuvo dominado por auto-retroacciones positivas (o crecimiento no restrictivo), lo que sugiere que la destrucción de hábitat biogénico, ya sea por disturbios causados por contaminación o aprovechamiento/ explotación del banco bajo el cultivo y la comunidad que usa este espacio biogénico como hábitat, desestabilizan el sistema completo propagando estados oscilatorios de mayor inestabilidad (no Sostenibles) que irán en detrimento de la capacidad de resistencia/ recuperación del ecosistema circundante. Por lo tanto, la modelación sugiere que futuros esfuerzos para cualquier iniciativa de manejo y aprovechamiento de recursos bentónicos que apunte a la sustentabilidad y pretenda abordar de manera ecosistémica

efectos positivos o negativos del cultivo de mitílidos (*M. chilensis*) o macroalgas estructuradoras (*M. pyrifera*) o su integración (IMTA), debe considerar el manejo de políticas de explotación bajo estándares de conservación. Esto implica el manejo y cuidado tanto del banco de mitílidos, como de detritívoros y suspensívoros comerciales (e.g., Pepino de mar - *Athyonidium chilensis,* Picoroco - *Autromegabalanus psittacus*), que reciclan materia orgánica, pero también, macroalgas bentónicas, su comunidad de herbívoros (e.g., *L. albus*, *Fissurella* spp.) y depredadores (Decápodos comerciales, Pulpo rojo – *E. megalocyanthus*), especies bajo políticas de explotación en el sur de Chile. Desafortunadamente, los estudios disponibles analizan variables particulares que, si bien, evalúan de manera cuantitativa y con valores de magnitud específica, generalmente, están enfocadas en la especie objetivo y no en la comunidad y hábitat que sustenta su dinámica y, por lo tanto, no consideran o predicen el comportamiento de un sistema en funcionamiento dinámico interconectado.

Por último, se debe considerar que los modelos cualitativos o semicuantitativos construidos y analizados corresponden a representaciones arbitrarias de las variables e interacciones encontradas en la compleja dinámica ecológica del ecosistema costero del mar interior del sur de Chile. Sin embargo, estas limitantes son propias de cualquier modelo independientemente de su nivel complejidad (Levins, 1966, 1994). Primero, el supuesto principal de los modelos expuestos fue (1) el sistema existe dentro de un equilibrio móvil, (2) el Acuicultor y la dirección de su dinámica de cultivo fue el único elemento directamente relacionado con el contexto socio-económico que rodea la acuicultura de organismos acuáticos y (3), los procesos que subyacen los sistemas analizados consideran sólo dinámicas a corto plazo (un ciclo de cultivo) dentro de ecosistemas donde se desarrolla la APE como canales someros y bahías protegidas.

Sin embargo, el método de modelación se acomoda a cualquier escenario con interacciones complejas y poco estudiadas como una herramienta valiosa para la formulación de acciones de monitoreo y toma de decisiones.

6.9.3. Caso 3. Repoblación de huiro palo en comunidad de fondos blanqueados

En el caso de AMERB Chungungo B, se busca determinar las acciones de manejo que permitan cambiar la trayectoria de la sucesión ecológica desde fondos blanqueados a bosques de *L. trabeculata*, a través de acciones de manejo ejecutadas bajo ciertas condiciones de las variables analizadas en este estudio, que permitan la inestabilidad local del sistema.

Algunos estudios han sugerido que los bosques de macroalgas y las comunidades de fondos blanqueados no difieren en términos de biodiversidad, complejidad trófica y riqueza de especies (Graham, 2004; Vásquez et al 2006). Sin embargo, estos resultados difieren a partir de un análisis sistémico basado en la Ascendencia (sensu Ulanowicz,1986; Ulanowicz, 1997) mostrando que los bosques de algas del Península de Mejillones dominada por *M. pyrifera* y *L. trabeculata* construyen sistemas ecológicos más desarrollados, más saludables y menos resistente a las perturbaciones que las propiedades macroscópico cuantificadas para fondos blanqueados (Ortiz, 2008). Una conclusión similar fue sacada por Marzloff et al. (2013), quien utilizó un modelo de análisis de sensibilidad y sugirió que los fondos blanqueados dominados por erizos de mar serían altamente resilientes. Asimismo, el fondo blanqueado también se considerará en un estado degradado en comparación con los bosques de macroalgas (Suding et al 2004, Ortiz 2008; Ling et al 2019). Según Ortiz & Uribe (2021) los criterios

de estabilidad local utilizados podrían ser una técnica adecuada para evaluar la probabilidad de cambios de estados ecológicos transitorios para resistir o cambiar, ya que considera estados en equilibrio para mantener su propiedades solo contra pequeñas perturbaciones Por consiguiente, es importante monitorear la sucesión ecológica de los fondos blanqueados y determinar la estabilidad local de forma constante, con el objeto de determinar el mejor escenario ecológico para cambiar la trayectoria de la sucesión hacia un sistema de bosque de macroalgas. Nuestros resultados muestran que cuando algunas variables como *Pyura chilensis*, peces herbívoros y carnívoros presentan una capacidad de carga entre 0 y k/2 tienden a desestabilizar el sistema y que, además, cuando los pescadores, no tienen restricciones en sus actividades, la inestabilidad local es máxima. Es en estas condiciones cuando es más factible que las acciones de manejo propuestas logren cambiar la estabilidad local del sistema de fondos blanqueados.

6.10. Evaluación del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas

Los resultados sugieren que el sustrato biogénico bajo cultivos del *M. chilensis* es más abundante que en los sitios aledaños de referencia y es capaz de promover una diversa comunidad de organismos epibentónicos. Sin embargo, pareciera que la estructura comunitaria que cohabita sobre el banco emergente de *M. chilensis* se diferencia, en los casos expuestos, de la estructura comunitaria de sitios de referencia cercanos (~200 m). Estas diferencias, medidas bajo tres escalas de cultivo sugieren que, además, el volumen del cultivo y su efecto inherente (bioacumulación) también puede modificar la composición de la estructura trófica de la comunidad sobre el banco de manera consistente al menos en dos temporadas de evaluación.

Por otro lado, si bien se demostró que existe una tendencia al aumento en la diversidad total de especies epibentónicas bajo los cultivos, para los sitios de meso y macroescala, este aumento estuvo acompañado con una disminución en la riqueza de especies de infauna. Esta respuesta de la comunidad de infauna parece seguir el modelo clásico de enriquecimiento orgánico de Pearson-Rosenberg (1978), en donde, con el aumento de la escala de cultivo aumenta de la bioacumulación de fecas y pseudofecas, ocasionando la disminución de la biodiversidad. La infauna, respondió a la presencia de cultivos de meso y macroescala con una mayor abundancia de juveniles (< 1cm) de *M. chilensis* de manera consistente entre fines de noviembre y mediados de marzo, contrastando con sitios de referencia en donde especies de oligoquetos Tuphicidos, *S. algosus* y *A. atra* fueron más abundantes. Sin embargo, la equidad o proporción de individuos de cada especie por muestra se mantuvo con valores similares en todos los sitios de estudio sugiriendo una dominancia homogénea de las especies presentes (*sensu* Clarke, 1993), lo que si bien, indica condiciones relativamente equilibradas en términos comunitarios, también sugiere que especies introducidas por el cultivo alcanzan este estado.

Por otro lado, si bien el volumen de cultivo es capaz de aumentar tasas de bioacumulación, la topografía y el movimiento de agua particular de cada sitio de cultivo pueden jugar un papel clave como ha sido evidenciado en otros estudios sobre efectos ambientales de la mitilicultura. Estos estudios sugieren impactos negativos y/o difusos en condiciones de con regímenes de corrientes

débiles, e.g., 2.28 - 3,14 cm s^{-1} (Chamberlain et al. 2001), 7,13 - 11,2 cm s^{-1} (Hartstein y Rowden 2004), 5 - 18 cm s^{-1} (Callier et al. 2006, 2008). De esta manera, esteros o bahías con baja velocidad de corriente pueden ser más susceptibles a generar condiciones desfavorables para las comunidades marinas asociadas a acuicultura. De acuerdo a esto, factores oceanográficos sitio-específicos pueden ser cruciales en la toma de decisiones para la adecuación espacial y manejo ambiental sustentable, esto funciona a cualquier escala de cultivo.

En este estudio, los sitios de microescala presentaron velocidades de corrientes mayores que los sitios de meso y macroescala, lo que en parte puede explicar las diferencias entre las comunidades estudiadas. Por ejemplo, el sitio de mesoescala en Molulco se encuentra emplazado en los alrededores de la cabeza del estero Compu, lo que puede promover la bioacumulación con consecuencias tanto en los organismos estructuradores como en la comunidad móvil independientemente de la escala de cultivo. Esto se evidenció con valores de riqueza funcional promedio < 1 grupo funcional (0,25 m^{-2}) en todos los grupos medidos exceptuando el de cangrejos carnívoros/generalistas (e.g., *H. edwardsii*) y detritívoros/carroñeros móviles (e.g., *M. gregaria*), los cuáles también respondieron positivamente en otros sitios bajo los cultivos (> 2 especies del mismo grupo en 0,25 m^{-2}). Sin embargo, la riqueza de carnívoros estrictos como grandes gastrópodos murícidos y volútidos (e.g., *Chorus giganteus*, *Fusitron cancellatus*, *Adelomelon ancilla*), estrellas de mar y nudibranquios parecen responder positivamente a microescalas de cultivo, concentrando mayor riqueza funcional en estos sitios. En la práctica, esto reflejaría una disminución en la estructuración trófica en sitios de meso y macroescala, en donde organismos con funciones tróficas claves en el ecosistema, como los carnívoros (Summerson & Peterson 1984, Thrush, 2009, Nicola et al., 2010) son desplazados (o depredados) por cangrejos carnívoros/generalistas y detritívoros móviles que son usualmente atraídos a bancos formados por el desprendimiento de mitílidos desde cultivos (D'Amours et al., 2008). En este sentido, D'Amours et al. (2008), registró una mayor abundancia de estrellas de mar, cangrejos de roca y peces planos a distancias menores a 50 m de cultivos de mitílidos, mientras que Sardenne (2019) documentó que bivalvos caídos desde cultivos se convierten en el alimento más importante para la langosta comercial *Homarus americanus*. Similarmente, Inglis y Gust (2003) determinaron que la disponibilidad de alimentos proporcionada por los choritos bajo los cultivos parece optimizar rasgos reproductivos de depredadores y consumidores ecológica y económicamente importantes. Estas evidencias han sido ratificadas con evaluaciones de interacciones tróficas usando modelos de redes alimentarias en cultivos de bivalvos, sugiriendo aumentos en estos grupos funcionales (Ferriss et al. 2016). Por lo tanto, los resultados sugieren que la atracción de ciertos invertebrados móviles hacia los cultivos puede tener el potencial de mejorar la abundancia de ciertas especies locales, pero también producir efectos tróficos desde los consumidores o presas hacia los depredadores ("bottom-up") a través de un efecto en la preferencia y calidad de presas. Esta interacción entre la acuicultura y diversidad bentónica requerirá mayor atención.

Por otro lado, invertebrados estructuradores como *A. atra*, *C. chorus*, *T. chilensis* y *A. psittacus* estuvieron presentes en sitios de referencia, pero exhibiendo una menor abundancia comparada con los mitílidos bajo el cultivo. Esto sugiere que el efecto del desprendimiento, si bien, puede aumentar la abundancia de organismos estructuradores, también reduce la riqueza funcional de este grupo

frente escalas más elevadas de producción. Como ejemplo, la macroalga *M. pyrifera*, cuya función de facilitador de hábitat es ampliamente conocida (Graham et al., 2007) también fue observada bajo los cultivos, pero con promedios mayores en sitios de microescala. Otra respuesta sitio-específica registrada a microescala (Quihua) reveló que el ensamble de esponjas de sitios bajo el cultivo fue similar al de áreas de referencia. Estos resultados sugieren que al menos, a esta escala de cultivo (~ 200 ton año^{-1}), el proceso de sucesión sobre sustrato biogénico podría promover la diversidad sitio-específica de más especies estructuradoras.

Por último, la riqueza funcional de herbívoros/ramoneadores como *L. albus, A. dufresnii, Pseudechinus magellanicus, T. atra*, fue relativamente mayor en sitios de cultivo, destacando sitios de macroescala, pero con mayor riqueza promedio a microescala en bahía Hueihue con un promedio ~ 2 especies de herbívoros (0,25 m^{-2}). Esta tendencia sugiere que, si bien, la productividad primaria en los hábitats biogénicos bajo los cultivos puede ser variable debido a la profundidad de tales sitios (entre 12 y 26 m) la presencia de los cultivos podría influir en las características atractivas para herbívoros ramoneadores como la disponibilidad del biofilm del fondo, lo que ha demostrado favorecer el reclutamiento de larvas de diversos invertebrados y especies filamentosas (Yang et al., 2016., Bao et al., 2007a), atrayendo mayor variedad de especies herbívoras.

Este estudio ha demostrado por primera vez, que, a pesar de la amplia variabilidad estacional y espacial de los hábitats bentónicos del sur de Chile, la acuicultura de mitílidos genera microhábitats bajo sus instalaciones, y éstos pueden promover, bajo ciertas circunstancias, la diversidad bentónica local. A su vez, la generación de hábitats por el desprendimiento de individuos desde el cultivo tiene efectos disímiles en la riqueza funcional de la comunidad bentónica a mayores escalas de cultivo, con efectos negativos sobre especies claves como moluscos carnívoros y especies estructuradoras, pero, favoreciendo especies de crustáceos generalistas y detritívoros (algunas de éstas de importancia comercial). El efecto de la escala de cultivo es más marcado en la comunidad de la infauna, la cual responde claramente al tamaño del cultivo, presumiblemente por aumentos en la bioacumulación de desechos orgánicos, destacando la sensibilidad de esta comunidad como indicador de impacto ambiental. Sin embargo, la APE podría presentar efectos más beneficiosos o menos invasivos sobre la biota bentónica principalmente por la combinación de la introducción de una especie estructuradora y la baja producción de desechos orgánicos. Finalmente, los factores físico-oceanográficos predominantes y diferencias sitio-específicas pueden jugar un rol fundamental en la generación de efectos positivos. Esta premisa puede ser aplicada a cualquier tamaño de cultivo.

7.CONCLUSIONES

Análisis bio-económico de cultivos multi-especies

-Los resultados mostraron tendencias habituales en acuicultura en el sentido de variaciones interanuales en el resultado económico de los cultivos. Así, mientras en la Etapa 3 (2019–2020) no hubo cultivos que mostraran resultados positivos, en esta Etapa (2020-2021) el 40% de los cultivos mostraron ingresos netos mayores que cero. En este sentido, sería deseable a) mantener el sistema de monitoreo biológico–productivo y b) en lo posible ampliar a cobertura geográfica de éstos a otras localidades, de manera tal que la evaluación de sitios y especies con una alta aptitud para el cultivo económicamente rentable puedan ser conocidas.

-En algunos casos, especialmente en el contexto del cultivo de pelillo, el bajo precio de venta o primera transacción del producto final hace que el cultivo presente dificultades para generar excedentes económicos post–cosecha. En muchos casos, el costo de producir un kilo de alga es más alto que el precio de venta, situación que genera ingresos netos negativos. Para enfrentar esta situación se requiere un enfoque innovador, esto debido a que el productor individualmente no puede regular el precio de mercado para su producción. En este contexto, a) el examinar qué características particulares posee su producto que la hacen diferenciable del mismo producto generado por otro productor. Otra alternativa, b) es dotar al productor de mayor libertad al momento de decidir qué especies cultivar en la siguiente estación productiva en función de las expectativas de precios futuros de las especies potencialmente cultivables, de manera de reproducir lo que actualmente ocurre en la agricultura. Que el productor no tenga otra alternativa legal de cultivar un único recurso le dificulta al productor alcanzar mejores oportunidades económicas. Otra opción es reducir el costo medio de producción, para lo cual el productor debe estar dispuesto a revisar la estructura del costo medio. Por lo general, el costo de la semilla, la instalación de los sistemas, su depreciación y sueldos son los principales ítems para revisar. El caso del cultivo de chorito y pelillo en balsa en Dalcahue es ilustrativo. Aquí la depreciación e instalación de un sistema que resulta ser muy caro en comparación con el potencial biológico debe ser revisado, optando por sistemas más baratos y con mayor tiempo de vida útil. En este sentido apoyo desde la ingeniería de cultivos es requerido También cómo la propia organización aporta en mano de obra para reducir el costo de la mano de obra también es otra alternativa. Por otra parte, también el Estado puede revisar su política pública de cómo incentiva el desarrollo de la APE, poniendo énfasis en estímulos económicos focalizados hacia aquellos ítems más críticos en la estructura de costos de cultivo.

-Es recomendable el monitoreo ambiental y económico–productivo de las especies bajo cultivo en condiciones ambientales distintas al periodo comúnmente evaluado (junio–marzo). Esto permitiría evaluar un ciclo anual completo de producción, con el fin de estimar cuántos ciclos productivos económicamente rentables pueden ser generados en un año.

-Se requiere ampliar el listado de especies disponibles para el cultivo de manera de evaluar un portafolio más plástico y con mayores opciones de selección por parte del cultivador. Esta ampliación

debiera entenderse no solo como distintas especies en distintas localidades, sino que más especies en una misma localidad, de manera de ajustar un portafolio más realista en términos sitio -específico.

Diagnóstico de dinámicas socio-organizacionales que determinan la adopción de prácticas APE por parte de OPA

-Se abordó en forma sistemática e informada (i.e., Metodología Multicriterio) la exploración de factores–dinámicas socio-organizacionales que ayudarían a comprender la adopción de prácticas APE por parte de OPA.

-Ni la muestra ni los resultados intentan ser representativos de la "realidad" en el territorio nacional, sin embargo, son un *prox*y bien fundado teórica y metodológicamente hablando.

-Los criterios y variables seleccionados, tanto del ámbito social como económico, permiten establecer una priorización de las OPA en relación a sus capacidades para implementar APE, pero también estos resultados pueden ser interpretados como áreas a abordar (e.g., en términos de fortalecimiento, promoción, acompañamiento) por parte de agencias del Estado. Por ejemplo, podrían ser adoptados como criterios de elegibilidad a la hora de asignar recursos ($) a proyectos APE por INDESPA. Por otro lado, las mismas variables y criterios analizados y priorizados en este estudio podrían constituirse en áreas de trabajo orientadas al fortalecimiento organizacional de OPA con potencialidad de desarrollar APE.

Estudio de cadena productiva y de valor, y demanda de mercado nacional de algas comerciales y comestibles

-La actividad APE representa un sector importante para el sector pelillo, principalmente para la elaboración de agar agar y colagar en la región de Los Lagos, concentrando una fuerza laboral donde sus ingresos dependen en gran medida del desarrollo de esta actividad.

-Durante los últimos años se ha generado una emigración de personas del sector por no poder percibir una renta que les permita continuar, siendo el precio, uno de los principales problemas mencionado en el sector.

-La obtención de mejores precios de venta presenta una serie de limitaciones tanto en las desiguales condiciones de negociación como por las proyecciones futuras que presenta el crecimiento del sector productivo.

-Para los recursos pelillo, chicoria y cochayuyo se observa un complejo escenario para competir tanto a nivel nacional con la extracción de praderas naturales, como internacional con el crecimiento de la producción proveniente del continente asiático.

-Una alternativa posible para mejorar su competitividad es centrarse en la innovación vinculada a la búsqueda de productos y nichos de mercado donde los atributos propios de la actividad de cultivo (tamaño y calidad) les proporcione un valor por sobre esta competencia.

-Basado en lo anterior, y buscando potenciar la competitividad del sector productivo, se recomienda la elaboración de un programa de fomento a la innovación dirigido directamente a la APE, que involucre desde el financiamiento de productos en su escala temprana (capitales semillas), su escalamiento productivo, así como la selección de mercados, estrategias comerciales y modelos de negocio que mejore la competitividad del sector.

Desempeño productivo y ambiental de los cultivos

-Diferencias en los factores abióticos, no imposibilitan la producción de cultivos a pequeña escala para para macroalgas o bivalvos, en todas las localidades estudiadas.

-Los cultivos de macroalgas mostraron variaciones interanuales en comparación con los desempeños productivos obtenidos en el periodo 2018– 2019 y 2019-2020. Para determinar las causas de tales diferencias, se necesitan estudios a mediano o largo plazo que permitan determinar las diferencias intra e inter-sitios de manera más evidente y poder desarrollar una APE escala más robusta.

-Las densidades iniciales de cultivo de macroalgas evaluadas, no produjeron mejores desempeños productivos.

-Los co-cultivos de bivalvos y macroalgas, no presentaron un buen desempeño para las macroalgas, pero si para bivalvos. La incorporación de bivalvos a los cultivos APE, permitiría la diversificación de especies en cultivo como el estuario del río Pudeto, donde en la actualidad, prácticamente solo se cultiva pelillo.

-El co-cultivo en camillas no es eficiente para las macroalgas, por el efecto de atenuación lumínica que generan, pero permite que ostras y choros zapato crezcan sin problemas. Este tipo de cultivo podría beneficiar el ambiente cercano a las camillas, por la acción filtradora que presentan estos organismos, disminuyendo la concentración de diatomeas o propágulos (e.g., epífitos), beneficiando el cultivo de macroalgas presentes en el lugar.

-Las diferencias de crecimiento de macroalgas en los distintos sitios obedecen a factores sitio específicos, sin embargo, mejoras en los sistemas de cultivo APE (i.e., mejoras en diseño e ingeniería para el cultivo) podrían reducir en gran parte esta variabilidad. También en el caso de los co-cultivos, obtener un mejor aprovechamiento de los potenciales efectos sinérgicos (e.g., oferta de detritus macroalgal).

-Los datos ambientales y el análisis multivariado sugieren que cambios en el conjunto de fuerzas físico-químicas, varían interanualmente, pero esta variación no es determinante para un crecimiento

optimo, si no que revelan el amplio rango ambiental al cual las especies se adaptan a estas variaciones que caracterizan la dinámica ambiental del sur de Chile.

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, como variables ambientales claves, restricciones legales espaciales, atributos sociales y accesibilidad, para evaluación de aptitud de sitios para acuicultura de algas.

-Existe un amplio rango para el cultivo multi-especies, en donde la heterogeneidad espacial de las variables ambientales no actuaría como limitante para su implementación en la mayor parte del área costera considerada en la presente modelación.

-Si bien existen sitios con mejor aptitud para el cultivo que pueden ser moduladas por el comportamiento de las variables ambientales dadas ciertas características de la morfología litoral (e.g., depresión costera del Equi, Golfo de Ancud, estuarios), en términos generales, los rangos de aptitud se mantuvieron alrededor de valores medios (0,46 – 0,61) en gran parte del área costera de ambas regiones. Esto sugiere el potencial intrínseco de cada región y también futuros focos de atención para mejorar áreas con índices medios-bajos (e.g., Costa de la provincia de Choapa y Limarí).

-La exposición al oleaje inherente a cada región, podría considerarse como una desventaja, pero sólo de naturaleza técnica. Esto sugiere que el desarrollo de tecnología acorde (e.g., cultivos sumergibles) debería ser impulsada, pero junto a programas que mejoren la accesibilidad y desempeño organizacional dentro la vasta zona litoral de la región de Coquimbo y zonas alejadas de Los Lagos.

-El modelo multivariables MAPEAME, tiene la capacidad de integrar y valorar atributos de relevancia para desarrollo coherente del espacio costero, cuyos resultados permiten una aproximación holística para manejo y toma de decisiones más integrales a nivel regional. Por otro lado, diferencias puntuales a microescala geográfica (e.g., frecuencia de bahías, radas y afloramientos litorales) y micro-ecológica (e.g., contaminación costera, disponibilidad de semillas, intercambio de agua) pueden influir en el desempeño particular de áreas poco estudiadas, sin embargo, MAPEAME emerge como un aporte para la planificación espacial de la compleja geografía litoral de Chile.

Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de algas y bivalvos co-cultivados

-Los resultados obtenidos aceptan la hipótesis de investigación, ya que los tratamientos de biomasa inicial de co-cultivo influenciaron estadísticamente la tasa de crecimiento de chicorea *C. chamissoi* y ostra japonesa *C. gigas*, y luga roja *S. skottsbergii* y *C. gigas*, mostrando un mayor crecimiento en co-cultivos.

-El análisis de series de reemplazo demuestra que el crecimiento fue maximizado cuando las dos especies fueron cultivadas juntas, lo que sugiere que el co-cultivo de macroalgas y bivalvos podría aumentar la producción de biomasa en APE.

Determinación del efecto del origen sobre la calidad del alga

-Los resultados parciales obtenidos rechazan la hipótesis de investigación, ya que individuos de chicorea *C. chamissoi* provenientes de distintos sitios respondieron de manera similar a los tratamientos de temperatura. Sin embargo, los análisis de carragenanos podrían mostrar diferencias entre sitios de origen.

Construcción de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de algas e invertebrados

Modelación en APE

-Considerando sus limitaciones, el análisis de modelación cualitativa de redes entrega respuestas sobre impactos de la APE sobre los sistemas de cultivo y la comunidad ecológica considerando de forma holística el estado y principales componentes en diferentes etapas de cultivo, y permitiendo sugerir respuestas tanto para el manejo como para variables dentro del sistema.

-El impacto de la APE (e.g., mitílidos y/o macroalgas) aunque puede mantenerse en niveles bajos, sin embargo, debe considerar efectos inmediatos sobre las poblaciones de organismos (de importancia comercial o no) para no alterar equilibrios dinámicos del ecosistema.

-El manejo y mantenimiento del cultivo y un enfoque precautorio de conservación en el posible aprovechamiento de un banco emergente aparecen como factores primordiales, tanto para la obtención de biomasa de calidad como para la conservación del sistema que sustenta la actividad.

-Estrategias que apunten a mejorar y dirigir la percepción del acuicultor sobre las consecuencias de su actividad de manera integrada al funcionamiento del ecosistema parecen ser claves para asegurar la sustentabilidad del ambiente y su productividad en el sur de Chile.

-Esta aproximación de modelación es por primera vez descrita para la acuicultura de nuestro país.

Cultivo de macroalgas

-Para el cultivo de macroalgas, la modelación indica como estrategia fundamental, para lograr un desarrollo sostenible, mantener durante todas las etapas del cultivo (representada por todos los modelos desarrollados) la limpieza del sistema de cultivo que se utilice, es decir, un sistema de manejo continuo.

Co-cultivo mitílidos-macroalgas

-Los modelos presentados han ayudado a entender los efectos del tipo de acuicultura que actualmente se lleva a cabo en el sur de Chile, visualizando, además, medidas de manejo en términos del "aprovechamiento" de un banco emergente bajo un cultivo integrado de mitílidos y macroalgas. Adicionalmente, se han previsto posibles consecuencias del uso inapropiado de recursos marinos (especialmente especies estructuradoras de hábitat) que dependen de la compleja red de interacciones ambientales asociadas al ecosistema bentónico.

-Las medidas de manejo y explotación apuntan al uso coherente y la conservación tanto de hábitats biogénicos subsidiados con el desprendimiento de semillas y adultos de APE, como de grupos de especies con funciones clave (e.g., detritívoros, suspensívoros y consumidores) como estrategia para mantener la actividad dentro de márgenes ambientalmente sostenibles.

-Finalmente, el modelo reconoce el rol de la percepción y consciencia del acuicultor para mantener el equilibrio dinámico que sustenta y facilita sus medios de subsistencia.

Cultivo de fondo (repoblación) de huiro palo en comunidad de fondos blanqueados

-El monitoreo de la estabilidad local del sistema de fondos blanqueados permite determinar las condiciones en la que es factible realizar ciertas acciones de manejo para cambiar la trayectoria ecológica a un sistema de bosque de algas. Es por ello que la acción de repoblación no solo debe consistir en incorporar macroalgas al sistema, sino que considerar otros elementos del ambiente de manera de tener una visión holística de los cambios en la comunidad del sector.

Evaluación del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas

-La acuicultura de mitílidos tiene la capacidad de generar hábitats biogénicos de estructura comunitaria variable.

-La acuicultura APE muestra efectos más beneficiosos presentando una comunidad más diversa en términos específicos y funcionales que cultivos de mayor envergadura.

-Los bancos emergentes de cultivos de mayor escala pueden promover mayor riqueza funcional de invertebrados generalistas, detritívoros y herbívoros/ generalistas, algunos de ellos de importancia comercial (e.g., *H. edwardsii, C. plebejus, L. albus*), pero, disminuyendo la riqueza funcional de otras especies clave dentro del ecosistema.

-Las implicancias socio-ecológicas de efectos beneficiosos/ perjudiciales de la acuicultura de especies extractivas (bivalvos y macroalgas) debería ser discutida en términos del manejo consciente del ecosistema bentónico con todas sus especies y funciones dentro de la comunidad emergente bajo los cultivos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akaboshi S. 1979. Notas sobre el comportamiento de la ostra japonesa Crassostrea gigas (Thunberg 1795) en el litoral del estado de Sao Paulo, Brasil. Boletín Instituto de pesca 5: 93-104.

Álvarez Falcón, C. (2013). Innovación, competitividad y nuevos modelos de negocio. Sinergia E InnovacióN, 1(08). Consultado de http://revistas.upc.edu.pe/index.php/sinergia/article/view/89

Alfaro, S. & W. Caneo. (2014). Obstáculos a la Innovación en la Pequeñas y Medianas Empresas (PYMEs). Seminario para optar al título de Ingeniero Comercial, Mención Economía. Facultad De Economía y Negocios. Escuela De Economía y Administración. Universidad de Chile. 75 p.

Alsufyani, T., Weiss, A., Wichard, T. 2017. Time course exo-metabolomic profilingin the green marine macroalga Ulva (Chlorophyta) for identification of growth phase-dependent biomarkers. *Marine Drugs* 15: 14.

Alsuwaiyan, N., Mohring, M., Cambridge, M. Coleman, M., Kendrick, G. & Wernberg, T. 2019. A review of protocols for the experimental reléase of kelp (Laminariales) zoospores. *Ecology and Evolution* 9: 8387-8398.

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

Alleway H, Gillies C, Bishop M, Gentry R, Theuerkauf S, Jones R (2018) The Ecosystem Services of Marine Aquaculture: Valuing Benefits to People and Nature. Bioscience 69

Anzola, S. (2002). Administración de Pequeñas Empresas. México: McGraw Hill

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

Arrontes, J. 1990. Composition, distribution on host and seasonality of epiphytes on three intertidal algae. Bot. Mar. 33: 205-211.

Asche F., T. Bjorndal & D. Gordon. 2005. Demand structure for fish. SNF Woeking Paper N° 37/05. Institute for Research Economic and Business Administration. ISSN 1503-2140. Bergel. Norway. 44 p.

Astorga M, Silva N (2010) Textura, materia orgánica y composición química elemental (C y N) de sedimentos marinos superficiales de la zona Puerto Montt a Boca del Guafo (Norpatagonia chilena). Lat Am J Aquat Res 38:1–14

Ávila M., Aroca G., Rodríguez D., Riquelme R., Piel MI., Ramírez ME., De Zarate C. 2019. Manual de Buenas Prácticas para el cultivo del Pelillo (*Agarophyton chilensis* ex *Gracilaria chilensis*). Serie programa educativo para la Pesca Artesanal. VI Manual de buenas prácticas para el pelillo.

Ávila, M., Aroca, G., Riquelme, R., Rodríguez, D., Grünewald, A. 2018. Manual cultivo del alga comestible: chasca o chicoria de mar *Chondracanthus chamissoi*. Serie Programa Educativo Participativo para la Pesca Artesanal. V Cultivo de chasca-chicoria de mar. 30 pp. ISBN 978-956-302-105-9.

Ávila, M., Merino, C., Piel, MI., Riquelme, R., Guissen, K., Pizarro, P., Rojas, A. 2017. Manual para el cultivo y repoblamiento del huiro negro (*Lessonia berteroana*) Serie Programa Educativo Participativo para la Pesca Artesanal. III Cultivo y repoblamiento de Huiro negro. 47 pp.

Bao W Y, Satuito C G, Yang J L, Kitamura H. (2007ª). Larval settlement and metamorphosis of the mussel Mytilus galloprovincialis in response to biofilms. Mar Biol, 150: 565–574

Barrington K, Chopin T, Robinson S (2009) Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. In: Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529. Soto D (ed) FAO, Rome, p 7–46

Barrington K, Ridler N, Chopin T, Robinson S, Robinson B (2010) Social aspects of the sustainability of integrated multi-trophic aquaculture. Aquaculture International 18:201–211.

Bermejo, R., Macías, M., Cara, C.L., Sánchez-García, J. & Hernández, I. 2018. Culture of Chondracanthus

teedei and Gracilariopsis longissima in a traditional salina from southern Spain. Journal of Applied Phycology.

Bertolini C, Montgomery I, O'Connor N (2018) Habitat with small inter-structural spaces promotes mussel survival and reef generation. Mar Biol 165

Bi, H. & Turvey, N.D. 1994. Inter-Specific competition between seedlings of Pinus radiata, Eucalyptus regnans and Acacia melanoxylon. *Australian Journal of Botany*. 42:61–70.

Bobadilla, F., Rodríguez-Tirado, C., Imarai, MJ., Galotto, M., Andersson, R. 2013. Soluble b-1,3/1,6-glucan in seaweed from the southern hemisphere and its immunomodulatory effect. *Carbohydrate Polymers* 92: 241–248.

Bolaños R, Sørensen J, Benetazzo A, Carniel S, Sclavo M (2014) Modelling Ocean currents in the Northern Adriatic Sea. Cont Shelf Res 87

Borthagaray AI, Carranza A (2007) Mussels as ecosystem engineers: Their contribution to species richness in a rocky littoral community. Acta Oecologica 31:243–250.

Boulho R., C. Marty, Y. Freile-Pelegrin, D. Robledo, N. Bourgougnon, G Bedoux. 2017. Antiherpetic (HSV-1) activity of carrageenans from the red seaweed Solieria chordalis (Rhodophyta, Gigartinales) extracted by microwave-assisted extraction. J Appl Phycol 29: 2219-2228.

Bridgewater P, Higgs ES, Hobbs RJ, Jackson ST (2011) Engaging with novel ecosystems. Front Ecol Environ 9:423

Bruno J, Bertness M (2001) Habitat modification and facilitation in benthic marine communities.

Bruno JF, Stachowicz JJ, Bertness MD (2003) Inclusion of facilitation into ecological theory. Trends Ecol Evol 18:119–125

Buchholz, CM, Krause, G. y Buck, BH (2012). Algas y hombre. En biología de las algas (págs. 471-493). Springer, Berlín, Heidelberg.

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, Macchiavello J (2006) Cultivation of cystocarpic, tetrasporic and vegetative fronds of Chondracanthus chamissoi (Rhodophyta, Gigartinales) on ropes at two localities in northern Chile. Investig Mar 34:109–112

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

Buschmann AH, Troell M, Kautsky N (2001) Integrated algal farming : A review. Cahiers de Biologie Marine 42:83–90.

Buschmann AH, Vásquez JA, Osorio P, Reyes E, Filún L, Hernández-González MC, Vega A. 2004. The effect of water movement, temperature and salinity on abundance and reproductive patterns of Macrocystis spp. (Phaeophyta) at different latitudes in Chile. Marine Biology 145: 849–862.

Buschmann AH, Moreno C, Vásquez JA, Hernández-González MC. 2006. Reproduction strategies of Macrocystis pyrifera (Phaeophyta) in Southern Chile: the importance of population dynamics. Journal of Applied Phycology 18: 575–582.

Buschmann, AH., MC., Hernández-González & Da Varela. 2008. Seaweed future cultivation in Chile: perspectives and challenges. International Journal of Environment and Pollution 33: 432-456.

Callier M, Mckindsey C, Desrosiers G (2008) Evaluation of indicators used to detect mussel farm influence on the benthos: Two case studies in the Magdalen Islands, Eastern Canada. Aquaculture 278:77–88

Callier M, Weise A, Mckindsey C, Desrosiers G (2006) Sedimentation rates in a suspended mussel farm (Great-Entry Lagoon, Canada): Biodeposit production and dispersion. Mar Ecol Ser - MAR ECOL-PROGR SER 322:129–141

Callier M, Mckindsey C, Desrosiers G (2007) Multi-scale spatial variations in benthic sediment geochemistry and macrofaunal communities under a suspended mussel culture. Marine Ecology Progress Series 348:103–115.

Camus C, Infante J, Buschmann AH (2016) Overview of 3 year precommercial seafarming of Macrocystis pyrifera along the Chilean coast. Reviews in Aquaculture.

Camus, C., Faugeron, S. & A. Buschmann. 2018. Assessment of genetic and phenotipic diversity of the giant kelp, Macrocystis pyrifera, to support breeding programs. *Algal Research* 30:101-112.

Camus C, Hernández-González MDC, Buschmann AH. 2019. The seaweed resources of Chile over the period 2006-2016: Moving from gatherers to cultivators. *Botánica Marina*.

Candia, A., Galleguillos, F., Núñez, M. & Aroca, G.2006. Avances en el mejoramiento productivo del "pelillo". Proyecto FDI – CORFO 01CR3PT-13. Instituto de Fomento Pesquero. 26 pp.

Candia A (2010) Biorremediación de Ambientes Marinos Intervenidos por la Actividad Acuícola a través de Cultivos Integrados de Macroalgas y Crustáceos en la X Región. Puerto Montt.

Candia, A., Núñez, M., Galleguillos, F., Aroca, Y. & Saavedra, S. 2013. Protocolo de Cultivo de Luga Negra y Luga Roja. Proyecto HUAMFONDEF AQ 08I1031. Instituto de Fomento Pesquero, 16 pp.

Candia, A. & M. Nuñez. 2016. Manual de Técnicas de repoblación y cultivo de "luga negra" (*Sarcothalia crispata*). Proyecto HUAM-FONDEF AQ 08I1031. Instituto de Fomento Pesquero, 35 pp.

Capelle J, MR van S, JWM W, PMJ H (2017) Population dynamics of subtidal blue mussels Mytilus edulis and the impact of cultivation. Aquac Environ Interact 9:155–168

Cárcamo F, Henríquez L, Galleguillos F, Saavedra S, Torres D, Pérez H, Cook S, Leal P, Pérez E. 2017. Programa Integral de desarrollo de acuicultura de algas para pescadores artesanales. Etapa 1. .

Carrasco, C., & Silva, N. (2007). Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes entre Puerto Montt y Boca del Guafo (CIMAR 12 Fiordos). *Informes Preliminares. Taller de Resultados Crucero CIMAR*, *10*, 35-46.

Castillo M, Valenzuela C (2008) Circulation regime in the austral Chilean channels and fjords. Valparaíso

Chale-Dzul J., Y Freile-Pelegrin, D Robledo, R Moo-Puc. 2017. Protective effect of fucoidans from tropical seaweeds against oxidative stress in HepG2 cells. J Appl Phycol, 29: 2229-2238.

Chamberlain J, Fernandes TF, Read P, Nickell TD, Davies IM (2001) Impacts of biodeposits from suspended mussel (Mytilus edulis L.) culture on the surrounding surficial sediments . ICES J Mar Sci 58:411–416

Chapman, AS., Stevant, P., Larssen, WE. 2015. Food or fad? Challenges and opportunities for including seaweeds in a Nordic diet. *Botanica Marina* 58: 423–433.

Charrier, B., Abreu, MH., Araujo, R., Bruhn, A., coates, J., De Clerck, O., Katsaros, Ch., Robaina, R., & Wichard, T. 2017. Furthering knowledge of seaweed growth and development to facility. *New Phytologist* 216:967-975.

Chávez-Villalba J (2014) Cultivo de ostión Crassostrea gigas: Análisis de 40 años de actividades en México. Hidrobiológica 24(3):175–190

Chopin, T., SMC Robinson, M. Troell, A. Neori, AH Buschmann & J Fang. 2008. Multitrophic integration for sustainable marine aquaculture. In: Jørgensen SE & BD Fath (eds) Encyclopedia of Ecology, Ecological Engineering, Vol 3: 2463-2475. Elsevier, Oxford, Great Britain.

Chopin T, A Neori, A Buschmann, S Pang & M Sawhney. 2011. Diversification of the aquaculture sector: Seaweed cultivation, integrated multi-trophic aquaculture, integrated sequential biorefineries. Global Aquaculture Advocate (USA): 58-60.

Chung, I. K., Sondak, C. F., & Beardall, J. (2017). The future of seaweed aquaculture in a rapidly changing world. European Journal of Phycology, 52(4), 495-505.

Cisneros R, J. Bautista y J. Arguelles. 2000. Cultivo en ambiente natural de la Ostra del pacifico Crassostrea gigas Thumberg 1975.Informe progrecivo IMARPE 116: 3-16.

Claassens L, Booth A, Hodgson A (2018) An endangered seahorse selectively chooses an artificial structure.

Clarke KR (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Aust J Ecol 18:117–143

Cornish ML, A Critchley, O. Mouritsen. 2017. Consumption of seaweeds and the human brain. J Apply Phycol, 29: 2377-2398.

Craeymeersch JA, Jansen HM (2019) Bivalve Assemblages as Hotspots for Biodiversity BT - Goods and Services of Marine Bivalves. In: Smaal AC, Ferreira JG, Grant J, Petersen JK, Strand Ø (eds) Springer International Publishing, Cham, p 275–294

Crawford CM, Macleod CKA, Mitchell IM (2003) Effects of shellfish farming on the benthic environment. Aquaculture 224:117–140

Crona, B., Gelcich, S., Bodin, Ö., 2017. The Importance of Interplay Between Leadership and Social Capital in Shaping Outcomes of Rights-Based Fisheries Governance. World Development. 91, 70-83.

Crowley E (2020) Impulsar la acuicultura de pequeña escala. AQUA.cl

Dambacher JM, Gaughan DJ, Rochet M-J, Rossignol PA, Trenkel VM (2009) Qualitative modelling and indicators of exploited ecosystems. Fish and Fisheries 10:305–322.

Dame RF, Prins TC (1997) Bivalve carrying capacity in coastal ecosystems. Aquatic Ecology 31.

D'Amours O, Archambault P, CW M (2008) Local enhancement of epibenthic macrofauna by aquaculture activities . Mar Ecol Prog Ser 371:73–84

Dafforn KA, Glasby TM, Airoldi L, Rivero NK, Mayer-Pinto M, Johnston EL (2015) Marine urbanization: an ecological framework for designing multifunctional artificial structures. Front Ecol Environ 13:82–90

Darcy-Vrillon, 1993. Nutritional aspects of the developing use of marine macroalgae for the human food industry. Int. J. Food Sci. Nutr. 44. 23-35.

Delgadillo-Garzón, O. & F. Newmarck. 2008. Cultivo piloto de macroalgas rojas (Rhodophyta) en Bahía Portete, La guajira, Colombia. Bol. Invest. Mar.Cost. Vol. 37 (2) 1-20.

Denny MW (1988) Biology and the Mechanics of the Wave-Swept Environment. Princeton University Press

de Villemereuil, P., Gaggiotti, O.E., Mouterde, M. & Till-Bottraud, I. 2016. Common garden experiments in the genomic era: New perspectives and opportunities. Heredity. 116:249–54.

De Wit, C.T. 1960. On Competition. Versl. Landbouwkd. Onderz. 66. 82.

Díaz F, Pereda S, Buschmann A (2015) Coexistence in a subtidal habitat in southern Chile: The effects of giant kelp Macrocystis pyrifera overgrowth on the slipper limpet Crepipatella fecunda. Journal of the Marine Biological Association of the UK 95:25–33.

Díaz C, Sobenes C, Machino S (2019) Comparative growth of Mytilus chilensis (Hupé 1854) and Mytilus galloprovincialis (Lamarck 1819) in aquaculture longline system in Chile. Aquaculture 507:21–27

Diehl, S., Berger, S., Ptacnik, R., & Wild, A. (2002). Phytoplankton, light, and nutrients in a gradient of mixing depths: field experiments. Ecology, 83(2), 399-411.

Dixon J, Schroeter SC, Kastendick J. 1981. Effects of the encrusting bryozoan Membranipora membranacea on the loss of blades and fronds by the giant kelp *Macrocystis pyrifera* (Laminariales). J. Phycol. 17: 341-345.

Edding ME, Tala FB (2003) Development of techniques for the cultivation of Lessonia trabeculata Villouta et Santelices (Phaeophyceae: Laminariales) in Chile. Aquaculture Research 34:507–515.

Ellwood MDF, Foster WA (2004) Doubling the estimate of invertebrate biomass in a rainforest canopy. Nature 429:549–551

Fairley I, Masters I, Karunarathna H (2015) The cumulative impact of tidal stream turbine arrays on sediment transport in the Pentland Firth. Renew Energy 80:755–769

FAO. 2014. El papel de la mujer en el sector de la pesca artesanal y la acuicultura de menor tamaño en la Región de los Lagos y Biobío, by Godoy, C. Santiago, Chile. Consultoría especialista en pesca y acuicultura con enfoque de género. FAO Chile

FAO. 2015. 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. By Moreno, A.L. y Recio, D., FAO. Chile.

FAO. 2018. The global status of seaweed production, trade and utilization. Globefish research Program. Volumen 124. Rome. 120 p.

FAO (2020) The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome

Feehan, C., Scheibling, R.E., Lauzon-Guay, J.S., 2012. Aggregative feeding behavior in sea urchins leads to destructive grazing in a Nova Scotian kelp bed. Marine Ecology Progress Series 444, 69-83.

Fernández, P.A., Gaitán-Espitia, J.D., Leal, P.P., Schmid, M., Revill, A.T. & Hurd, C.L. 2020. Nitrogen sufficiency enhances thermal tolerance in habitat- forming kelp : implications for acclimation under thermal stress. *Scientific Reports*. 10:3186.

Fernández, P.A., Leal, P.P. & Henríquez, L.A. 2019. Co-culture in marine farms: macroalgae can act as chemical refuge for shell-forming molluscs under an ocean acidification scenario. *Phycologia*. 58:542–51.

Ferreira JG, Bricker SB (2016) Goods and services of extensive aquaculture: shellfish culture and nutrient trading. Aquac Int 24:803–825

Ferriss BE, Reum JCP, McDonald PS, Farrell DM, Harvey CJ (2016) Evaluating trophic and non-trophic effects of shellfish aquaculture in a coastal estuarine foodweb. ICES J Mar Sci 73:429–440

Figueroa, F.L., Jerez, C.G. & Korbee, N. 2013. Use of in vivo chlorophyll fluorescence to estimate photosynthetic activity and biomass productivity in microalgae grown in different culture systems. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 41:801–19.

Filbee-Dexter, K., Scheibling, R.E., 2014. Sea urchin barrens as alternative stable states of collapsed kelp ecosystems. Marine Ecology Progress Series 495, 1-25.

Filgueira R, Byron CJ, Comeau LA, Costa-Pierce B, Cranford PJ, Ferreira JG, Grant J, Guyondet T, Jansen HM, Landry T, McKindsey CW, Petersen JK, Reid GK, Robinson SMC, Smaal A, Sonier R, Strand Ø, Strohmeier T (2015) An integrated ecosystem approach for assessing the potential role of cultivated bivalve shells as part of the carbon trading system. Marine Ecology Progress Series 518:281–287.

Fitton JH.2006. Antiviral properties of marine algae. In: Critchley AT, Ohno M, Largo DB (eds) World seaweed resources. Windows y Macintosch. ETI Information Services, Workingham, U.K., p. 7.

Førde H, Forbord S, Handå A, Fossberg J, Arff J, Johnsen G, Reitan KI (2016) Development of bryozoan fouling on cultivated kelp (Saccharina latissima) in Norway. Journal of Applied Phycology 28:1225–1234.

Forget NL, Duplisea DE, Sardenne F, McKindsey CW (2020a) Using qualitative network models to assess the influence of mussel culture on ecosystem dynamics. Ecological Modelling 430:109070.

Forget NL, Duplisea DE, Sardenne F, McKindsey CW (2020b) Using qualitative network models to assess the influence of mussel culture on ecosystem dynamics. Ecological Modelling 430.

Froehlich HE, Gentry RR, Halpern BS (2017) Conservation aquaculture: Shifting the narrative and paradigm of aquaculture's role in resource management. Biol Conserv 215:162–168

Froehlich HE, Afflerbach JC, Frazier M, Halpern BS (2019) Blue growth potential to mitigate climate change through seaweed offsetting. *Curr. Biol* 29:1–7.

Galia, F. & D. Legros. (2004). Complementarities between Obstacles to Innovation: Evidence from France. Research Policy 33:1185–1199.

Gallardi D (2014) Effects of bivalve aquaculture on the environment and their possible mitigation: a review. Fish Aquac J 5

García-Casal, M.N., Ramírez, J., Leets, I., Pereira, A.C. and Quiroga, M.F. 2009. Antioxidant capacity, polyphenol content and iron bioavailability from algae (*Ulva* sp., *Sargassum sp*. and P*orphyra* sp.) in human subjects. *British Journal of Nutrition* 101 (1), 79–85.

Gedan K, Kellogg M, Breitburg D (2014) Accounting for Multiple Foundation Species in Oyster Reef Restoration Benefits. Restor Ecol 22

Gentry RR, Alleway HK, Bishop MJ, Gillies CL, Waters T, Jones R (2018) Exploring the potential for marine aquaculture to contribute to ecosystem services. Rev Aquac 0

Gonzalez-Poblete E, Hurtado F. CF, Rojo S. C, Norambuena C. R (2018) Blue mussel aquaculture in Chile: Small or large scale industry? Aquaculture 493:113–122

Gordillo, F.J.L., Figueroa, F.L. & Niell, F.X. 2003. Photon- and carbon-use efficiency in Ulva rigida at different CO2 and N levels. *Planta*. 218:315–22.

Gosling, E. 2015. Marine bivalve mollusc. Secon edit. Wiley-Blackwell, Chchester, UK. 524.

Graham, M. (2004). Effects of local deforestation on the diversity and structure of southern California giant kelp forest food webs. *Ecosystems*, 7, 341–357.

Guillemin, ML., Faugeron, S., Destombe, C., Viard, F., Correa, J. & Valero, M. 2008. Genetic variation in wild and cultivated populations of the haploid– diploid red alga gracilaria chilensis: how farming practices favor asexual reproduction and heterozygosity. *Evolution* 20 pp.

Guiry, M.D. y G.M. Guiry. 2015. AlgaeBase. Worldwide electronic publication, National University of Ireland, Galway. http://www.algaebase.org; searched on 05 June 2015.

Gunn K, Stock-Williams C (2013) On validating numerical hydrodynamic models of complex tidal flow. Int J Mar Energy 3–4:e82–e97

Gupta V, Kumari P, Reddy CRK. 2015. Development and characterization of somatic hybrids of *Ulva reticulata* Forsskal (9) *Monostroma oxyspermum* (Kutz.) Doty. *Frontiers in Plant Science* 6: 3.

Gutiérrez J, Jones C, Strayer D, Iribarne O (2003) Mollusks as ecosystem engineers: The role of shell production in aquatic habitats. Oikos 101:79–90

Harrison, Paul J., and Catriona L. Hurd. 2001."Nutrient physiology of seaweeds: application of concepts to aquaculture." Cahiers de biologie marine 42.1-2: 71-82.

Hartstein ND, Rowden AA (2004) Effect of biodeposits from mussel culture on macroinvertebrate assemblages at sites of different hydrodynamic regime. Mar Environ Res 57:339–357

Hasselstrom L, Visch W, Grondahl F, Nylund GM, Pavia H (2018) The impact of seaweed cultivation on ecosystem service—a case study from the west coast of Sweden. *Mar Pollut Bull* 133:53–64.

Häussermann V, Försterra G (2009) Marine benthic fauna of Chilean Patagonia, 1st edn. Nature in Focus, Santiago.

Heijs FML. 1987. Qualitative and quantitative aspects of the epiphytic component in a mixed seagrass meadow from Papua New Guinea. Aquat. Bot. 27: 363-383.

Henríquez LA, Buschmann AH, Maldonado MA, Graham MH, Hernández-González MC, Pereda S V, Bobadilla MI (2011) Grazing on giant kelp microscopic phases and the recruitment success of annual populations of Macrocystis pyrifera (Laminariales, Phaeophyta) in southern Chile. J Phycol 47:252–258

Henríquez-Antipa, LA. & Cárcamo, F. 2019. Stakeholder's multidimensional perceptions on policy implementation gaps regarding the current status of Chilean small-scale seaweed aquaculture. *Marine Policy* 103: 138–147.

Héral, M. & J. M. Deslous-Paoli. 1990. Oyster culture in European countries. In: Menzel, W. (Ed.). Estuarine and Marine Bivalve Mollusc Culture. CRC Press, pp. 153-190.

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

Hillebrand H, Bennett D, Cadotte M (2008) Consequences of dominance: A review of evenness effects on local and regional ecosystem processes. Ecology 89:1510–1520

Hobbs RJ, Higgs E, Harris JA (2009) Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. Trends Ecol Evol 24:599–605

Holdt, S. S. Kraan. 2011. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. J Apl. Phycol, 23:543-597.

Huovinen, P., Leal, P.P. & Gómez, I. 2010. Interacting effects of copper, nitrogen and ultraviolet radiation on the physiology of three south Pacific kelps. Marine and Freshwater Research. 61:330341.

Hurd CL, Durante KM, Harrison PJ. 2000. Influence of bryozoan colonization on the physiology of the kelp *Macrocystis integrifolia* (Laminariales, Phaeophyta) from nitrogen-rich and poor sites in Barkley Sound, British Columbia, Canada. Phycologia 39: 435-440.

IFOP (2017) Estudio del desempeño ambiental de la acuicultura en Chile y su efecto en los ecosistemas de emplazamiento. Puerto Montt

Ito, K. and Hori, K. 1989. Seaweed: Chemical composition and potential foods uses. Food Review International 5: 101-144.

Inglis G, Gust N (2003) Potential indirect effects of shellfish culture on the reproductive success of benthic predators. J Appl Ecol 40:1077–1089

Jakacki J, Przyborska A, Kosecki S, Sundfjord A, Albretsen J (2017) Modelling of the Svalbard fjord Hornsund. Oceanologia 59:473–495

Jara F, Céspedes R (1994) An Experimental Evaluation of Habitat Enhancement on Homogeneous Marine Bottoms in Southern Chile. Bull Mar Sci 55:295–307

Jia B, St-Hilaire S, Singh K, Gardner IA (2017) Biosecurity knowledge, attitudes and practices of farmers culturing yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) in Guangdong and Zhejiang provinces, China. *Aquaculture* 471:146–156.

Jones C, Lawton J, Schachak M (1994) Jones CG, Lawton JH, Shachak M.. Organisms as ecosystem engineers. Oikos 69: 373-386. Oikos 69:373–386

Kambey, C.S.B., Campbell, I., Sondak, C.F.A. 2020. An analysis of the current status and future of biosecurity frameworks for the Indonesian seaweed industry. *J Appl Phycol* 32, 2147–2160.

Kanamori, M., Goshima, S., Mukai, H. 2004. Seasonal variation in host utilization of epiphytic Lacuna species in mixed algal and surfgrass stands in Japan. Mar. Ecol. 25: 51-69.

Keeley N, M FBB, Macleod CK (2013) Novel observations of benthic enrichment in contrasting flow regimes with implications for marine farm monitoring and management. Mar Pollut Bull 66:105–116

Kirk M, Esler D, Boyd W (2007) Morphology and density of mussels on natural and aquaculture structure habitats: Implications for sea duck predators. Mar Ecol Ser - MAR ECOL-PROGR SER 346:179–187

Kountoura K, Zacharias I (2014) Annual hypoxia dynamics in a semi-enclosed Mediterranean gulf. J Mar Syst 139:320–331

Krumhansl K (2012) Production and fate of kelp detritus. Marine Ecology Progress Series 467:281–302.

Kuda, T., Yano, T., Matsuda, N. and Nishizawa, M. 2005. Inhibitory effects of laminar an and low molecular alginate against the putrefactive compounds produced by intestinal microflora in vitro and in rats. *Food Chemistry* 91, 745 – 749

Kuppusamy P, Yusoff MM, Maniam GP, Ichwan SJA, Soundharrajan I y N. Govindan.2014. Nutraceuticals as potential therapeutic agents for colon cancer: a review. Acta Pharmaceutica Sinica B. 4(3):173-181.

Lacoste É, Drouin A, AM W, Archambault P (2018) Low benthic impact of an offshore mussel farm in Îles-de-la-Madeleine, eastern Canada . Aquac Environ Interact 10:473–485

Leal, P.P., Ojeda, J., Sotomayor, C. & Buschmann, A.H. 2020. Physiological stress modulates epiphyte (Rhizoclonium sp.)-basiphyte (Agarophyton chilense) interaction in co-culture under different light regimes. *Journal of Applied Phycology*. 32:3219–32.

Li, Y., Zhou, C., Yan, X., Zhang, J., Xu, J. 2016. Simultaneous analysis of ten phytohormones in *Sargassum horneri* by high-performance liquid chromatography with electros pray ionization mass spectrometry. *Journal of Separation Science* 39: 1804–1813.

Ling, S.D., Johnson, C.R., Frusher, S.D., Ridgway, K.R., 2009. Overfishing reduces resilience of kelp beds to climate-driven catastrophic phase shift. Proceeding of the National Academy of Science of the USA 106, 22341-22345.

Lodeiros C., D. Rodríguez-Pesantes, A. Márquez, J. Revilla, J. Chávez-Villalba y S. Sonnenholzner. 2018. Suspended cultivation of the Pacific oyster Crassostrea gigas in the Eastern Tropical Pacific. Aquacult Int 26:337–347

Lopes GR, Gomes CHA de M, Tureck CR, Melo CMR de (2013) Growth of crassostrea gasar cultured in marine and estuary environments in brazilian waters. Pesqui Agropecu Bras 48:975–982

López DA, López BA, González ML (2008) Shellfish culture in Chile. Int J Environ Pollut

Loureiro, R., Gachon, CMM., Rebours, C. 2015. Seaweed cultivation: potential and challenges of crop domestication at an unprecedented pace. *New Phytologist*206: 489–492

Lloyd, L., K. Muller & S. Wall. (2002). Innovation and educational policy in SMEs: a Czech perspective. Education y Training, 378-387.

Lüning, K. & Dring, M. J. 1972. Reproduction induced by blue light in female gametophytes of Laminaria saccharina. *Planta* 104:252–6.

Lüning, K. & Dring, M.J. 1975. Reproduction, growth and photosynthesis of gametophytes of *Laminaria saccharina* grown in blue and red-light. *Marine Biology* 29: 195–200.

MacArtain P., Gill C., Brooks M., Campbell R. y I.R Rowland. 2007. Nutritional Value of Edible Seaweeds Nutrition Reviews, Vol 65, Issue 12, 1 December 2007, Pages 535–543.

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

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

Macleod CK, Crawford CM, Moltschaniwskyj NA (2004) Assessment of long term change in sediment condition after organic enrichment: defining recovery. Mar Pollut Bull 49:79–88

Marino, M., Breckwoldt, A., Teichberg, M., Kasec, A., Reuter, H. 2019. Aspectos de los medios de vida del cultivo de algas en la isla de Rote, Indonesia. Política de marzo 107: 103600.

Marzloff, M.P., Johnson, C.R., Little, L.R., Soulié, J.C., Ling, S.D. & Frusher, S.D. 2013. Sensitivity analysis and pattern-oriented validation of TRITON, a model with alternative community states: Insights on temperate rocky reefs dynamics. *Ecological Modelling*, 258, 16–32.

McHugh D. 2003. A guide to the seaweed industry. VIII Seaweeds used as human food. FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER 441. : x + 105, 64 figs.

McKindsey CW, Archambault P, Callier MD, Olivier F. 2011. Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: a review1This review is part of a virtual symposium on current topics in aquaculture of marine fish and shellfish. Canadian Journal of Zoology 89: 622–646.

Mckindsey C, Archambault P, Callier M, Olivier F (2013) Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: A review. Can J Zool 89:622–646

Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción (2001) Reglamemto Ambiental Para la Acuicultura. :30

Miossec, L., R. M. Le Deuff & P. Goulletquer. 2009. Alien species alert: Crassostrea gigas (Pacific oyster). ICES Cooperative Research Report No. 299. Copenhagen. 42 p.

Moguillansky, G. & D. Titelman. 1993. Estimación Econométrica de Funciones de Exportación en Chile. Estudio de Economía. Departamento de Economía de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de Chile vol. 20, N°1. 37 pp.

Moller P, P. Sanchez, J. Bariles y A. Muñoz-Pedreros. 2001. Cultivo de la ostra del pacifico Crassostrea gigas una opción productiva para pescadores artesanales en un humedal estuarino del sur de Chile. Gestión Ambiental 7:65-78.

Monsen N, Cloern J, Lucas L, G. Monismith S (2002) A comment on the use of flushing time, residence time, and Age as transport time scales. Limnol Oceanogr 47:1545–1553

Mooney-McAuley, K. M., Edwards, M. D., Champenois J., Gorman, E. 2016. Best Practice Guidelines for Seaweed Cultivation and Analysis, Public Output report of the EnAlgae project, Swansea, June 2016, 36pp.

Morrissey J, Kraan S, Guiry MD. 2001. A guide to commercially important seaweeds on the Irish coast. Bord ascaigh Mhara, Dublin, 66 pp

Mueller, L., & S. Thomas. (2000). Culture and entrepreneurial potential: a nine country study of locus of control and innovativeness. Journal of Business Venturing, 51-75.

Munir N., Sharif N., Naz S. and F. Manzoor. 2013. Algae: A potent antioxidant source. Sky Journal of Microbiology Research Vol. 1(3), pp. 22 – 31.

Munita 1989, Ostra del pacifico: una realidad que partió en Tongoy. Revista Aquanoticias internacional. Fundación Chile 1(1):26-31

Navarro, J.M., Villanueva, P., Rocha, N., Torres, R., Chaparro, O.R., Benítez, S., Andrade-Villagrán, P. V. et al. 2020. Plastic response of the oyster Ostrea chilensis to temperature and pCO2 within the present natural range of variability. *PLoS ONE*. 15:e0234994.

Neill K, Nelson W, Hurd C, Falshaw R. 2018. Growth and carrageenan composition of two populations of the New Zealand carrageenophyte Sarcothalia lanceata (Gigartinaceae, Rhodophyta). Journal of Applied Phycology 30: 2485–2497.

Neish IC, Sepulveda M, Hurtado AQ, Critchley AT (2017) Reflection of commercial development of Eucheumatoid seaweed farming. In: Hurtado AQ, Critchley AT, Neish IC (eds) Tropical seaweed farming trends, problems and opportunities: focus on Kappaphycus and Eucheuma. Springer, Cham, pp 1–27.

Neori A, Chopin T, Troell M (2004) Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. Aquaculture 231:361–391.

Nicola G, Almodóvar A, Benigno E. (2010) Effects of environmental factors and predation on benthic communities in headwater streams. Aquat. Sci. (2010) 72:419–429

Norling P, Kautsky N (2008) Patches of the mussel Mytilus sp. are islands of high biodiversity in subtidal sediment habitats in the Baltic Sea . Aquat Biol 4:75–87

Norziah MH y CY CHING. 2000. Nutritional composition of edible seaweed Gracilaria changii. Food Chemistry, 68:69-76.

OCDE, (2005). Manual de Oslo. OECD: Madrid. 194 p.

Oertel W, Wichard T, Weissgerber A. 2015. Transformation of *Ulva mutabilis* (chlorophyta) by vector plasmids integrating into the genome. *Journal of Phycology* 51: 963–979.

Ortiz, M y Uribe, R. 2021. Comparing the stability of successional transient models in kelp forests and barrens (south-east Pacific): Implications for conservation monitoring. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst.* 2021;1–14.

Ortiz, M. 2008. Mass balanced and dynamic simulations of trophic models of kelp ecosystems near the Mejillones Peninsula of northern Chile (SE Pacific): Comparative network structure and assessment of harvest strategies. *Ecological Modelling*, 216(1), 31–46.

Ortiz M, Levins R, Campos L, Berrios F, Campos F, Jordán F, Hermosillo B, Gonzalez J, Rodriguez F (2013) Identifying keystone trophic groups in benthic ecosystems: Implications for fisheries management. Ecological Indicators 25:133–140.

Osorio V. H. 1990. El cultivo de moluscos en Ecuador. Cultivo de moluscos en America latina. Memorias segunda Reunión grupo de trabajo técnico. Ancud, Isla Chiloé, Chile, noviembre 7-11, 297-309.

Ostrom, E., 2005. Understanding institutional diversity. Princeton University Press, Princeton.

Pearson T, Rosenberg R (1978) Pearson TH, Rosenberg R.. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr Mar Biol Ann Rev 16: 229-311. Oceanogr Mar Biol 16

Pendón, M., E. Williams, N. Cibeira, A. Castroman, R. Couselo & M. Granada. 2013. Enfoques de integración productiva para el desarrollo económico local: cadenas de valor, clústers y redes de empresas. Revisión conceptual y relevamiento de casos. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires. Argentina. 10 p.

Pereira L. 2013. Population Studies and Carrageenan Properties in Eight Gigartinales (Rhodophyta) from Western Coast of Portugal. The Scientific World Journal 2013: 939830.

Perreault, M.C., Borgeaud, I.A., Gaymer, C.F., 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 Ó (2013) 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 25:205–213.

Petraitis, P.S., Dudgeon, S.R., 2004. Detection of alternative stable states in marine communities. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 300, 343-371.

Petersen J, Hasler B, Timmermann K, Nielsen P, Bruunshøj Tørring D, Larsen M, Holmer M (2014) Mussels as a tool for mitigation of nutrients in the marine environment. Mar Pollut Bull 82

Peterson CH, Summerson HC, Duncan PB. 1984. The influence of seagrass cover on population structure and individual growth rate of a suspension-feeding bivalve, <I>Mercenaria mercenaria</I> Journal of Marine Research 42: 123–138.

Piater, A. 1984. Barriers to Innovation. Pinter, London.

Piazzi, L. y Ceccherelli, G. 2019. Effect of sea urchin human harvest in promoting canopy forming algae restoration, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (2019)

Pimm, S. 1980. Food Webs. University of Chicago Press, Chicago, USA.

Pinilla E (2018) Determinación de las escalas de intercambio de agua en fiordos y canales de la Patagonia norte. Valparaíso

Prandle D (1984) A Modelling Study of the Mixing of FormulaCs in the Seas of the European Continental Shelf.

Pomar, S., J.A. Rangel & R. Franco. 2014. La influencia de las barreras a la innovación que limitan la competitividad y el crecimiento de las pymes manufactureras. Administración y Organizaciones, 17(33), 33–57.

Potvin, C. & Roff, D.A. 1993. Distribution-free and robust statistical methods: viable alternatives to parametric statistics. *Ecology*. 74:1617–28.

Ratcliff, J. J., Soler-Vila, A., Hanniffy, D., Johnson, M. P. & Edwards, M. D. 2017. Optimisation of kelp (*Laminaria digitata*) gametophyte growth and gametogenesis: effects of photoperiod and culture media. *J. App. Phycol*. 29:1–10.

Ren L, Zhang J, Fang J, Tang Q, Zhang M, Du M (2014) Impact of shellfish biodeposits and rotten seaweed on the sediments of Ailian Bay, China. Aquac Int 22

Reusch TBH, Chapman ARO, Gröger JP (1994) Blue mussels Mytilus edulis do not interfere with eelgrass Zostera marina but fertilize shoot growth through biodeposition. Marine Ecology Progress Series 108:265–282.

Reyes J, Afonso-Carrillo J. 1995. Morphology and distribution of nongeniculate coralline algae (Corallinaceae: Rhodophyta) on the leaves of the seagrass *Cymodocea nodosa* (Cymodoceae). Phycology 34: 179-190.

Riisgård, H.U., Lundgreen, K. & Larsen, P.S. 2012. Field data and growth model for mussels Mytilus edulis in Danish waters. *Marine Biology Research*. 8:683–700.

Rodgers CJ, Carnegie RB, Chavez-Sanchez MC, Martinez-Chavez CC, Furones Nozal MD, Hine PM (2015) Legislative and regulatory aspect of molluscan health management. *J Invertebr Pathol* 131:242–255.

Romo H, Avila M, Núñez M, Pérez R, Candia A, Aroca G (2006) Culture of Gigartina Skottsbergii (Rhodophyta) in Southern Chile. A Pilot Scale Approach. Journal of Applied Phycology 18:307–314.

Rosen J. y Dillehay, T. D. 1997. Modelling ancient plant procurement and use at Monte Verde. In: TD D (ed.) Monte Verde a late Pleistocene Settlement in Chile, Vol 2. The Archaeological Context and Interpretation, Vol 2 Smithsonian Institution Press, D.C. pp 331-350.

Rubilar T, Epherra L, Deias-Spreng J, Diaz de Vivar M, Lawrence A, Lawrence J (2016) Ingestion, Absorption and Assimilation Efficiencies, and Production in the Sea Urchin Arbacia dufresnii Fed a Formulated Feed. J Shellfish Res 35:1

Rubio, A., & A. Aragón. (2006). Competitividad y recursos estratégicos en las pymes. Revista de Empresa, 32-47.

Rullens V, Lohrer AM, Townsend M, Pilditch CA (2019) Ecological Mechanisms Underpinning Ecosystem Service Bundles in Marine Environments – A Case Study for Shellfish. Front Mar Sci 6:409

Saavedra, S., Henríquez, L., Leal, P., Galleguillos, F., Cook, S., & Cárcamo F. 2019. Cultivo de Macroalgas: Diversificación de la Acuicultura de Pequeña Escala en Chile. Convenio de Desempeño, Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño. Instituto de Fomento Pesquero. 106 pp.

Sagar M, Nair R, Gop A (2019) Stomach Content Analysis Techniques in Fishes.

Saint-Marcoux, D., Billoud, B., Langdale, JA., Charrier, B. 2015. Laser capture microdissection in *Ectocarpus siliculosus*: the pathway to cell-specific transcriptomics in brown algae. *Frontiers in Plant Science* 6: 54.

Sanchez-Machado DI, Lopez-Cervantes J, Lopez-Hernandez J,Paseiro-Losada P. 2004. Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. Food Chem 85:439–444

Santos, S.A.O., Félix, R., Pais, A.C.S., Rocha, S.M. & Silvestre, A.J.D. 2019. The quest for phenolic compounds from macroalgae: A review of extraction and identification methodologies. Biomolecules. 9:1–56.

Sapag, N. y R. Sapag. 2008. Preparación y evaluación de proyectos. 5ª Edición. McGraw – Hill Interamericana. Bogotá, Colombia, 2008. 463 pp.

Sardenne F, Forget N, McKindsey CW (2019) Contribution of mussel fall-off from aquaculture to wild lobster Homarus americanus diets. Mar Environ Res 149:126–136

Schreiber, U., Bilger, W. & Neubauer, C. 1995. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. *In* Schulze, E. D. & Caldwell, M. M. [Eds.] *Ecophysiology of Photosynthesis*. Springer Study Edition, vol 100, Berlin, Heidelberg, pp. 49–70.

SERNAPESCA (2018) Anuario Estadístico de Pesca.

Shea, R. & Chopin, T. (2007). Effects of germanium dioxide, an inhibitor of diatom growth, on the microscopic laboratory cultivation stage of the kelp, Laminaria saccharina. *Journal of Applied Phycology*, 19 (1), 27–32.

Shears, N.T., Babcock, R.C., 2003. Continuing trophic cascade effects after 25 years of no-take marine reserve protection. Marine Ecology Progress Series 246, 1-16.

Sievers HA, Silva N (2008) Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. Valparaíso

Silva, C., J.G. Ferreira, S.B. Bricker, T.A. Delvalls, L. Martín-Díaz & E. Yáñez. 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. 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.

Simatupang, N.F., Pong-Masak, P.R., Ratnawati, P., Agusman, Paul, N.A. & Rimmer, M.A. 2021. Growth and product quality of the seaweed Kappaphycus alvarezii from different farming locations in Indonesia. Aquaculture Reports. 20:100685-undefined.

Smaal AC, Ferreira JG, Grant J, Petersen JK, Strand Ø (2018) Goods and Services of Marine Bivalves (Ø Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K., Strand, Ed.).

Smit, 2004; Ugent D. Tindall DR . 1997. An edible seaweed. In: In Dillehay TD D (ed) Monte Verde a late Pleistocene Settlement in Chile. Vol 2- The Archaeological Context and Interpretation, vol. 2 Smithsonian Institution Press, Washington, DC, pp 911-914.

Sondak CFA, Ang PO Jr, Beardall J, Bellgrove A, Boo SM, Gerung GS, Hepburn CD, Hong DD, Hu Z, Kawai H, Largo D, Lee JA, Lim PE, Mayakun J, Nelson WA, Oak JH, Pang SM, Sahoo D, Peerapornpis Y, Yang YF, Chung IK (2017) Carbon dioxide mitigation potential of seaweed aquaculture beds (SABs). *J Appl Phycol* 29:2363–2373.

Stentiford DG, Sritunyalucksana K, Flegel TW, Williams BAP, Withyachumnarnkul B, Itsathitphaisarn O, Bass D (2017) New paradigms to help solve the global aquaculture disease crisis. PLoS Pathog 13:e1006160.

Strand Ø, Ferreira JG (2019) Introduction to Regulating Services BT - Goods and Services of Marine Bivalves. In: Smaal AC, Ferreira JG, Grant J, Petersen JK, Strand Ø (eds) Springer International Publishing, Cham, p 115–117

Suding, K.N., Gross, K.L. & Houseman, G.R. (2004). Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 19(1), 46–53.

Summerson H, Peterson C (1984) Role of predation in organizing benthic communities of a temperate-zone seagrass bed. Marine Ecology Progress Series. Vol. 15: 63-77, 1

Suplicy F (2018) A review of the multiple benefits of mussel farming. Rev Aquac 12:0–20

Taelman, S. E., Champenois, J., Edwards, M. D., De Meester, S. and Dewulf, J. (2015). Comparative environmental life cycle assessment of two seaweed cultivation systems in North West Europe with a focus on quantifying sea surface occupation. *Algal Research* 11, 173-183.

Takeoka H (1984) Fundamental concepts of exchange and transport time scales in a coastal sea. Cont Shelf Res 3:311–326

Thomsen MS, Wernberg T, Altieri A, Tuya F, Gulbransen D, McGlathery KJ, Holmer M, Silliman BR (2010) Habitat Cascades: The Conceptual Context and Global Relevance of Facilitation Cascades via Habitat Formation and Modification. Integr Comp Biol 50:158–175

Tokeshi M, Romero L (1995) Filling a gap: Dynamics of space occupancy on a mussel-dominated subtropical rocky shore. Mar Ecol Ser 119:167–176

Tomta, D. & C. Chiatchoua. 2009. Cadenas productivas y productividad de las Mipymes. Revista Criterio Libre, Vol. 7, N°11, Bogota, Colombia. 145-164 pp. Revisado el 12 de mayo del 2016. Disponible en: http://www.unilibre.edu.co/CriterioLibre/images/revistas/11/CriterioLibre11art06.pdf

Thrush S, (1999) Complex role of predators in structuring soft-sediment macrobenthic communities: Implications of changes in spatial scale for experimental studies. Australian Journal of Ecology, 24: 344-354. https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.1999.00981.x

Ugent D., Tindall, D.R. 1997. Sargassum: An edible seaweed. In: TD D (ed) Monte Verde a late Pleistocene Settlement in Chile, Vol 2. The Archaeological Context and Interpretation, Vol 2 Smithsonian Institution Press, D.C. pp. 911-914.

Ulanowicz, R. (1986). *Growth & development: Ecosystems phenomenology*.Springer-Verlag Press.

Ulanowicz, R. (1997). *Ecology, the Ascendent perspective*. New York:Columbia University Press.

Valero, M., Guillemin, ML., Destombe, C., Jacquemin, B., Gachon, C., Badis, Y., Buschmann, A:, Camus, C. & Faugeron, S. 2017. Perspectives on domestication reseacr for sustainable seaweed aquaculture. *Perspectives in Phycology* 4(1) 14 pp.

Van der Schatte Olivier A, Jones L, Vay L Le, Christie M, Wilson J, Malham SK (2018) A global review of the ecosystem services provided by bivalve aquaculture. Reviews in Aquaculture 0.

Vásquez, J.A., Vega, J.A. & Buschmann, A.H. 2006. Long term variability in the structure of kelp communities in northern Chile and the 1997–98 ENSO. *Journal of Applied Phycology*, 18, 505–519.

Vásquez JA (2007) Chapter 12 Ecology of Loxechinus albus. In: Lawrence JMBT-D in A and FS (ed) Edible Sea Urchins: Biology and Ecology. Elsevier, p 227–241

Véliz, K., Chandía, N., Karsten, U., Lara, C. & Thiel, M. 2018. Geographic variation in biochemical and physiological traits of the red seaweeds Chondracanthus chamissoi and Gelidium lingulatum from the south east Pacific coast. *Journal of Applied Phycology*.

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.

Walls AM, Kennedy R, Edwards MD, Johnson MP (2017) Impact of kelp cultivation on the Ecological Status of benthic habitats and Zostera marina seagrass biomass. Mar Pollut Bull 123:19–27

Ward, GM, Faisan-Jr JP, Cottier-Cook EJ, Gachon C, Hurtado AQ, Lim PE, Matoju I, Msuya FE, Bass D, Brodie J (2019) A review of reported seaweed diseases and pests in aquaculture in Asia. *J World Aquat Soc* DOI. https://doi.org/10.1111/jwas.126.

Wei Z, Huo Y, Liu Q, Yang F, Long L, Bi H, Fan C, He P (2019) A field scale evaluation of Gracilaria lemaneiformis co-cultured with Crassostrea gigas as a nutrient bioextraction strategy in Yantian Bay, China. Algal Res 38:101407

Wiedemeyer WL, Schwamborn R. 1996. Detritus derived from eelgrass and macroalgae as potential carbon source forMytilus edulis in Kiel Fjord, Germany: a preliminary carbon isotopic study. Helgoländer Meeresuntersuchungen 50: 409–413.

Wijsman JWM, Troost K, Fang J, Roncarati A (2019) Global Production of Marine Bivalves. Trends and Challenges BT - Goods and Services of Marine Bivalves. In: Smaal AC, Ferreira JG, Grant J, Petersen JK, Strand Ø (eds) Springer International Publishing, Cham, p 7–26

Wilcox M, Jeffs A (2017) Is attachment substrate a prerequisite for mussels to establish on soft-sediment substrate? J Exp Mar Bio Ecol 495:83–88

Wilcox M, Kelly S, Jeffs A (2017) Ecological restoration of mussel beds onto soft-sediment using transplanted adults. Restor Ecol:1–10

Wilding, Nickellm (2013) Changes in Benthos Associated with Mussel (Mytilus edulis L.) Farms on the West-Coast of Scotland. PLoS One 8

Winberg, P. Ghosh, D. Tapsell, L. 2009 Seaweed culture in Integrated Multi-Trophic Aquaculture: Nutritional Benefits and Systems for Australia. Publication N° 09/005. Rural Industries research and Development Corporation, Canberra 31 pp.

Wong y Cheung, 2000. Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds: Part I — proximate composition, amino acid profiles and some physico-chemical properties Food Chemistry 71:475-482.

Witman JD (1985) Refuges, Biological Disturbance, and Rocky Subtidal Community Structure in New England. Ecol Monogr 55:421–445

Wong KLC, O'Shea S (2011) The effects of a mussel farm on benthic macrofaunal communities in Hauraki Gulf, New Zealand.

Xu Q, Gao F, Yang H (2016) Importance of kelp-derived organic carbon to the scallop Chlamys farreri in an integrated multi-trophic aquaculture system. Chinese Journal of Oceanology and Limnology 34:322–329.

Yang, J., Guo, X., Ding, D. et al. (2017) Interactions between natural biofilm, substratum surface wettability, and mussel plantigrade settlement. Sci. China Earth Sci. 60, 382–390. https://doi.org/10.1007/s11430-016-0145-1

Yong, Y.S., Yong, W.T.L. & Anton, A. 2013. Analysis of formulae for determination of seaweed growth rate. *Journal of Applied Phycology*. 25:1831–4.

Zhang J, Hansen PK, Fang J, Wang W, Jiang Z (2009) Assessment of the local environmental impact of intensive marine shellfish and seaweed farming—Application of the MOM system in the Sungo Bay, China. Aquaculture 287:304–310

ANEXOS

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