INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2022:
Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura para Pescadores Artesanales y Acuicultores de Pequeña Escala. Etapa VI.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / abril 2023

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 2022:
Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura para Pescadores Artesanales y Acuicultores de Pequeña Escala. Etapa VI.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / abril 2023

REQUIRENTE

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

Subsecretaria de Economía y Empresas de Menor Tamaño
Javiera Constanza Petersen Muga

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Gonzalo Pereira Puchy

Jefe División Investigación en Acuicultura
F. Leonardo Guzmán Méndez

JEFE PROGRAMA

Francisco Cárcamo Vargas

AUTORES

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

COLABORADORES

Karla Álvarez Millán
Daniela Uribe Vargas

CONSULTORES

1. Eduardo Pérez Espinoza
2. Laboratorio de Tecnología en Pesca y Acuicultura (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso)

RESUMEN EJECUTIVO

En el marco del objetivo específico 1 ***"*Proponer modelos de gestión y producción asociados al desarrollo de la acuicultura de pequeña escala*"***, se *revisaron y actualizaron los principales parámetros que determinan la productividad y la estructura de costos de los modelos bio-económicos* construidos en las etapas anteriores y para los cultivos de algas chicoria de mar (*C. chamissoii*) y pelillo (*G. chilensis*) en sistemas suspendidos y de fondo, y de co-cultivos de bivalvos (ostra japonesa *C. gigas* y choro zapato *C. chorus*). En general, los resultados productivos y económicos se muestran variables entre los sitos de estudio y temporadas de cultivo. El sitio Quinchao no muestra buenas condiciones para el desarrollo de cultivos suspendidos de algas. El cultivo de algas en sistemas de fondo (e.g., estacas) se proyecta como una alternativa comercialmente atractiva.

- Respecto a la *propuesta de recomendación de modelos o arreglos socio-organizacionales y administrativos para el desarrollo efectivo de APE*, se desarrolló un análisis a partir de diversas fuentes de información, para diagnosticar y precisar el problema, el cual fue complementado con el estudio de caso de una OPA que está implementando APE en el AMERB de Chungungo B, región de Coquimbo. El problema detectado se puede definir como una carencia de un arreglo jurídico sustentado, que permita que un subgrupo de personas que son parte de un colectivo (e.g., Sindicato, Asociación Gremial, Cooperativa) desarrollen de forma regulada actividades APE dentro de espacios como concesiones de acuicultura o AMERB. Dicha situación se manifiesta como un "problema" principalmente en el ámbito de la acuicultura en AMERB, especialmente en aquellas que han tenido una vocación histórica vinculada a la extracción de recursos bentónicos.

Se sugiere que las OPA que incorporan la APE como un medio de vida alternativo, emprendan un proceso de revisión de su funcionamiento interno y estatutos, dado que desde la institucionalidad aún no se visualiza un arreglo organizacional que dé cuenta de sus actuales necesidades.

Para el desarrollo del objetivo específico 2 *"***Desarrollar cultivos pilotos de pequeña escala en diferentes zonas geográficas del país***"*, se implementaron 6 cultivos en 4 sitios de estudios:

i) Cultivo algal en sistemas de plansas de chicoria 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.
ii) Cultivo de ostra japonesa y ostión del norte (unidad demostrativa) 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.
iii) Co-cultivo 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.
iv) Cultivo en base a portafolio en sistema de cultivo suspendido en CCAA Hueihue, administrada por Justo Lorenzo García Campos (Cultivos Cholche), Comuna de Ancud, Chiloé, región de Los Lagos.
v) Cultivo algal en sistemas de plansas de chicoria y pelillo en CCAA Hueihue, administrada por Justo Lorenzo García Campos (Cultivos Cholche), Comuna de Ancud, Chiloé, región de Los Lagos.

vi) Cultivo multi-especies suspendido (ostra japonesa, ostión del norte y huiro flotador) en AMERB Chungungo B, administrada por la Organización Comunitaria de Buzos Mariscadores "Los Castillo", Caleta Chungungo, región de Coquimbo.

- En los sitios de Quinchao y Hueihue se hicieron experimentos para evaluar el efecto de la densidad de siembra y poda (cosecha) sobre el rendimiento productivo algal.
- Dentro de los hitos destacables de esta etapa, están los resultados del segundo ciclo de cultivo en AMERB Chungungo B, consolidando la implementación del cultivo, la transferencia tecnológica a la OPA y la primera actividad de comercialización de recursos obtenidos en el APE. Los resultados de crecimiento obtenidos en cultivo de ostión del norte y huiro muestran que el AMERB es apta para el desarrollo de la APE.
- Para el sitio Pudeto, se evidencia que la incorporación de organismos filtradores en cultivos estuarinos o de baja profundidad, presentan crecimientos exitosos. De esta forma, los co-cultivos son una real alternativa de diversificación productiva para zonas históricas de monocultivos de pelillo, proporcionando, además, servicios ecosistémicos (e.g., biorremediación), que a futuro serán necesario cuantificar y valorizar.
- Los resultados iniciales de implementación y evaluación productiva de un modelo APE en base a portafolio multi-especies, muestra señales positivas en cuanto a la viabilidad de esta propuesta.
- En general, los resultados productivos y ambientales de todos los cultivos implementados fueron variables entre sitios, pero dentro de los rangos reportados en la literatura y en etapas previas del programa.

Para el desarrollo del objetivo específico 3 *"***Evaluar el efecto del origen y condiciones de cultivo sobre el desempeño fisiológico-productivo de especies claves para el desarrollo de APE***"*, se presentan los resultados experimentales de *co-cultivos de reemplazo* de chorito *M. chilensis* y tres especies de macroalgas (pelillo *G. chilensis*, chicoria *C. chamissoi* y huiro flotador *M. pyrifera*), los que mostraron rendimientos productivos significativamente mayores que los respectivos monocultivos. Sumado a los resultados de etapas anteriores, se confirma que el co-cultivo de macroalgas y bivalvos puede aumentar la producción de biomasa en bivalvos, pero es necesario confirmar esto, en un experimento en el ambiente natural y de mayor duración y escala.

- Respecto a los resultados del estudio de *determinación del efecto del origen o fuente de semillas sobre la calidad del pelillo*, diseñado a partir de información entregada por acuicultores de San Pedro de Nolasco (zona de Maullín), quienes indicaban problemas serios de fragmentación y calidad de sus cultivos. Para ello, se midió la calidad biomecánica de ejemplares de pelillo provenientes de tres localidades: Pudeto, Amortajado (sitio en San Pedro de Nolasco) y Putemún. Se demuestra que la fuerza de ruptura del tejido depende del lugar de origen y que los individuos de Amortajado no fueron los más frágiles en comparación a los otros sitios. Sin embargo, no es posible descartar la información entregada por los acuicultores, ya que la ruptura del tejido vegetativo del pelillo responde a muchas variables ambientales (fuerza de arrastre, presencia de epifitos) y fisiológicas (flexibilidad, reconfiguración) que necesitan ser estudiadas con mucho más detalle en terreno y laboratorio.

Para el objetivo específico 4 *"***Evaluar interacciones ambientales de la acuicultura de pequeña escala***",* se presentan los resultados de *5 campañas de monitoreo (2020-2022) del efecto de la escala productiva de cultivos de mitílidos sobre comunidades bentónicas*. Se evaluaron 6 sitios (i.e., mitiliculturas) según la escala productiva: Micro-escala (1. Canal Quihua, archipiélago de Calbuco; 2. Bahía Hueihue, noreste de la isla de Chiloé); Meso-escala (3. Molulco, estero Compu, Chiloé central; 4. Chalihué, norte de isla Lemuy) y Macro-escala (5. Lingue y 6. La Estancia, ambos en el sector de Rilán, Chiloé central). Se presentan, entre otros, resultados de cobertura del sustrato biogénico, estructura comunitaria epibentónica y de la infauna (e.g., riqueza, riqueza funcional, abundancia, equitatividad), y química del sedimento (materia orgánica total, potencial redox, pH, sulfuros). Se concluye que la acuicultura de mitílidos en el sur de Chile, tiene la capacidad de generar hábitats biogénicos emergentes (Bancos Emergentes, BEm), que facilitan una estructura comunitaria con mayor riqueza. Cultivos de micro-escala o APE, mostraron efectos que favorecen una comunidad más diversa en términos específicos y funcionales comparada con cultivos de mayor escala.

-Respecto a la actividad de *caracterización de juveniles de invertebrados epibentónicos en BEm*, se presentan los resultados de comparación de estructura de tallas de organismos epibentónicos, entre la comunidad de un BEm localizado en Bahía Hueihue y sitios de referencia.

-Respecto a la actividad de *desarrollo de modelos cualitativos APE para mitilicultura y abastecimiento de larvas y semillas*, se desarrollaron 3 modelos que dan cuenta de distintos escenarios de manejo y/o explotación (Escenario 1: cultivo tradicional; Escenario 2: representa el escenario 1 más el efecto de un BEm; y 3) Escenario 3: escenarios 1 y 2 más la adición de un cultivo de chorito *M. chilensis* o "subsidio" para producción de larvas). Los resultados permiten sugerir que la sostenibilidad de la mitilicultura depende de la acción y gestión regulatoria y estudios bioeconómicos, que incluyan herramientas de mitigación de los efectos de una demanda creciente de la industria sobre el pool larval. También, que el correcto uso de los servicios ecosistémicos facilitados por la mitilicultura, como la estructuración del fondo, puede propiciar el aprovechamiento bentónico. Sin embargo, es necesario establecer políticas de uso que garanticen la sostenibilidad sitio-específica del BEm. Finalmente, la implementación de un "subsidio larval por acuicultura" permitiría sostener crecimiento ante el aumento de presiones del mercado (demanda), vinculando a su vez, el uso estratégico de los servicios ecosistémicos de las agregaciones de *M. chilensis* en cultivo, reforzando así, las funciones ecosistémicas de las cuales depende la industria.

- Respecto a la actividad de *validación de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de macroalgas e invertebrados*, se analizaron muestras de contenido gastrointestinal de las muestras biológicas obtenidas en la campaña de monitoreo de marzo del 2022. Estos resultados permitieron la construcción de los modelos ecotróficos. Mediante el modelamiento cuantitativo trófico de redes con Ecopath, se determinó que el efecto estructurador de las agregaciones de bivalvos bajo un cultivo APE tiene el potencial de modificar, relativamente, las propiedades macroscópicas del ecosistema. El sistema BEm puede contribuir con un mayor nivel de organización, complejidad, crecimiento y desarrollo de la comunidad. A su vez, en este hábitat aumentan los estados tempranos de sucesión lo cual lo asemeja a un monocultivo, en donde la Productividad es mayor a la Respiración comunitaria (i.e., costo de mantenimiento del sistema). En este estudio, usando la teoría de Ascendency y Ecopath, se ha evaluado por primera vez, el tamaño, desarrollo, complejidad y resistencia del sistema ecológico de un BEm, mostrando consistencia con valores de propiedades

ecológicas documentadas para bancos de bivalvos y otros hábitats biogénicos como bosques de algas pardas, arrecifes de coral y de ostras.
La resistencia a perturbaciones del BEm modelado, podría indicar el margen de pesca regulada de especies comestibles, para asistir a requerimientos de aprovechamiento de especies. Aunque mayor cantidad de información biológica es requerida para implementar adecuadamente políticas similares al co-manejo (e.g., AMERB) en estos hábitats asociados al cultivo. También es necesaria la integración de acuicultores y la comunidad local para el desarrollo de estrategias de manejo efectivas que aumenten el valor y la protección del ecosistema ligado a este tipo de acuicultura.

Para el objetivo específico 5 *"***Evaluar diseños de sistemas de cultivos para implementar acuicultura de pequeña escala***"*, los resultados de la evaluación mediante simulación numérica, muestran que, a menores velocidades de corriente, la acción del oleaje predomina, afectando principalmente en las primeras unidades de cultivo (linternas) en un sistema de long-line. A mayores intensidades de corriente y oleaje, las últimas linternas (entre la 50 y 100) poseen mayor desplazamiento respecto a las primeras. En general, la dinámica de cada linterna de cultivo depende de la combinación de carga de oleaje y corrientes del sitio. Luego, a medida que las condiciones ambientales son extremas, los desplazamientos y tensiones tienden a ser similares en casi todo el sistema. Los resultados permiten recomendar, para el sistema de fondeo, utilizar muertos másicos mínimos de 6,5 toneladas para la zona sur (mayor energía) y 2,6 toneladas para la zona norte (menor energía) respecto las condiciones oceanográficas evaluadas.
-Respecto a los elementos de flotabilidad, se evaluó la dinámica del sistema long-line, a través de simulación numérica en diferentes condiciones oceanográficas, diferentes etapas de cultivo (recepción, engorda y cosecha) y diferentes escenarios de boyantes. Los resultados, indican que diferentes tipos de boyas, volúmenes, criterios de diseños, materialidad y dimensionamiento pueden supeditar la dinámica del sistema de cultivo long-line ante diferentes condiciones oceanográficas, cambiando el rango de tensiones, rangos de diámetros de cabos y por supuesto, el dimensionamiento del muerto masico para la memoria de cálculo del sistema de fondeo en cada sitio.
Se entregan recomendaciones de dimensionamiento de elementos de flotabilidad y de cabos para los sitios y condiciones oceanográficas y productivas estudiadas.

Para el objetivo específico 6 *"***Realizar acciones de difusión asociadas al desarrollo de la acuicultura de pequeña escala***"*, se desarrollaron las siguientes actividades **i)** mantención y actualización permanentemente de la página web www.sembrandoelmar.cl y las redes sociales (RRSS) asociadas; **ii**) Producción de boletín informativo e infografías APE; **iii**) Taller de difusión de resultados del Informe Final (12 de abril, modalidad on-line vía Google Meet, con asistencia de aproximadamente 80-90 personas); y **iv)** Otras actividades de difusión y divulgación de resultados y alcances del Programa en contextos científicos y de administración pública regional y nacional.

En resumen, el presente informe final da cuenta de las actividades desarrolladas y los resultados obtenidos desde enero del 2022 a fines de marzo del 2023.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO ..... **I**
ÍNDICE GENERAL ..... **V**
1. ANTECEDENTES **1**
2. OBJETIVO GENERAL **4**
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS **4**
4. METODOLOGÍA **5**
4.1. Revisión y actualización de parámetros y modelos bio-económicos de cultivos APE 5
4.2. Propuesta de recomendación de modelos socio-organizacionales y administrativos para el desarrollo efectivo de APE 6
4.3. Obtención de semillas/plántulas de macroalgas e invertebrados para cultivos multi-especies 7
4.4. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos suspendidos y de fondo de macroalgas y multi-especies en el norte y sur de Chile 7
4.5. Validación de modelo de gestión y productivo para APE en base a portafolio multi-especies propuesto para la zona sur (Fase 2) 13
4.6. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de macroalgas y bivalvos co-cultivados (Fase 4) 14
4.7. Determinación del efecto del origen o fuente de semillas sobre la calidad del pelillo *G. chilensis* 16
4.8. Monitoreo del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas 19
4.9. Desarrollo de modelos cualitativos APE para mitilicultura y abastecimiento de larvas y semillas 23
4.10. Validación de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de macroalgas e invertebrados 27
4.11. Propuesta de diseño de sistema de cultivo APE para zona norte y sur, y/o condiciones de mayor exposición (Fase 2) 32
4.12. Mantención y actualización de página web APE y RRSS 35
4.13. Producción de boletín semestral de actividades y resultados del Programa 35
4.14. Producción de material didáctico y de divulgación APE 35
5. RESULTADOS **36**
5.1. Revisión y actualización de parámetros y modelos bio-económicos de cultivos APE 36
5.2. Propuesta de recomendación de modelos socio-organizacionales y administrativos para el desarrollo efectivo de APE 59
5.3. Obtención de semillas/plántulas de macroalgas e invertebrados para cultivos multi-especies 74
5.4. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos de macroalgas y multi-especies en el norte y sur de Chile 74
5.5. Validación de modelo de gestión y productivo para APE en base a portafolio multi-especies propuesto para la zona sur (Fase 2) 116

5.6. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de macroalgas y bivalvos co-cultivados (Fase 4) 119
5.7. Determinación del efecto del origen o fuente de semillas sobre la calidad del pelillo *G. chilensis* 126
5.8. Monitoreo del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas 129
5.9. Caracterización de juveniles de invertebrados epibentónicos en bancos emergentes de APE 150
5.10. Desarrollo de modelos cualitativos APE para mitilicultura y abastecimiento de larvas y semillas 155
5.11. Validación de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de macroalgas e invertebrados 158
5.12. Propuesta de diseño de sistema de cultivo APE para zona norte y sur, y/o condiciones de mayor exposición (Fase 2) 163
5.13. Mantención y actualización de página web APE y RRSS 175
5.14. Producción de boletín semestral de actividades y resultados del Programa 177
5.15. Producción de material didáctico y de divulgación APE 177
5.16. Actividades generales 177
6. DISCUSIÓN 180
6.1. Revisión y actualización de parámetros y modelos bio-económicos de cultivos APE 180
6.2. Propuesta de recomendación de modelos socio-organizacionales y administrativos para el desarrollo efectivo de APE 182
6.3. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos de macroalgas y multi-especies en el norte y sur de Chile 184
6.4. Validación de modelo de gestión y productivo para APE en base a portafolio multi-especies propuesto para la zona sur (Fase 2) 187
6.5. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de macroalgas y bivalvos co-cultivados (Fase 4) 188
6.6. Determinación del efecto del origen o fuente de semillas sobre la calidad del pelillo *G. chilensis* 189
6.7. Monitoreo del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas 190
6.8. Desarrollo de modelos cualitativos APE para mitilicultura y abastecimiento de larvas y semillas 193
6.9. Validación de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de macroalgas e invertebrados 196
6.10. Propuesta de diseño de sistema de cultivo APE para zona norte y sur, y/o condiciones de mayor exposición (Fase 2) 198
7. CONCLUSIONES 200
7.1. Revisión y actualización de parámetros y modelos bio-económicos de cultivos APE 200
7.2. Propuesta de recomendación de modelos socio-organizacionales y administrativos para el desarrollo efectivo de APE 200

7.3. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos de macroalgas y multi-especies en el norte y sur de Chile 200
7.4. Validación de modelo de gestión y productivo para APE en base a portafolio multi-especies propuesto para la zona sur (Fase 2) 201
7.5. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de macroalgas y bivalvos co-cultivados 201
7.6. Determinación del efecto del origen o fuente de semillas sobre la calidad del pelillo *G. chilensis* 201
7.7. Monitoreo del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas 202
7.8. Desarrollo de modelos cualitativos APE para mitilicultura y abastecimiento de larvas y semillas 202
7.9. Validación de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de macroalgas e invertebrados 202
7.10. Propuesta de diseño de sistema de cultivo APE para zona norte y sur, y/o condiciones de mayor exposición (Fase 1 y 2) 203
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 204

ANEXOS

Anexo 1. Informe Asesoría Análisis Bioeconómico cultivos Programa APE Etapa V y VI
Anexo 2. Datos de abundancia y riqueza diversidad bentónica en muestreos de bancos emergentes asociados a la APE
Anexo 3. Informe Asesoría "Evaluación de diseños de sistemas de cultivos para implementar acuicultura de pequeña escala"
Anexo 4. Documentos asociados a las actividades de difusión y divulgación del Programa
Anexo 5. Contenido de Base de Datos del Programa

1. ANTECEDENTES

Las estadísticas de acuicultura para Chile en el año 2021 (Sernapesca 2021), indican cosechas para 20 especies: 3 algas, 7 peces, 9 moluscos y 1 tunicado (**Tabla 1**), correspondiendo 10 de ellas, a especies nativas y 10 a introducidas. Sin embargo, la producción nacional continúa siendo dominada por la salmonicultura (68,9 %) y la mitilicultura (29,5 %), sumando ambas un 98,4 % de la cosecha total nacional. Por otro lado, la producción nacional está concentrada en el sur de Chile, región de Los Lagos (55,7 %), región de Aysén (33,4 %) y región de Magallanes (10,2 %), sumando un 99,3 % de la cosecha total nacional.

Tabla 1.
Especies Cultivadas en Chile (Elaboración propia a partir de datos de Sernapesca 2021).

Grupo	Especie	Cosecha (t)	Participación del total (%)
Algas	Haematococcus	72	0,0050
	Pelillo	15.565	1,0783
	Spirulina	1.361	0,0943
Peces	Corvina	3	0,0002
	Esturión Osetra	7	0,0005
	Salmon del Atlántico	725.280	50,2440
	Salmon Plateado o Coho	213.199	14,7694
	Salmon Rey	23	0,0016
	Trucha Arcoiris	56.656	3,9249
	Vidriola, Palometa o Dorado	8	0,0006
Moluscos	Abalón Japones	2	0,0001
	Abalón Rojo	1.122	0,0777
	Cholga	722	0,0500
	Chorito	424.294	29,3931
	Choro	833	0,0577
	Ostión Del Norte	3.890	0,2695
	Ostión Del Sur	1	0,0001
	Ostra Chilena	398	0,0276
	Ostra Del Pacifico (japonesa)	79	0,0055
Tunicados	Piure	1	0,0001
	TOTAL	**1.443.516**	**100**

La diversificación de especies se ha convertido en una estrategia cada vez más importante y sugerida para el desarrollo de la acuicultura sostenible a nivel mundial (Thomas et al. 2021, Cai et al. 2022b). Aunque hay un número cada vez mayor de especies cultivadas en la acuicultura mundial y la diversificación es alta en algunos casos (Metian et al. 2020, Cai et al. 2022b), en otros, la diversificación se ve restringida por limitaciones en tecnología, rentabilidad, regulaciones, sostenibilidad y entornos propicios, incluyendo la aceptación de la comunidad (Harvey et al. 2017).

Iniciativas públicas 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, con la subsecuente búsqueda de nuevos productos y nichos de mercados. Se espera que el impulso de este tipo de acciones permita 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). Por otra parte, la FAO declaró el 2022 como el Año Internacional de la Pesca y la Acuicultura Artesanales (AIPA 2022). 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. 2014) y diferentes sistemas de cultivos y especies para dar mayor resiliencia al sistema de global de alimentación (Troell et al. 2014).

Por su parte, la acuicultura de macroalgas 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. 2014, Radulovich et al. 2015, Moreira y Pires 2016).

La acuicultura de macroalgas y la APE están siendo promovidas como alternativas productivas y de diversificación de la acuicultura chilena, y también como alternativas o complementos al desarrollo económico de comunidades de pescadores artesanales en un escenario de sobreexplotación o agotamiento de praderas y bancos naturales. A mediano plazo se espera que los impactos productivos aumenten significativamente. Desde el punto de vista normativo existen tres instrumentos que regulan y promueven el desarrollo de la APE: el Decreto N°96 de 2015 que regula las actividades de acuicultura en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), la Ley de Bonificación para el repoblamiento y cultivo de algas, y la Ley de Caletas (Ley Nº 21.027), que regula el desarrollo integral y armónico de las caletas pesqueras a nivel nacional, con lo que se facilita las actividades de acuicultura en el sector pesquero artesanal. Otras normativas se encuentran en tramitación, como el reglamento APE, que fortalecerá y facilitará el desarrollo de nuevas iniciativas productivas. También se puede destacar el impulso esperado a través del financiamiento de iniciativas por parte del Instituto Nacional de Desarrollo Sustentable de la Pesca Artesanal y de la Acuicultura de Pequeña Escala (INDESPA), en reciente implementación.

Por otro lado, para diversas especies de macroalgas nativas se han desarrollo tecnologías de cultivo (e.g., pelillo *G. chilensis*, las lugas *Sarcothalia crispata* y *Sarcopeltis skottsbergii*, los huiros *Lessonia trabeculata* y *Macrocystis pyrifera*, luche *Pyropia sp.*, chicoria de mar *Chondracanthus chamissoi*), lo que junto a la disponibilidad de abastecimiento de semillas de invertebrados como mitílidos y ostreidos, permiten implementar cultivos experimentales y pilotos y evaluar su desempeño productivo, económico y ambiental.

Uno de los nichos potenciales para la implementación de la acuicultura de macroalgas y la APE lo constituyen las AMERB, las concesiones de acuicultura (CCAA) otorgadas a pescadores artesanales y acuicultores de pequeña escala, Espacios Costeros Marinos para Pueblos Originarios (ECMPO) y caletas pesqueras, 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, tales como:

- 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.
- Factibilidad del escalamiento a nivel masivo de la producción de plántulas de macroalgas en invernadero o hatchery.
- Realización de estudios que integren aspectos biológicos, tecnológicos, sociales y económicos para evaluar factibilidad de cultivos a escalas comerciales, dado que éstos son escasos para especies chilenas lo que dificulta la decisión respecto a la inversión (Zuniga-Jara et al. 2016).
- La práctica de la acuicultura requiere de procesos de aprendizaje, capacitación y apropiación tecnológica de parte de los pescadores artesanales y acuicultores de pequeña escala que posibiliten su desarrollo como actividad productiva (Rebours et al. 2014).
- La acuicultura 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 los pescadores artesanales y acuicultores de pequeña escala.
- El 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 en los titulares de CCAA.
- La acuicultura de macroalgas debe dar valor agregado a sus productos o explorar nuevos nichos de mercado (Hafting et al. 2015).
- La posibilidad de cultivar 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, Xiao et al. 2017).
- El desarrollo de la APE 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 piloto y actividades de monitoreo y seguimiento que permitan implementar, evaluar y proponer estrategias y/o acciones para el desarrollo sostenible de la APE en Chile.

El presente programa en su Etapa VI, se desarrollará orientado por el marco que otorgan las instancias anteriormente mencionadas, adicionalmente, se agregan nuevos objetivos y actividades en los ámbitos de la gestión, mejoramiento productivo de cultivos APE, la evaluación de interacciones ambientales de la APE, entre otros, que permiten una mejor comprensión y proyección de su desarrollo en Chile, así como apoyar la toma de decisión de la institucionalidad en términos de fomento, sostenibilidad y regulación ambiental.

2. OBJETIVO GENERAL

Establecer estrategias de desarrollo de Acuicultura de Pequeña Escala en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y concesiones de acuicultura (CCAA) cuyos titulares sean pescadores artesanales y/o acuicultores de pequeña escala.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Proponer modelos de gestión y producción asociados al desarrollo de la acuicultura de pequeña escala.

2. Desarrollar cultivos pilotos de pequeña escala en diferentes zonas geográficas del país.

3. Evaluar el efecto del origen y condiciones de cultivo sobre el desempeño fisiológico-productivo de especies claves para el desarrollo de APE.

4. Evaluar interacciones ambientales de la acuicultura de pequeña escala.

5. Evaluar diseños de sistemas de cultivos para implementar acuicultura de pequeña escala.

6. Realizar acciones de difusión asociadas al desarrollo de la acuicultura de pequeña escala.

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 pequeña escala.*

4.1. Revisión y actualización de parámetros y modelos bio-económicos de cultivos APE

En etapas anteriores de este programa (2017 a 2021), se han desarrollado modelaciones bio-económicas en diferentes etapas del proceso productivo vinculado al desarrollo de la APE. En la Etapa I (2017) se estableció la metodología base para la modelación bio-económica de la etapa de cultivo de macroalgas en fase de mar, la cual se basó en el desarrollo de 3 sub-modelos (biológico, tecnológico y económico) los cuales fueron alimentados con información disponible en fuentes secundarias para 4 recursos (pelillo, huiro flotador, chicoria de mar y luga negra), asumiendo dos productos finales (macroalga húmeda v/s semi-seca), diferentes superficies productivas (desde 3 hasta 10 ha) y dos vías de financiamiento (con y sin crédito). En la Etapa II (2018) se abordó la modelación bio-económica de la etapa de producción de semillas o plántulas (fase hatchery) para los mismos recursos considerados en la Etapa I, a través de un diseño tipo (teórico) de hatchery y el costo de producción de plántulas basado en fuentes de información secundarias. En las Etapas III, IV y V (2019 a 2021) se ha recopilado y analizado información basada en experimentos de campo para evaluar bio-económicamente sistemas suspendidos de cultivos de macroalgas y co-cultivos de macroalgas y moluscos filtradores.

En la Etapa VI se realizó una revisión y actualización de los aspectos más críticos considerados en los diferentes sub-modelos construidos en las evaluaciones bio-económicas anteriores, como por ejemplo: influencia de epibiontes y actualización de parámetros de crecimiento, redefinición de productos finales potenciales y mercados alternativos de destino, ajuste de unidades productivas posibles de operar en superficies de producción APE (asumiendo que la normativa en curso, i.e., Reglamento APE, estará plenamente tramitado y vigente), revisión de costos de insumos, costos de producción, costos de mano de obra e internalización de los mismos por Organizaciones de Pescadores Artesanales (OPA), costos actualizados de venta, determinación de puntos de referencia respecto a las utilidades a obtener, entre otras variables críticas.

4.2. Propuesta de recomendación de modelos socio-organizacionales y administrativos para el desarrollo efectivo de APE

Durante la ejecución del programa, se ha acumulado evidencia empírica que muestra que a pesar de que la Política Pública vinculada a la promoción de la APE, la normativa sectorial y bases administrativas de los concursos de proyectos de diversas fuentes de financiamiento promueven la participación de las OPA como un todo, en la formulación, ejecución y eventual distribución de beneficios derivados de la ejecución de iniciativas de APE; en la práctica, son grupos reducidos de socios y socias dentro de los Sindicatos (u otra personalidad jurídica que los agrupe) los que muestran un "real" interés o disposición por participar de las iniciativas de implementación y desarrollo de APE. De esta forma, se plantea como hipótesis de trabajo que, las OPA, incluyendo a todos los miembros de la organización, no son los que en su conjunto adoptan prácticas APE como medios de vida alternativos a labores extractivas, sino que son grupos más pequeños que, funcionalmente pueden operan mejor que la organización completa.

Para el desarrollo de esta actividad se realizó: i) un análisis bibliográfico respecto de las motivaciones a nivel grupal o individual que permiten incorporar la acuicultura como un medio de vida en comunidades costeras de pescadores artesanales, explorando principalmente: modelos organizacionales que hacen viable la implementación y continuidad de prácticas APE, y cómo se ha resuelto este problema en otras áreas productivas (e.g., agricultura), y ii) una consulta a expertos en temáticas socio-organizacionales relativas a la acuicultura y/o sectores productivos similares. Complementariamente, se consideró el análisis de instrumentos de evaluación socio-organizacional aplicados en etapas pasadas el programa (Etapa II: Evaluación de Potencialidades Organizacionales y Biofísicas de OPA titulares de AMERB en la región de Los Lagos; Etapa IV: Diagnóstico de dinámicas socio-organizacionales que determina la adopción de prácticas de acuicultura a pequeña escala por parte de Organizaciones de Pescadores Artesanales) y el análisis de un caso de estudio basado en la experiencia de implementación APE de la Organización Comunitaria "Los Castillo" en Chungungo (región de Coquimbo). Se espera que el análisis de las fuentes de información disponibles permita proponer arreglos organizacionales alternativos a la figura del Sindicato como un todo en cuanto a la adopción de prácticas APE. Los resultados se contrastaron con la normativa vigente y las bases de los diversos concursos de proyectos vinculados a la promoción de APE.

Objetivo específico 2: *Desarrollar cultivos pilotos de pequeña escala en diferentes zonas geográficas del país.*

4.3. Obtención de semillas/plántulas de macroalgas e invertebrados para cultivos multi-especies

Plántulas de macroalgas y semillas de invertebrados fueron obtenidas desde cultivo en hatchery mediante producción propia (Centro Experimental Hueihue) 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).

4.4. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos suspendidos y de fondo de macroalgas 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, se continuará evaluando el desempeño productivo de diversas configuraciones de co-cultivos y cultivos multi-especies. Cultivos experimentales que se han iniciado durante el período 2020-2021, se continuaron evaluando en nuevos ciclos productivos, y además, se implementaron nuevas configuraciones de combinaciones de especies en cultivo en los siguientes 4 sitios pilotos, previa obtención/actualización de los permisos sectoriales correspondientes:

-AMERB Chungungo B, cuyo titular es la Organización Comunitaria de Buzos Mariscadores “Los Castillo”, Caleta Chungungo, comuna de La Higuera, región de Coquimbo.
-CCAA (agua y fondo) en rio Pudeto, cuyo titular es el Sindicato de Trabajadores Independientes Cultivadores y Explotadores de algas y recursos bentónicos Pupelde, comuna de Ancud, Chiloé, región de Los Lagos.
-CCAA (agua y fondo) en estero Quinchao, cuyo titular es la Corporación Municipal de Quinchao para la Educación, Salud y Atención al Menor, comuna de Quinchao, Chiloé, región de Los Lagos.
-CCAA (agua y fondo) en bahía Hueihue, cuyo titular es Justo Lorenzo García Campos (Cultivos Cholche), comuna de Ancud, Chiloé, región de Los Lagos.

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

Para la Etapa VI, la selección de especies a cultivar y sus proporciones (i.e., configuración del cultivo) será 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)**. Independiente de lo anterior, en la **Tabla 3** se presentan las propuestas iniciales de configuraciones de cultivo que se propondrán a las OPA para implementar durante el año 2022.

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
Macroalgas	*Macrocystis pyrifera* (Huiro flotador)	extractiva inorgánica
Macroalgas	*Lessonia trabeculata (Huiro palo)*	extractiva inorgánica
Macroalgas	*Sarcothalia crispata* (Luga negra)	extractiva inorgánica
Macroalgas	*Sarcopeltis skottsbergii* (Luga roja)	extractiva inorgánica
Macroalgas	*Gracilaria chilensis* (Pelillo)	extractiva inorgánica
Macroalgas	*Chondracanthus chamissoi* (Chicoria de mar)	extractiva inorgánica
Macroalgas	*Durvillaea antarctica* (cochayuyo)	extractiva inorgánica
Macroalgas	*Pyropia* sp. (luche)	extractiva inorgánica

Tabla 3.
Configuraciones de co-cultivos y cultivos multi-especies según sitio de estudio.

Sitio Estudio	Tipo Cultivo	Macroalgas	Invertebrados
CCAA Hueihue	-Multi-especies suspendido en plansa	Chicoria, pelillo	
	-Portafolio de especies*	Chicoria, pelillo	Chorito, choro zapato, ostión del norte, ostra japonesa
AMERB Chungungo	-Multi-especies suspendido en long-lines	Huiro	Ostión del norte, ostra japonesa
CCAA río Pudeto	-Co-cultivo de fondo en camillas	Pelillo	Ostra japonesa, choro zapato
CCAA Quinchao	-Multi-especies suspendido en plansa**	Chicoria, pelillo	
	-Cultivo suspendido en linternas***		Ostión del norte, ostra japonesa

* Ver detalle en sección 4.5.
** En este sitio y cultivo se evaluará el efecto de la densidad de siembra y/o régimen de cosecha
*** Se implementará un cultivo demostrativo para capacitar en manejo y monitoreo de cultivo de bivalvos, a estudiantes de la especialidad de Acuicultura del Liceo Bicentenario Insular de Achao.

4.4.2. Monitoreo del desempeño productivo y ambiental

El crecimiento de macroalgas e invertebrados en cultivos será monitoreado mensualmente y hasta alcanzar talla comercial según la especie. Muestras representativas serán obtenidas desde cada uno de los cultivos y de cada una de las especies cultivadas. Para macroalgas, muestras serán extraídas para calcular biomasa m^{-1} lineal (e.g., cultivo en long-lines o plansa). Se calculará la tasa de crecimiento standard relativa (i.e., $rSGR= ((Ln\ peso_{final} — Ln\ peso_{inicial})/(t_{inicial} — t_{final}))$ y se cuantificaron epibiontes (g peso húmedo m^{-1} lineal). Para invertebrados, se estimará 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 determinará 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, choro zapato y ostiones se estimará mortalidad.
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 cada monitoreo y en los sitios del sur, se filtraron muestras de agua de mar *in situ* (0,45 µm) para la determinación de la concentración de nutrientes (nitratos totales y fosfatos).
Periódicamente y junto a pescadores y/o acuicultores se realizará acompañamiento y supervisión en la mantención de los cultivos.

4.4.3. Efecto de la densidad de siembra

En los sitios Hueihue y Quinchao se determinará el efecto de dos densidades de siembra (alta y baja) sobre la productividad de pelillo y chicoria de mar. Para cada especie y en cada sitio, se utilizará como sistema de cultivo, un sistema de plansas de 50 m de longitud compuesto de 10 unidades de plansa de 5 m de longitud x 1 m de ancho (**Figura 1**). A su vez, cada unidad del sistema estará compuesta por 5 líneas (**Figura 1**), las que serán sembradas con dos densidades de macroalgas. Las líneas con alta y baja densidad de siembra dentro de cada unidad de plansa (5 m) serán ubicadas siguiendo un diseño “aleatorio” de manera que cada unidad de plansa tendrá líneas con ambas densidades a lo largo de los 50 m del sistema de cultivo. Este arreglo permitirá determinar efectos aleatorios de borde que puedan aumentar la variabilidad de las mediciones. Por lo tanto, cada línea sembrada dentro de cada unidad de plansa será tratada como una muestra independiente. Mensualmente, se realizaron mediciones según lo indicado en la **Sección 4.2.2**. Las mediciones mensuales serán llevadas a cabo hasta que la tasa de crecimiento en cada monocultivo tienda a cero, previa revisión e interpretación de la tasa de crecimiento de los datos colectado de terreno. La producción total final de ambas densidades será medida como la extrapolación final del peso húmedo promedio (±SD) de ambas densidades en 100 m de cultivo tipo plansa para cada especie y sitio de cultivo.
Las potenciales diferencias entre densidades, especies y sitios serán medidas a través de análisis del peso húmedo máximo de ambas densidades de cultivo con la densidad como factor fijo y el sitio como factor aleatorio.

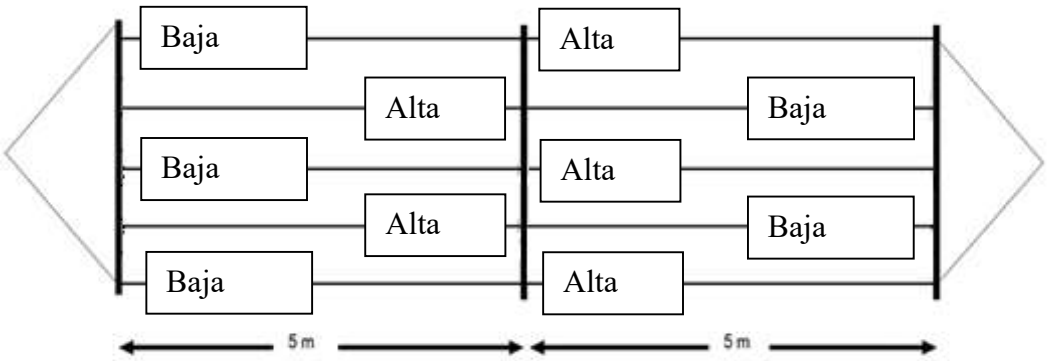

Figura 1. Esquema de la vista superior del sistema de plansas (2 unidades) para cultivo de macroalgas y medición de efectos de densidad de cultivo.

4.4.4. Efecto del régimen de cosecha

Para evaluar el efecto de cosechas repetidas (régimen de cosecha), se determinará un tiempo óptimo/viable de cosecha, previo análisis de datos de crecimiento standard relativo (SGR en etapas anteriores del programa). Con este intervalo de tiempo como referencia, se realizarán cosechas o raleos para evaluar la capacidad de crecimiento de pelillo y chicoria de mar en sistemas de cultivo.
En los sitios Hueihue y Quinchao, se implementará un sistema de cultivo tipo plansa de características similares al anteriormente descrito (**Sección 4.4.3**), donde se evaluará el efecto de dos regímenes de cosecha. La longitud del sistema será de 30 m, compuesto por 3 unidades de pelillo (15 m) y 3 unidades de chicoria (15 m). Una unidad de plansa compuesta de 5 líneas de 5 m de longitud será cosechada con una Frecuencia 1, mientras que, una segunda unidad de plansa será cosechada con una Frecuencia 2, registrando en ambas y en cada ocasión, el peso húmedo promedio (±SD). Esta operación será repetida para ambas especies en cultivo. Finalmente, una unidad de plansa de cada especie será evaluada mensualmente sin cosecha y utilizada como control, según lo indicado en la **Sección 4.4.2.**
El crecimiento sucesivo será evaluado contra el crecimiento continuo del control, comparando la biomasa total producida al final del periodo de cultivo. Las potenciales diferencias entre regímenes de cosecha serán medidas a través de Análisis de Varianza.

Todos los datos obtenidos desde los cultivos pilotos permiten:

-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

4.4.5. Monitoreo de cultivo de fondo de macroalgas pardas

Huiro palo (*L. trabeculata*) es una de las especies de macroalgas más estudiadas en Chile, dada su importancia ecológica y económica. Sus características únicas (plantas de aproximadamente 2 m que forman poblaciones perennes en el submareal, crecimiento lento y larga vida útil) contrastan con los altos niveles de explotación actuales, que suministran materia prima para la producción de alginatos y alimento para cultivos de abalón (Westermeier et al. 2017). 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. 1993, Vásquez y Vega 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). En conjunto con otras especies de macroalgas pardas forman parte clave de las economías costeras de la zona norte de Chile (Vásquez y Vega 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 huiro palo que hoy ya no existe por efectos antrópicos.

En la Etapa IV del programa se implementó un cultivo de fondo mediante translocación de plántulas desde otra AMERB. El día 30 de abril del 2021 se realizó la extracción de 105 plántulas en el AMERB Chañaral de Aceituno, las que fueron trasladadas para ser adheridas en AMERB Chungungo B. 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) Se seleccionaron plántulas desde 3 a 13 cm de diámetro de disco con una mayor frecuencia de 5 a 7 cm. 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. Las plántulas fueron trasladadas en cajas térmicas con agua de mar y gel packs para mantener la temperatura **(Figura 2).** El mismo día se procedió al traslado a la localidad de Chungungo, marcado y adhesión de plántulas en los sitios seleccionados **(Figura 3).** Las plántulas fueron llevadas a un sector con sombra, en donde fueron clasificadas por tamaño de disco. Se formaron grupos de 5 algas de diversos tamaños (N total= 105, distribuidos en 4 sitios con 4 grupos de 5 plántulas, y un sitio con 5 grupos de 5 plántulas). 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**.** Una vez marcadas las algas se pusieron nuevamente en las cajas térmicas para ser transportadas al AMERB. Cada sitio fue marcado por GPS **(Figura 4)**. 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). Durante el desarrollo de esta etapa se siguió monitoreando los sectores repoblados.

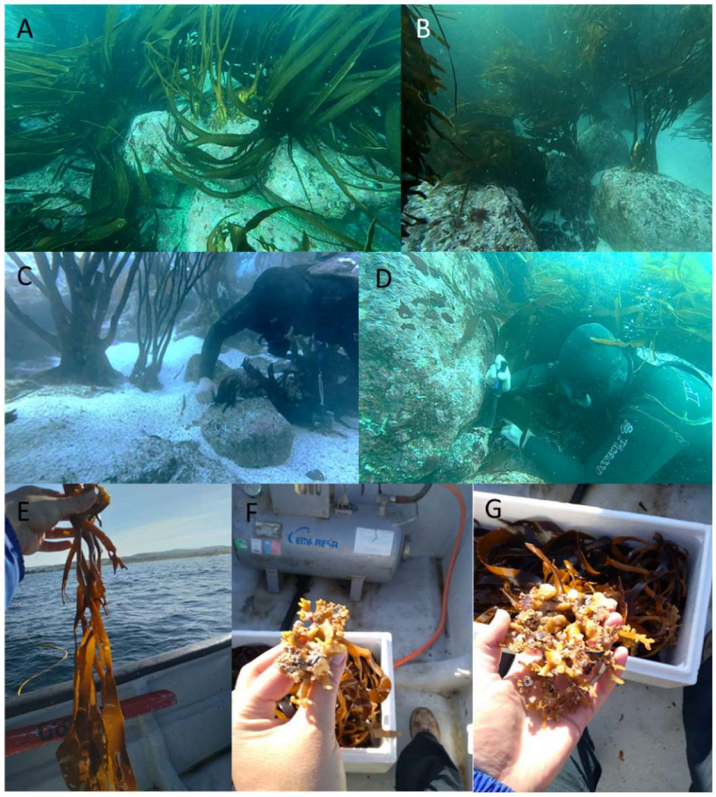

Figura 2. Fotografías de la extracción de plántulas de *L. trabeculata* para traslocación en AMERB Chañaral de Aceituno. A y B) Fotografías de la condición de la pradera de *L. trabeculata*. C) y D) Buzos extrayendo las plántulas. E), F) y G) Plántulas extraídas de *L. trabeculata*.

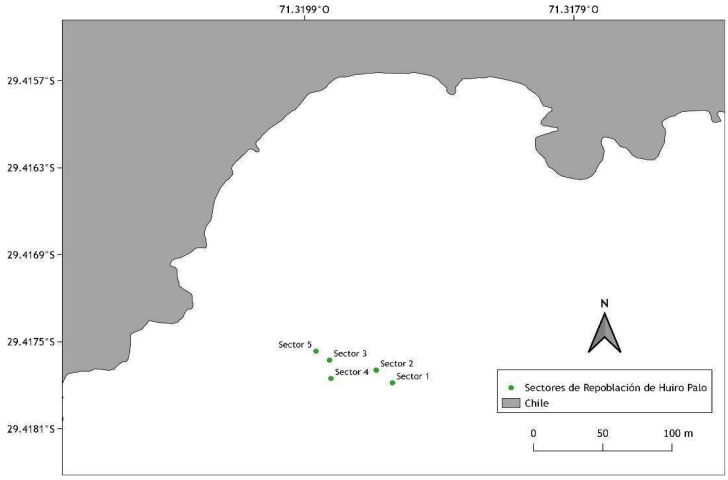

Figura 3. Ubicación de los sitios de adhesión de plántulas de *L. trabeculata* en AMERB Chungungo B.

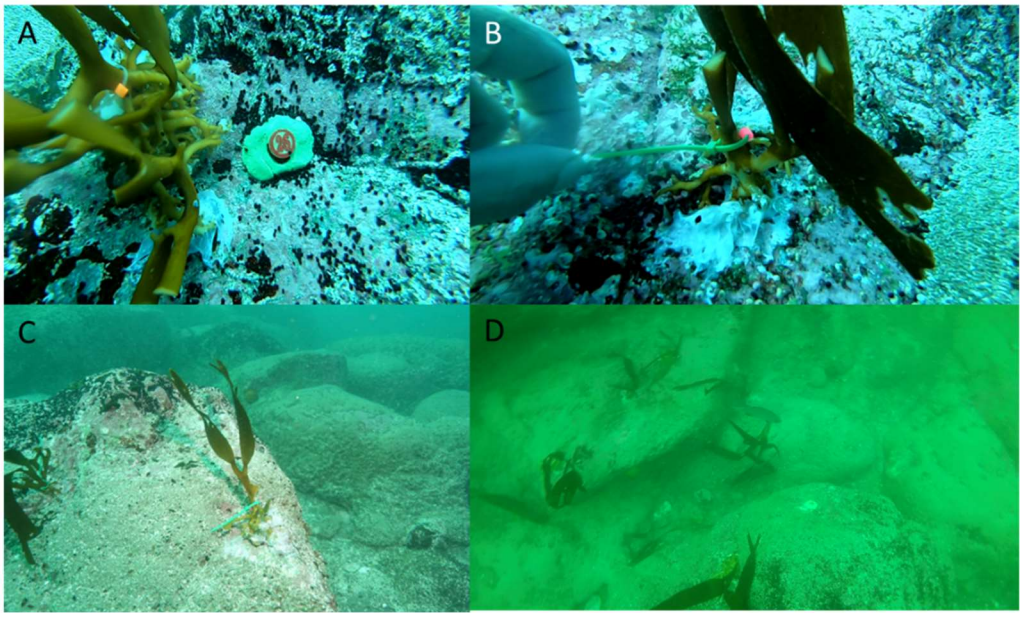

Figura 4. Adhesión de plántulas de *L. trabeculata* en AMERB Chungungo B. A) y B) Plántulas adheridas con sus respectivas marcas de identificación de grupo e individuales. C) Plántula ubicada en sitio de adhesión. D) Imagen general de un sitio de adhesión.

4.5. Validación de modelo de gestión y productivo para APE en base a portafolio multi-especies propuesto para la zona sur (Fase 2)

El desarrollo de esta actividad considera la puesta a prueba del desempeño productivo de especies de interés para la APE en la Región de los Lagos, tomando como referencia las propuestas de cultivo multi-especies APE desarrolladas en la Etapa III (Cárcamo et al. 2020). En base a un esquema tipo portafolio, se desarrollaron siembras y cosechas sucesivas de 4-5 especies, incluyendo macroalgas e invertebrados, a fin de evaluar empíricamente la factibilidad de poder gestionar dentro de al menos un año calendario el crecimiento, cosecha y re-siembra de más de un recurso de interés comercial dentro de una CCAA o AMERB. Dada la factibilidad de realizar cultivos multi-especies (e.g., disponibilidad de permisos y operatividad), esta experiencia se inició durante el último trimestre del año 2021 en la CCAA de Cultivo Marinos Cholche, administrada por el Sr. Justo García, reconocido acuicultor nacional. Inicialmente, se han sembrado cuatro especies de moluscos filtradores (ostión del norte, ostra japonesa, chorito y choro zapato) y dos especies de macroalgas (pelillo y chicoria de mar). La selección de especies en cultivo fue consensuada entre el acuicultor y el equipo técnico, considerando las especies con mayor potencial de desarrollo para APE (**Tabla 2**). Para la Etapa VI, se propone un calendario de siembra a inicios de otoño (marzo-abril 2022) y a mediados de primavera (octubre-noviembre 2022), los que se acoplarían a un calendario de cosechas de fines de otoño (mayo-junio, cosecha proveniente de la siembra 2021) y una cosecha final a inicios de verano (enero 2023). Los parámetros de crecimiento y productividad de macroalgas e invertebrados serán los mismos que se consideran en la actividad del objetivo específico 2.

Objetivo específico 3: *Evaluar el efecto del origen y condiciones de cultivo sobre el desempeño fisiológico-productivo de especies claves para el desarrollo de APE.*

4.6. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de macroalgas y bivalvos co-cultivados (Fase 4)

Macroalgas y bivalvos se benefician mutuamente al ser co-cultivadas (Abreu et al. 2009, Fernández et al. 2019). Macroalgas benefician a los bivalvos, ya que utilizan CO_2 y liberan O_2 al medio durante la fotosíntesis (Krause-Jensen & Duarte 2016, Fernández et al. 2019). Además, al utilizar CO_2, las macroalgas 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, Fernández et al. 2019). 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 macroalgas (Buschmann et al. 2001, Duarte et al. 2017, Fernández et al. 2019). Sin embargo, esta posible relación beneficiosa entre estos organismos es necesaria evaluarla en laboratorio para determinar su existencia.
En la Fase 4 de esta actividad, se evaluará el desempeño fisiológico del molusco bivalvo *M. chilensis* co-cultivado con tres especies de macroalga en proporción 1:1, y bajo dos regímenes de velocidad de recambio de agua de mar. El experimento durará tres meses, y las especies de macroalgas serán sucesivamente reemplazadas, luego de cada mes de experimentación. Por ejemplo, *M. chilensis* será co-cultivado con *G. chilensis* durante el mes 1, con *C. chamissoi* en el mes 2, y con *M. pyrifera* en el mes 3. La proporción de co-cultivo se basa en los resultados de la etapa anterior, donde el rendimiento total de ambas especies es significativamente mayor y más estable que en los respectivos mono-cultivos. El fin de evaluar el efecto de la velocidad de recambio de agua de mar es simular en laboratorio la producción de los co-cultivos en condiciones hidrográficas observadas en canales y bahías donde se establecen los cultivos de mitílidos y/o macroalgas. Inicialmente, se considerará una velocidad de recambio de agua baja y otra, dos a tres veces mayor, basado en los modelos de partículas realizados por IFOP (www.chonos.ifop.cl) para el Canal Quihua (zona Calbuco) y Hueihue (Chiloé). Estos modelos indicaron que la velocidad promedio de corriente y retención de agua para el Canal Quihua fue de 22 cm s^{-1} y 7 días, respectivamente, y para Hueihue de 6,2 cm s^{-1} y 4 días, respectivamente.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de diferentes combinaciones de biomasa inicial de co-cultivo sobre el crecimiento de *M chilensis, G. chilensis, C. chamissoi* y *M. pyrifera.* La hipótesis de investigación fue que las dos especies en co-cultivo tendrán un mayor crecimiento que en mono-cultivos.

4.6.1. Co-cultivo de macroalga y bivalvo

Los individuos de *G. chilensis* y *C. chamissoi* fueron recolectados desde Manao (41,88° S; 73.51° O) y de *M. pyrifera* desde Pargua, durante marea baja entre septiembre-octubre de 2022, entre 5 a 7 días antes de su uso en el experimento (**Tabla 4**) y, mantenidas bajo condiciones estándar de cultivo (15 °C, 100 µmol fotón m^{-2} s^{-1}, 34 ‰). Individuos de *M. chilensis* fueron obtenidos del centro de cultivo "Cultivos Cholche", durante septiembre de 2022. 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.

Se realizó un experimento de co-cultivo de reemplazo, donde el bivalvo *M. chilensis* se mantuvo durante todo el periodo experimental mientras que las macroalgas (*G. chilensis C. chamissoi* y *M. pyrifera*) fueron reemplazadas después de 20 días de cultivo (**Tabla 4**). Se utilizaron las proporciones de biomasa inicial de 0:1, 1:1 y 0:1 basado en los resultados de la etapa anterior (Cárcamo et al. 2021a). Bivalvos y macroalgas fueron co-cultivados dentro de estanques de acrílico de 3 L, con flujo continuo de agua de mar (34 ‰) por 60 días. La biomasa inicial para cada combinación de co-cultivo de reemplazo está detallada en la **Tabla 4**. Los co-cultivos fueron mantenidos en una sala de 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 *M. chilensis* fueron alimentados dos veces por día con *Isochrysis galbana* a una concentración final de 400.000 células mL^{-1}.

El peso fresco de los individuos de cada especie fue determinado en el día 1 y 20 de cada combinación de co-cultivo de reemplazo. 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. (Yong et al. 2013) y Riisgård et al. (Riisgård et al. 2012) para macroalgas y bivalvos, respectivamente.

Se determinó el índice de condición (IC) y el índice de rendimiento productivo (IRP) de los bivalvos en co-cultivo usando el peso fresco al día 60 de experimentación con las siguientes ecuaciones (Acosta et al. 2006):

$$IC = \left(\frac{Pfc}{Pv}\right) \times 100$$

$$IRP = \left(\frac{Pfc}{Pt}\right) \times 100$$

Donde Pfc es el peso fresco de la carne, Pv es el peso de las valvas y Pt el peso fresco total del individuo.

El rendimiento relativo para el bivalvo (RRB) y la macroalga (RRM) fue calculado para cada combinación de co-cultivo de reemplazo, usando el peso fresco de cada especie, 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).
Los datos de rendimiento relativo no cumplieron con los supuestos de normalidad (prueba de Kolgomorov-Smirnow) y homocedasticidad de varianzas (prueba de Levene) para ANOVA, por lo que fueron transformados a rangos (Potvin & Roff 1993). Las diferencias estadísticas en tasa de crecimiento para cada especie fueron evaluadas usando ANOVA de una vía, índice de condición e índice de rendimiento productivo con ANOVA de dos vías, mientras que los resultados del análisis de rendimiento relativo, usando ANOVA de tres vías. Análisis estadísticos entre especies no fueron realizados debido a que sus parámetros fisiológicos no son comparables (Leal et al. 2020).

Tabla 4.
Biomasa inicial y final de *M. chilensis* y las tres macroalgas (*G. chilensis*, *C. chamissoi* y *M. pyrifera*) bajo dos regímenes de recambio de agua de mar en el experimento de co-cultivo de reemplazo. Los datos corresponden al promedio ± DE (n = 6).

		Biomasa inicial (g)		Fecha	
Co-cultivo	**Recambio de agua de mar**	**Bivalvo**	**Macroalga**	**Inicio**	**Final**
M. chilensis: *G. chilensis*	Lento	5,45 ± 0,22	5,15 ± 0,09	22-09-2022	12-10-2022
	Rápido	5,31 ± 0,23	5,17 ± 0,04		
M. chilensis: *C. chamissoi*	Lento	5,98 ± 0,44	5,03 ± 0,04	13-10-2022	03-11-2022
	Rápido	6,25 ± 0,33	5,11 ± 0,12		
M. chilensis: *M. pyrifera*	Lento	7,05 ± 0,67	5,05 ± 0,10	04-11-2022	24-11-2022
	Rápido	7,47 ± 0,67	5,11 ± 0,13		

4.7. Determinación del efecto del origen o fuente de semillas sobre la calidad del pelillo *G. chilensis*

En San Pedro de Nolasco (comuna de Maullín), sitio de relevancia nacional para el cultivo de pelillo *G. chilensis*, se han reportado problemas productivos debido a mortalidades masivas de la macroalga. Según información trasmitida por los acuicultores, los talos de la macroalga se fragmentan y desprenden con facilidad, lo que podría indicar que factores ambientales locales podrían estar afectando la salud de las poblaciones en cultivo. Para determinar si la calidad biomecánica de *G. chilensis* depende del lugar de origen, se evaluó la fuerza de ruptura de individuos de tres localidades: Pudeto, Amortajado y Putemún.

4.7.1. Obtención de muestras

Se obtuvieron treinta individuos de *G. chilensis* de tres sitios distintos (Pudeto, comuna de Ancud, Putemún, comuna de Castro, y Amortajado, comuna de Maullín), durante otoño y primavera del año 2022 (**Tabla 5**). Las muestras de pelillo se limpiaron usando un pincel y agua de mar filtrada (µm) para eliminar epibiontes visibles, y se colocaron en un recipiente refrigerado para ser llevadas al laboratorio dentro de un máximo de 4 h.

4.7.2. Determinación de la fuerza de ruptura

La fuerza de ruptura se refiere al peso total (g) que se necesita para romper un filamento de *G. chilensis* y es expresada en Newtons (N = peso (g) × 0,00981). Para medir la fuerza de ruptura se usó un filamento de 15 cm de largo puesto en un sistema diseñado en base a lo descrito por Martone & Denny (Martone & Denny 2008). El filamento de la macroalga es sujetado a una pinza plástica en cada extremo; la pinza superior está unida a una prensa y la pinza inferior está unida a un recipiente plástico en el que se colocan pesos patrón (**Figura 5**). Al romperse el filamento, se registra el valor total de los pesos dentro del recipiente plástico. Los pesos patrón consistieron en arena seca dentro de microtubos (2 mL) y tubos cónicos (15 y 50 mL), con pesos que variaron entre 1 y 100 g. El peso del recipiente de plástico y de la pinza inferior fue registrado y sumado al valor de los pesos patrón.
La fuerza de ruptura se midió en treinta individuos *in situ* y en cuatro individuos en laboratorio. Las muestras de pelillo fueron aclimatadas por 3 días bajo condiciones estándar de cultivo (15 °C, 100 µmol fotón m^{-2} s^{-1}, 34 ‰) en el laboratorio. Posteriormente, el pelillo fue cultivado dentro de acuarios de acrílico (3 L) con flujo continuo de agua de mar (34 ‰) y aireación constante. Fueron utilizados 5 g (peso fresco) como biomasa inicial para cada réplica y los cultivos fueron mantenidos por 15 días en una sala de 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).

4.7.3. Diámetro de filamento

Se determino el diámetro de cada filamento utilizado en la determinación de la fuerza de ruptura. Para esto se usó un vernier análogo (6”/150 mm, metálico, precisión 0,05 mm).

4.7.4. Tasa de crecimiento

El peso fresco de los individuos fue determinado en el día 15. 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. (Yong et al. 2013).

4.7.5. Análisis estadísticos

Cuando los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad (prueba de Kolgomorov-Smirnow) y homocedasticidad de varianzas (prueba de Levene) para ANOVA, fueron transformados a rangos (Potvin & Roff 1993). Se uso el ANOVA de dos vías para determinar diferencias estadísticas en fuerza de ruptura, diámetro de filamento y tasa de crecimiento entre sitios y estación de muestreo. Cuando se observaron diferencias estadísticas, se utilizó la prueba de Tukey (P > 0,05) para determinar los subgrupos estadísticos. También se realizaron análisis de correlación de Pearson para determinar si existe una relación entre el diámetro del filamento y la fuerza de ruptura, pero no se observó correlación significativa entre estas variables (P > 0,05), por lo que no se muestran los resultados de este análisis.

Tabla 5.
Información de muestreos realizados para determinar la fuerza de ruptura de individuos de *G. chilensis* de tres localidades: Pudeto, Amortajado y Putemún.

	Fecha		
Sitio	Otoño	Primavera	Coordenadas
Pudeto	27-04-2022	27-09-2022	41,88° S; 73,65° W
Amortajado	05-05-2022	11-10-2022	41,64° S; 73,67° W
Putemún	10-05-2022	25-10-2022	42,45° S; 73,74° W

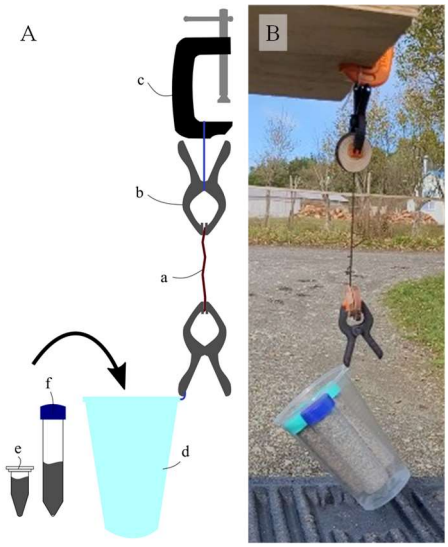

Figura 5. Esquema (A) e imagen real (B) del sistema de medición de fuerza de ruptura de tejido de *G. chilensis*. El filamento de la macroalga (a) es sujetado a una pinza plástica (b) en cada extremo; la pinza superior está unida a una prensa (c) y la pinza inferior está unida a un recipiente plástico (d); en el recipiente se colocan microtubos (e) y/o tubos cónicos (f) de peso conocido hasta que el filamento se corta. Se registra el peso de los tubos que estaban en el recipiente plástico al romperse el filamento.

Objetivo específico 4: *Evaluar interacciones ambientales de la acuicultura de pequeña escala.*

4.8. Monitoreo 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 representan 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 será 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.

4.8.1. Sitios y escalas de cultivo

El estudio se realizó en seis concesiones de cultivo de chorito *M. chilensis* en el mar interior de Chiloé, Región de Los Lagos (**Figura 6**). Las fuerzas hidrodinámicas predominantes en cada sitio corresponden a fuertes fluctuaciones mareales y olas de viento (Castillo & Valenzuela 2008, Häussermann & Försterra 2009). La topografía y morfología costera está determinada por la presencia de gran número de islas, canales estrechos, fiordos y bahías de profundidad variable con diferentes grados de exposición. Esto da orígen a una compleja hidrodinámica macromareal (~ 6 m de amplitud) con una salinidad que fluctúa entre 29-33 PSU (Sievers & Silva 2008). Esta amplia variabilidad en el transporte de agua tiene un fuerte efecto en el tipo y estructura de las comunidades bentónicas. Las evaluaciones comunitarias entre sitios de cultivo y referencia se llevaron a cabo en cinco períodos: primavera 2020, además del otoño y primavera del 2021 y del 2022.
El rango de escalas de cultivo fue definido siguiendo la caracterización de González-Poblete (2018) como sigue:

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

De esta forma los 6 sitios de estudio (**Figura 6**) correspondieron a:

- Micro escala: (1) Canal Quihua (-41.738707; -73.20487199), archipiélago de Calbuco, (2) Bahía Hueihue (-41.89594396; -73.50698101) noreste de la isla de Chiloé
- Meso escala: (3) Estero Molulco (-42.85916504; -73.72114803), (4) Chalihué al norte de isla Lemuy (-42.57602904; -73.58587098)
- Macro escala: (5) Lingue (-42.55090504; 73.73632296), (6) La Estancia (-42.56876403; -73.71210102) en el sector de Rilán, Chiloé central. Todos los centros de cultivo tienen tiempos de funcionamiento de más de 13 años.

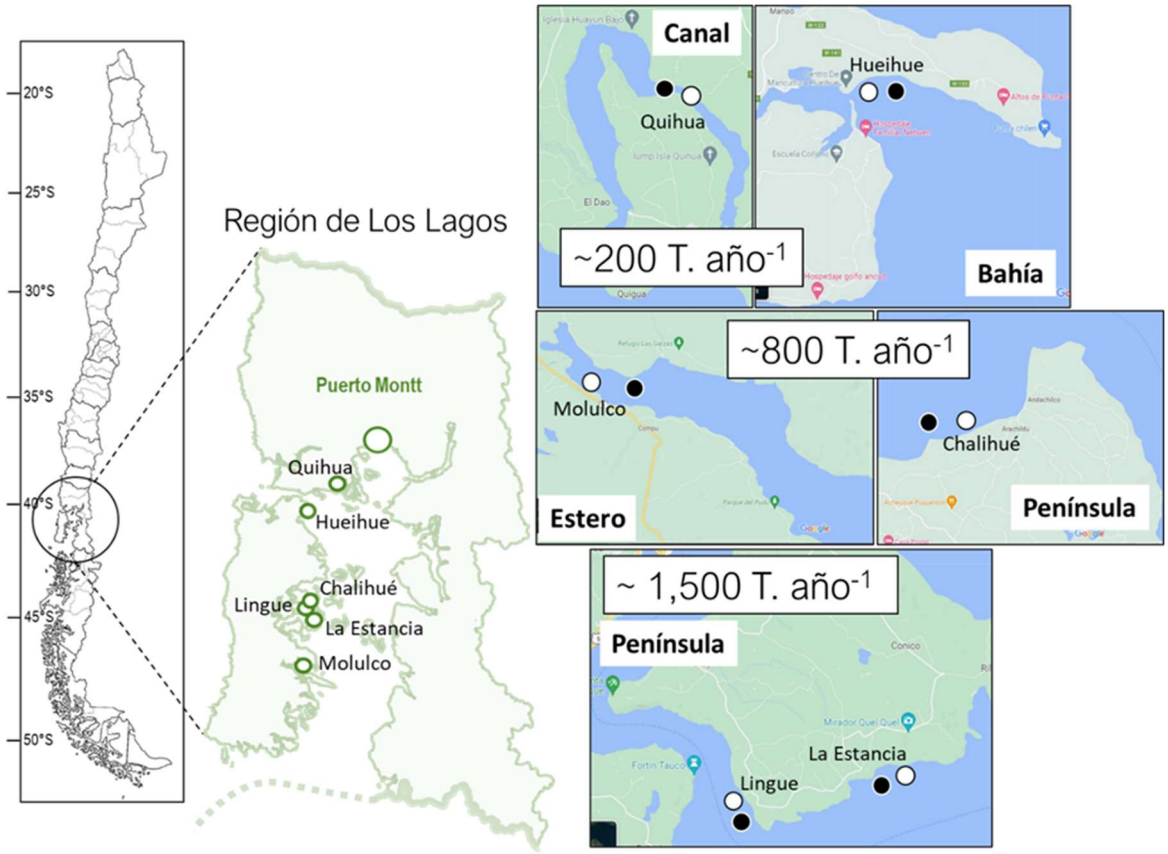

Figura 6. Ubicación de concesiones de cultivo de micro, meso y macro escala (Círculos blancos) y sitios de referencia (Círculos negros). Los recuadros en cada sitio muestran la producción anual promedio en cada concesión (Toneladas año^{-1}) y la característica geográfica predominante de su ubicación.

4.8.2. Diseño de muestreo

El efecto del cultivo sobre la fauna bentónica se midió dentro cada concesión y en "sitios de referencia" ubicados, al menos, > 200 m de la concesión (**Figura 6**). Esta distancia mínima entre sitios de cultivo y de referencia fue establecida en base a la "huella" de cultivos de mitílidos en ambientes bentónicos

indicada en otros estudios (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 concesión de cultivo y sus sitios de referencia, se muestrearon seis transectos aleatorios de 30 m utilizando una cinta métrica. Buzos científicos ubicaron cada cinco metros un cuadrante reticulado de 0,25 m^2 (100 puntos de contacto aleatorio) para determinar el porcentaje de cobertura del sustrato primario, invertebrados sésiles coloniales (i.e., bivalvos, esponjas, tunicados), invertebrados móviles y macroalgas. Las macroalgas foliosas fueron apartadas para contar la biota bentónica subyacente. Peces crípticos fueron incluidos cuando fueron detectados dentro del cuadrante.

Adicionalmente, se determinó la abundancia y distribución de los organismos de la infauna con 5 cores (Ø = 42 cm^2, V = 600 cm^3) tomados al azar a lo largo de cada transecto de 30 m. Estas muestras fueron tamizadas (500 µm de abertura) y luego fijadas con alcohol al 70% para ser analizadas en el laboratorio con una lupa (Olympus De Plapo, 1,25x, Japan). Los invertebrados epibentónicos y la infauna fueron identificados, al menos, a nivel de género *in situ* y en laboratorio, respectivamente. Cuando la identificación no fue posible, se tomaron muestras y/o fotografías de alta resolución para complementar la identificación posterior.

El objetivo principal del estudio fue examinar posibles diferencias clave en la estructura comunitaria de sitios de cultivo vs. sitios de referencia, pero, adicionalmente determinar efectos derivados de la escala de cultivo. Debido a que cada escala de cultivo (Micro – Meso y Macro) está definida por el hábitat bentónico de cada concesión, éste resulta diferente dentro de cada nivel del factor principal (Condición = Cultivo vs. Referencia). Por esto, cada nivel del factor "Escala" está anidado dentro del factor principal (i.e., Escala (Condición)). De acuerdo a esto, el factor fijo "Condición" posee dos niveles (Cultivo - Referencia) y el factor fijo "Escala", tres (Micro – Meso – Macro). Dadas las amplias diferencias biofísicas del ambiente submareal de cada sitio de cultivo y de referencia este diseño anidado (Jerárquico) busca reducir variación no explicada por las variables respuesta (Quinn & Keough, 2001).

4.8.3. Análisis Multivariado

Los datos comunitarios de epifauna e infauna de cada período de muestreo fueron tratados 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 dominantes (Clarke 1993). La estructura comunitaria se analizó gráficamente utilizando escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) y en casos de comprobar buenos niveles de linealidad, con ordenación de componentes principales (i.e., PCO). Mientras diferencias entre la comunidad bajo los cultivos y los sitios de referencia a distintas escalas fueron calculadas con un análisis permutacional basado en distancia (PERMANOVA) siguiendo el diseño anidado descrito anteriormente. Además, se realizó un análisis del porcentaje de similitud (SIMPER, Clarke 1993) para la determinación de la contribución relativa de cada especie o grupo de especies a la disimilitud promedio entre sitios de cultivo y de referencia. Los análisis multivariados se realizaron con el paquete Primer 6.0 (Clarke 1993).

4.8.4. Análisis Univariado

La riqueza y el número de individuos por especie entre sitios y de cada período de muestreo fue expresada como número de especies y equitatividad de Pielou (J'), respectivamente. La abundancia relativa de los grupos de invertebrados típicamente más abundantes (previamente determinada con la rutina SIMPER) tales como, erizos, decápodos, gastrópodos, estrellas marinas, bivalvos, macroalgas y esponjas, entre otros, fueron calculadas. Los supuestos de normalidad se probaron visualmente con un análisis gráfico 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 con ArcoSin para porcentajes de cobertura.
Adicionalmente, se realizó una clasificación mecanicista sobre la estrategia de alimentación y la función ecológica de las especies más conspicuas basada en características del ciclo de vida descritas en la literatura disponible para analizar diferencias entre grupos funcionales. Según su estrategia de alimentación y/o función los grupos fueron: Autótrofos (A), Carnívoros (C), Crustáceos Carnívoros-Generalistas (CG), Herbívoro-Ramoneador (H), Detritívoro-Carroñero (DF) y Formadores de hábitat (HF), estos últimos como Filtradores (e.g., mitílidos) o Autótrofos (e.g., macroalgas).
Finalmente, se agruparon todas las muestras replicadas (n = 2) bajo sitios de cultivo de cada escala y sus respectivos sitios de referencia y fueron tratadas como muestra independiente (factor fijo Sitio × Escala; g.l = 6) para observar diferencias sitio-específicas en la abundancia por grupo de especie/ función con un PERMANOVA y ANOVA de una vía (Modelo Generalizado Lineal). Estas diferencias fueron determinadas con un test de distancia promedio entre/dentro de grupos en análisis multivariados y un test *a posteriori* de Tukey en el análisis univariado.

4.8.5. Parámetros oceanográficos

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 sobre el ambiente bentónico (Gutiérrez *et al*. 2003, Keeley 2009, Keeley et al. 2013).

4.8.6. Caracterización de juveniles de invertebrados epibentónicos en bancos emergentes de APE

Adicionalmente se realizará una caracterización de juveniles de invertebrados epibentónicos en bancos emergentes de APE. Para ello, mediante buceo, se obtendrán al menos 5 cores (0.625 m^2) en sitios bajo las dos granjas APE (y sus respectivos sitios de referencia). Las muestras completas de cada core serán transportadas al laboratorio en bolsas con una solución de alcohol al 70%, donde se determinará la abundancia y diversidad de la macrofauna bentónica, así como, juveniles de invertebrados bentónicos. La identificación de invertebrados en laboratorio se llevará a cabo usando un microscopio estereoscópico (Olympus S5X7, magnificación 5.6×).

4.9. Desarrollo de modelos cualitativos APE para mitilicultura y abastecimiento de larvas y semillas

Para expandir el espectro del análisis semicuantitativo de redes ecológicas hacia nuevos contextos de la APE se desarrollaron modelos de estabilidad del ecosistema costero y monocultivos de *M. chilensis* siguiendo la aproximación de *Loop Analysis* realizados en las etapas anteriores (Dambacher et al. 2009, Marzloff et al. 2011, Ortiz & Levins 2011, 2017). Los modelos incluyeron variables como la demanda, el pool larval natural o el "subsidio larval por acuicultura" (i.e., sistema de cultivo standard en que el acuicultor permite el desove para aumentar la densidad de larvas). Además, se evaluaron las interacciones socio-ecológicas del efecto estructurador de *M. chilensis* sobre el bentos (Banco emergente), por el ingreso de individuos desde el cultivo, así como, su aprovechamiento. Estos modelos determinaron y analizaron escenarios potenciales de estabilidad, ligados principalmente a las auto-retroacciones,entendidas como tasas de cambio (+), (-) o (0) de las variables claves, permitiendo la predicción de escenarios potenciales y la toma decisiones. Esto será determinado mediante el cómputo de las matrices de interacción (i.e., Matriz de Jacob-Levins) generadas para determinar criterios de estabilidad de Routh-Hurwitz I y II y Levins (Puccia & Levins 1991).

4.9.1. Modelos socio-ecológicos de la acuicultura de mitílidos

4.9.1.1. Contexto general

La industria de la mitilicultura depende enormemente del suministro de larvas provenientes del ambiente. El ciclo de cultivo de *M. chilensis* comienza con la instalación de long-lines superficiales provistos de colectores para la captación y asentamiento de larvas *pedivéliger* competentes, las cuales, son transportadas desde sitios de desove por las corrientes. Debido a la gran capacidad de asentamiento de las larvas sobre sustratos filamentosos y a su mayor disponibilidad en la columna de agua, la captura de larvas podría disminuir la disponibilidad para asentamiento en los bancos de la especie (Molinet et al. 2017). Esto puede ser problemático tanto para el ecosistema como para la industria. En Chile, la acuicultura de *M. chilensis* es capaz de generar asentamiento masivo de individuos, los que luego serán translocados lejos de áreas de desove sin producir descendientes afectando el flujo reproductivo y la advección/ difusión larval (Molinet et al. 2015, 2017). Subsecuentemente, una gran porción de la biomasa larval exportada a sitios de engorda crecerá alimentándose de la comunidad planctónica y el detritus orgánico hasta alcanzar tallas de cosecha, procesamiento y exportación (Gonzalez-Poblete et al. 2018). Esta dependencia espacio-temporal de niveles variables de captación y períodos de escasez larval, característicos de la actual dinámica de captación en el Sur de Chile (e.g., 2019-2020, Opazo et al. 2021), puede propiciar escenarios insostenibles para el ambiente y el cultivo. En este sentido, la captura de larvas para la generación de cultivos sigue una dinámica de crecimiento o retroalimentación positiva, similar a la ejercida en la explotación de especies bentónicas, la cual responde a las demandas del mercado (Ortiz & Levins 2017). En este contexto, el presente ejercicio de modelación aplicará el análisis de redes semi-cuantitativas o *Loop analysis* (Puccia & Levins 2013), en tres modelos que describen las interacciones socio-ecológicos y el suministro de servicios ecosistémicos que generan un cultivo de *M. chilensis*.

4.9.1.2. Selección de límites, estructura, escenarios de modelación y supuestos

Para explorar efectos múltiples de la red de interacciones socio-ecológicas involucradas en la acuicultura de mitílidos se construyeron tres modelos semicuantitativos para la estimación de equilibrios dinámicos. Estas simulaciones, que toman la forma de dígrafos signados asumen que el sistema ecológico se encuentra cercano o sobre el equilibrio (Puccia & Levins 1991), sin embargo, este supuesto ambiental se sustenta sobre el éxito que ha demostrado tener el cultivo de *M. chilensis* bajo las condiciones ambientales predominantes en el sur de Chile.
El escenario más simple, representa las variables del ciclo de cultivo tradicional de *M. chilensis*, donde se simulan las interacciones entre componentes socio-ecológicos como la *Demanda* y el *Acuicultor,* el *Cultivo,* el *Pool larval natural*, el *Banco natural* y la *Función del ecosistema* que facilita el cultivo (i.e., pool de nutrientes, fitoplancton, corrientes, Temperatura, Salinidad, etc.). El segundo escenario incorpora una variable que representa la estructuración bentónica por acumulación de choritos bajo el cultivo o *Banco emergente* (BEm), entre las interacciones del BEm se incluye un disturbio antrópico o "aprovechamiento" ejercido por el acuicultor. El tercero contiene, además, una estrategia de manejo antrópico representado por un sistema de cultivo hipotético facilitado por los acuicultores cuyo objetivo es el subsidio de larvas hacia el ambiente (i.e., *Pool larval artificial*).

Escenario 1

La acuicultura de mitílidos es posible gracias a una inversión de capital y trabajo que permite al acuicultor obtener ingresos de la biomasa del cultivo, por esto, la relación entre el Cultivo y el Acuicultor es simulada como una interacción mutualista (+/+). En esta codependencia, ambas variables muestran auto-retroacciones negativas, lo cual significa que el crecimiento dinámico de las variables está limitado (1) por la capacidad de inversión y trabajo del acuicultor y (2) el desempeño de la especie en cultivo sometida a crecimiento denso-dependiente. La presencia de la especie de valor económico estimula la *Demanda* del mercado (Ortiz & Levins 2017), por lo tanto, la relación entre demanda y cultivo fue simulada como una interacción de comensalismo (+/0). A su vez, el cultivo ejerce un efecto Depredador-Presa (+/-) sobre el pool larval natural, ya que la implementación de colectores de larvas durante temporadas de desove, necesarios para la fase de engorda, puede generar fallas de reclutamiento debido al desacoplamiento observado entre el suministro de larvas, su captura y el reclutamiento en bancos naturales (Molinet et al. 2017). El banco natural fue simulado con una auto-retroacción negativa generada por los factores denso-dependientes (e.g., disponibilidad de sustrato, competencia por alimento) que usualmente actúan en las agregaciones de organismos sésiles. La variable *Función del ecosistema*, representa los servicios biofísicos del ecosistema marino que facilitan el cultivo incluyendo: nutrientes, fitoplancton, zooplancton, pool de detritus ambiental y la hidrodinámica local. De acuerdo a esto, la función ecosistémica está sujeta a interacciones de Depredador-Presa ejercidas por el pool larval y el cultivo, los cuales, aprovechan servicios ecosistémicos. Por otro lado, la relación de la función ecosistémica con el banco natural se muestras como una relación de mutualismo (+/+), ya que el banco natural existe como consecuencia de procesos biofísicos locales, pero a su vez, es capaz de contribuir con servicios ecosistémicos como la generación de microhábitats de asentamiento, espacios de alimentación, refugio, provisión de larvas,

detritus y nutrientes (Bruno & Bertness 2001, Gutiérrez et al. 2003, Coen et al. 2007). En este escenario, se examinó la dinámica de las auto-retroacciones de la Demanda, el Acuicultor y el Pool larval natural. Estas variables aparecen como incógnitas en la **Figura 7A**.

Escenario 2

En el segundo scenario (Modelo standard + BEm) la presencia de un banco emergente (BEm) generado bajo el cultivo, representa una población de especies de valor económico (e.g., bivalvos) la cual también estimula la demanda, por lo que esta interacción fue incluida como comensalismo (+/0). Mientras que el aprovechamiento del BEm por el Acuicultor sigue una dinámica de Depredador-Presa (+/-). La relación entre el BEm y el Cultivo, fue simulada como comensalismo (0/+) ya que las actividades de siembra, cosecha y mantenimiento del cultivo actúan como fuente de propágulos y alimento que cae sobre el banco emergente. La relación entre el BEm y la función ecosistémica fue establecida como mutualismo (+/+), en este sentido, se asume que un BEm puede cumplir un rol ambiental similar al de un banco natural. En este escenario se exploró la dinámica del BEm, la cual aparece como incógnita en la **Figura 7B.**

Escenario 3

En este escenario se incorporó un cultivo hipotético (i.e., *Pool larval artificial*) cuyo objetivo principal es generar una fuente de larvas competentes hacia la comuna de agua que complemente la captación. El supuesto es que esta fuente de desove utiliza y afecta los servicios ecosistémicos de la misma manera que un cultivo de engorda siguiendo una interacción Depredador-Presa (+/-) con el ambiente. A su vez, el *Pool larval artificial* fue simulado como comensal del pool larval natural (0/+) ya que una fuente de reproductores, teóricamente, podría contribuir al pool natural de larvas. En este escenario, se estableció como incógnita adicional, la auto-retroacción de esta variable (**Figura 7C**).

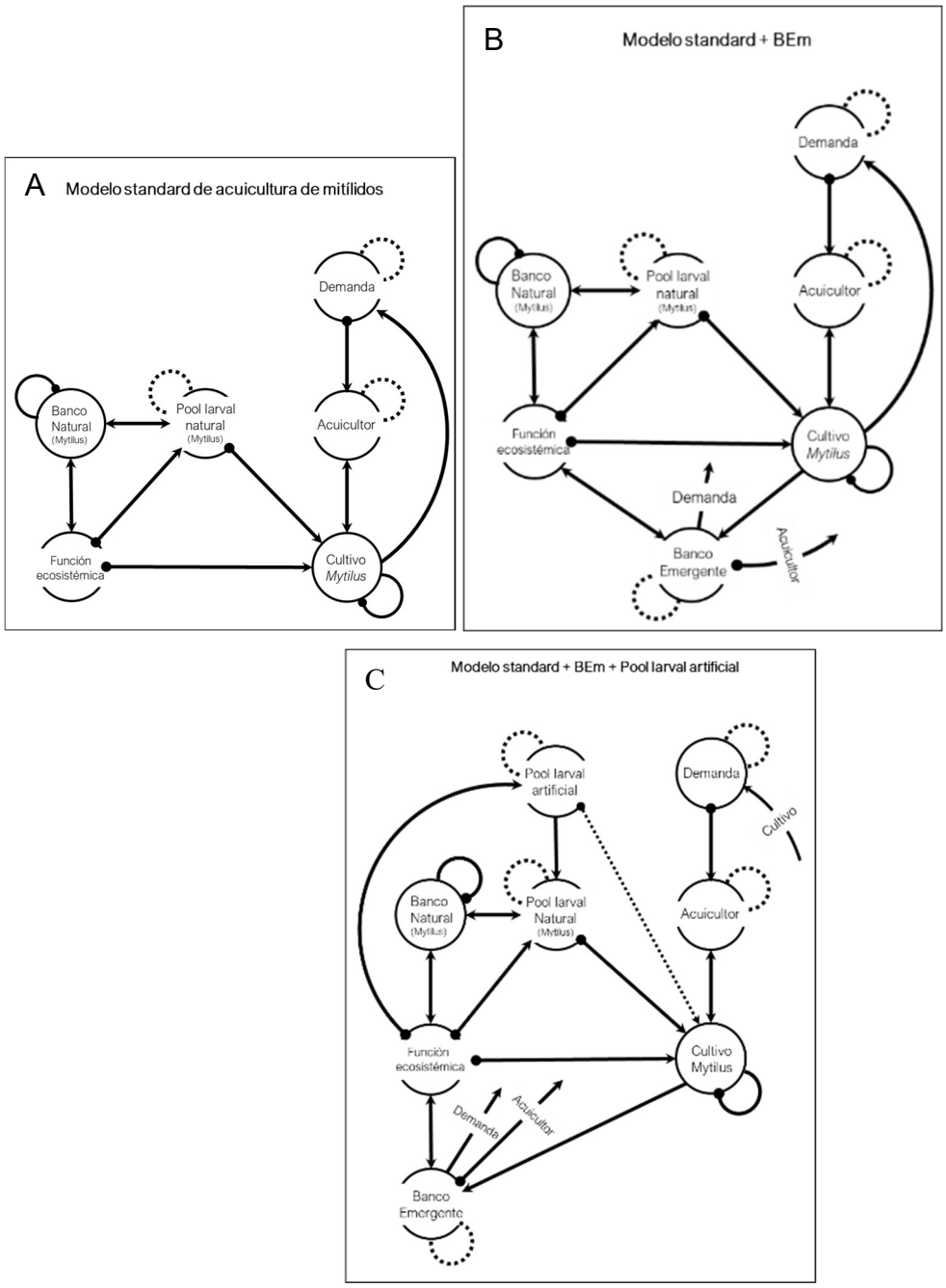

Figura 7. Estructura conceptual de modelos socio-ecológicos del cultivo de *Mytilus chilensis*. A) Escenario ecológico del cultivo tradicional de *M. chilensis*, B) representa el escenario 1 más el efecto de un banco emergente (BEm) y C) escenarios 1 y 2 más la adición de un cultivo artificial de *M. chilensis* o "subsidio" para producción de larvas (*Pool larval artificial*).

4.10. Validación de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de macroalgas e invertebrados

La bahía de Hueihue fue seleccionada como sitio para validar el modelo trófico de un cultivo APE con un banco o hábitat emergente asociado. El objetivo principal fue construir un modelo trófico que represente relaciones interespecíficas (Depredador–Presa) del banco emergente que resulta bajo el cultivo por la exportación de mitílidos desde el cultivo hacia el fondo, incluyendo la condición basal de un sitio de referencia aledaño determinando propiedades macroscópicas, y comparándolo con el banco emergente.

4.10.1. Área de estudio

La bahía de Hueihue se ubica al noreste de la Isla de Chiloé (41.8784 S; 73.5249 W) en el sector de Manao. Las fuerzas hidrodinámicas predominantes generan oscilaciones mareales significativas de ~5 m, moduladas por la entrada de agua oceánica a través del canal de Chacao. El viento es una fuerza preponderante capaz de generar regímenes de oleaje de intensidad variable. La bahía posee un tiempo residencia de ~4 días y una velocidad media de corrientes que alcanza 6.2 cm s^{-1}, con valores máximos de 21 cm s^{-1} durante las mareas de sicigia. El sitio de cultivo de pequeña escala perteneciente a un solo acuicultor (Sitio APE) abarca un área de concesión de 3 há de superficie y registra una producción no mayor a 200 ton $año^{-1}$. Según la caracterización de González-Poblete et al. (2018), este cultivo se puede categorizar como un cultivo de micro-escala. El hábitat bentónico de la bahía corresponde a fondos blandos donde habitan especies móviles como equinoideos, decápodos, cefalópodos, poliquetos errantes, cangrejos y pequeños peces bentónicos.

4.10.2. Fuentes de datos y supuestos del modelo

El hábitat de referencia y el banco emergente fueron previamente muestrados para obtener datos de biomasa y construir un modelo que represente las condiciones basales del hábitat sin cultivo (Referencia) y el banco emergente bajo el cultivo. La recolección de especies epibentónicas para el cálculo de biomasa (g peso húmedo m^{-2}) se llevó a cabo durante verano del 2021 a una profundidad de entre 12 - 15 m (Banco emergente) y entre 10 - 7 m (sitio de referencia). En ambos sitios se dispuso de tres transectos de 30 m demarcados con huincha métrica. Buzos científicos recolectaron toda la megafauna bentónica móvil (> 1 cm) a una distancia de 1 m a cada lado del transecto con una varilla de 1m dispuesta lateralmente desde la huincha métrica. Cada uno de los seis "bloques" de 30 m^2 fueron combinados como submuestras para el análisis. La megafauna incluyó principalmente erizos (*L. albus*, *A. dufresnii* y *P. magellanicus*), crustáceos decápodos, nudibranquios, moluscos y estrellas de mar. Adicionalmente, usando cuadrantes de 0.0625 m^2 dispuestos cada 10 m a lo largo de cada transecto (N total = 9) se removieron organismos epibentónicos sésiles, estos incluyeron: anémonas (e.g., *A. chilensis*), holoturias (e.g., *Heterocucumis godeffroyi*), además de todos los bivalvos presentes dentro del cuadrante. El muestreo también incluyó, ocasionalmente, peces crípticos asociados al cultivo y el banco emergente (e.g., *Leptonotus blainvilleanus*, *Helcogrammoides cunninghami*). La determinación de biomasa en m^2 de macroalgas como productores primarios fue medida en

cuadrantes de 0,25 m^2 sobre las mismas estaciones. Se registró el peso húmedo de los especímenes (balanza digital ± 0.01 g de sensibilidad) y su longitud con un pie de metro.

La biomasa del fitoplancton y zooplancton fue determinada desde estudios previos para el ecosistema de surgencia de la costa de Chile con estimaciones de detección remota de Clorofila α superficial (mg Chl α m^{-3}) (Ortiz 2008, Ortiz et al. 2016, Hermosillo-Núñez et al. 2018, Campos et al. 2021). Las imágenes de Clorofila α son derivadas del radiómetro MODIS sobre la plataforma satelital AQUA, con una resolución espacial de ~4 km. Los datos corresponden a medias mensuales de MODIS Aqua Level 3 Mapped, 11μ (canal 31 de MODIS) en fases diurnas desde enero 2010 hasta diciembre 2018. Las estimaciones mostraron que durante este período la biomasa de fitoplancton alcanzó 30 g m^{-2}. Mientras que la biomasa de zooplancton fue establecida en 20 g m^{-2}. La biomasa de detritus fue establecida como 1 Tonelada km^{-2} de acuerdo a Kluger et al., (2016) y Taylor et al., (2008) basado en estimaciones para la bahía de Sechura, Perú. Las tasas de consumo de cada especie fueron obtenidas desde la literatura (Ortiz 2008, Ortiz et al. 2009, 2016, Hermosillo-Núñez et al. 2018, Campos et al. 2021). La matriz de dieta para describir los compartimientos biológicos de la bahía fue construida a través del análisis de contenido estomacal y utilizando literatura especializada para invertebrados de la Patagonia y para cada una de las especies en cada grupo funcional (**Tabla 6**). Se determinaron 10 grupos funcionales al clasificar 30 especies de megafauna epibentónica, incluyendo algunas especies de infauna (e.g., *V. antiqua*). El hábitat bajo el cultivo estuvo ampliamente dominado por bivalvos filtradores principalmente de la familia Mytilidae (*A. atra*, *M. chilensis*, *C. chorus*) seguido por erizos (Echinoidea) y jaibas depredadoras omnívoras como *Metacarcinus edwardsii* y/o cangrejos omnívoros/carroñeros como *M. gregaria*. Similarmente, el hábitat de referencia mostró dominancia de bivalvos filtradores (*A. atra* y *V. antiqua*), pero, con valores promedio significativamente menores a lo observado en el cultivo (promedio 15 g m^{-2}).

El software Ecopath con Ecosim (Christensen & Pauly 1992a, Pauly et al. 2000, Christensen & Walters 2004, Heymans et al. 2016) se usó para la construcción de los modelos. El programa permite obtener una descripción de estado estable de los flujos de materia/energía de un ecosistema en un momento en particular. Los modelos fueron construidos usando la biomasa y abundancia de especies observada en terreno, aunque también, para aquellos grupos que mostraron ser escasos y difíciles de colectar (e.g., adultos de *M. gregaria*) se usó datos de biomasa/ área, extraídas desde estudios similares para bosques de algas pardas en la costa de Chile (Ortiz 2008, Ortiz et al. 2016, Campos et al. 2021). Mamíferos y aves no fueron incluidos en el modelo debido a falta de información científica pertinente. El balance de flujos energéticos de una especie o grupo funcional dentro de la red trófica se representa mediante la siguiente ecuación matemática:

$$Bi(P/B)i\ EEi - \sum_{j=i}^{n} Bj\left(\frac{Q}{B}\right)j\ DCji - Yi - BA - Ei = 0$$

donde B_i y B_j es la biomasa de la presa *i* y el depredador *j*; P/Bi es la productividad de la presa *i*, que equivale a la mortalidad total (Allen, 1971); EEi es la eficiencia ecotrófica o la fracción de la producción total de un grupo o especie utilizada en el sistema; Yi es la producción de pesca por unidad de área y tiempo (Y = mortalidad por pesca × biomasa); Q/Bi es el consumo de alimento por unidad de biomasa j; DCji es la fracción de presa i en la dieta promedio del depredador j; BAi es la tasa de acumulación de biomasa para i; y Ei es la migración neta de i (emigración - inmigración) (Christensen y Walters, 2004). Basado en esta ecuación, la entrada y salida de materia (energía) se puede balancear en cada compartimiento del sistema. Este balance de energía es asegurado en cada grupo con esta ecuación:

$$Q = P + R + \mathrm{UAF}$$

donde Q es consumo, P es producción, R es respiración y UAF es la fracción de alimento no asimilado de cada grupo o especie del sistema. Dada la inclusión de los factores BAi y Ei en la Eq. (1), el enfoque de Ecopath está más basado en la continuidad energética que en una condición de estado estable. Esta situación permite cambios en los compartimentos de la red cuando la expresión matemática se expresa de forma dinámica.

4.10.3. Compartimientos del Modelo

Los compartimentos del modelo correspondieron a grupos monoespecíficos y funcionales. Para el sistema de banco emergente bajo un cultivo y su sistema de referencia de fondo blando (Bahía Hueihue), los compartimientos fueron los grupos de Rhodophyta (*Polysiphonia* sp. y *S. crispata*), Chlorophyta (*Ulva* spp.) y Phaeophyta (*M. pyrifera*). El compartimento de epifauna bentónica incluyó jaibas depredadoras (*Taliepus dentatus*, *Cancer plebejus*, *M. edwardsii*) y cangrejos omnívoros con tendencia a la carroña (*M. gregaria*, *Halicarcinus planatus, Pidoides edwardsii*). El de bivalvos incluyó a *A. atra, C. chorus y M. chilensis*, el de erizos a *P. magellanicus* y *A. dufresnii*, además se incluyó el grupo monoespecífico (*L. albus*). Gastrópodos ramoneadores que fueron incluidos son *T. atra*, *Fissurella* sp. Peces crípticos como *L. blainvilleanus, S. viridis*, fueron también incluidos. El zooplancton (Eufáusidos), el fitoplancton y los detritos también se incluyeron en el Modelo.

4.10.4. Propiedades de los descriptores macroecológicos

Se estimaron varios macro-descriptores basados en "*Ascendency*" propuesto por Ulanowizc, los cuales permiten la cuantificación del nivel de desarrollo y organización de un ecosistema (Ulanowicz & Abarca-Arenas 1997, Ulanowicz 2004). Los macro-descriptores incluyen la razón Biomasa/Rendimiento (*Total Throughput*, TB/TST), el cual sugiere diferentes estados de madurez del sistema (Christensen 1995); Rendimiento total del sistema (*Total System throughput*) el cual indica la suma total de todos los flujos dentro de un sistema, cuantificando el tamaño del sistema completo; Información mutual promedio (Average Mutual Information, AMI), la cual cuantifica la organización del sistema en relación al número y naturaleza de las interacciones entre los componentes (complejidad) (Ulanowicz & Abarca-Arenas 1997, Ulanowicz 2004); Ascendency (o Predominio, A), el cual mide el crecimiento y desarrollo de un sistema integrando los flujos TST y AMI; y el *Overhead* (Ov), el que

cuantifica los grados de libertad que conserva el sistema interconectado (Red), y puede ser usado para estimar la habilidad de una red para soportar perturbaciones, estimado desde las diferencias entre Capacidad de desarrollo y *Ascendency* (Ulanowicz 1986); Capacidad de desarrollo (C), la cual cuantifica el límite superior máximo de *Ascendency*; y además la proporción A/C y Ov/C, usados como indicadores de estados de desarrollo del ecosistema y su habilidad para resistir perturbaciones (Baird & Ulanowicz 1993, Ulanowicz & Abarca-Arenas 1997, Costanza & Mageau 1999, Ulanowicz 2004, Kaufman & Borrett 2010). Altos valores de *Ascendency* interna relativa (proporción Ai/Ci) representan un sistema bien organizado, maduro y eficiente, por lo tanto, propenso a resistir perturbaciones (Baird & Ulanowicz 1993).

Las unidades para estas medidas son los "*flowbits*" o el producto de los flujos (e.g., Toneladas km^{-2} $año^{-1}$) y bits. Aquí el flowbit es una unidad de información correspondiendo al grado de incertidumbre asociada a una decisión binaria. En Ecopath, se observan los costos de funcionamiento ligados a las importaciones y a los flujos internos (redundancia) como medidas de la estabilidad del sistema en el sentido de Odum (1969) y la razón de la ascendencia/transferencias totales como una medida de la Información, como concibe Odum en su lista de características de los ecosistemas (Christensen & Pauly 1992b).

Tabla 6.
Clasificación de especies de invertebrados bentónicos de Bahía Hueihue, Chiloé, en grupos funcionales tróficos.

Especies	Grupo trófico por dieta o contenido estomacal reportado	Referencias bibliográficas
Arbacia dufresnii	Omnívora tendencia a la carnivoría, herbivoría y detritivoría	Vásquez, 1984; Penchaszadeh & Lawrence, 1999; Epherra et al., 2017; Galván et al., 2009
Loxechinus albus	Herbívoro - Omnívoro	Vásquez, 1984; Castilla 1985; Valenzuela et al., 2019
Pseudechinus magellanicus	Omnívora tendencia a la carnivoría	Vásquez 1984
Metacarcinus edwardsii	Carnívoro generalista	León y Stotz, 2004
Peltarion spinulosum	Carnívoro generalista	León y Stotz, 2004
Munida gregaria	Omnívoro/ carroñero	Varisco & Vinuesa (007) Vinuesa & Varisco 2007; Pérez-Barros et al., 2010
Pisoides edwardsii	Omnívoro/ carroñero con tendencia a la carnivoría	Tapia et al., 2008
Anasterias antartica	Carnívoro generalista	Valenzuela et al., 2019
Comasterias lurida	Carnívoro generalista	Castilla 1985; Vásquez y Castilla, 1984; Fraysse et al., 2018; Garrido et al., 2021
Meyenaster gelatinosus	Carnívoro especialista facultativo	Ortiz et al., 2003
Anthothoe chilensis	Carnívoro suspensívoro, polífago oportunista	Shick 1991; Acuña y Genzano, 2001; Häussermann & Försterra 2009
Nemertea	Carnívoro y carroñero	Mc Dermott y Roe 1985; Salazar y Gonzáles,1986
Nereidae	Omnívora tendencia a la Carnivoría	Fauchald y Jumars 1979; Salarzadeh 2007
Anisodoris fontaini	Carnívoro	Scrödl y Grau 2006
Nassarius gayii	Carnívoro/ carroñero	Letelier et al., 2005
Enteroctopus megalocyathus	Depredador Carnívoro	Guerra, 1978; Ambrose & Nelson, 1983; Summers, 1983; Rodhouse y Nigmatullin, 1996; Ibáñez & Chong 2007
Heterocucumis godeffroyi	Suspensívoro/ detritívoro	Solis-Marín et al., 2012
Crepipatella sp.	Herbívoro ramoneador, tendencia a la carnivoría	Henríquez et al. 2011; Chaparro et al., 2018
Fisurella spp.	Herbívoro, tendencia a la omnívoría	Osorio et al., 1983; Oliva y Castilla, 1986; Moreno y Jaramillo 1986; Santelices et al., 1986; Osorio et al.,1988; Vega 1998; González et al., 1995
Tegula atra	Herbívoro ramoneador	Buschmann **et al.** (1997); Veliz & Vásquez, 2000; Pinochet et al. 2018
Chiton sp	Herbívoro	Ruppert & Barnes, 1996; Latyshev et al. 2004; Siqueiros-Beltrones & Argumedo-Hernández 2012
Leptonotus blainvilleanus	Omnívoro selectivo, tendencia a la carnivoría	Landaeta et al. 2019
Hypsoblennius sordidus	Carnívoro – Isópodos y algas verdes	Valenzuela et al., 1995; Cáceres et al. 2000; Quijada & Cáceres 2000
Aulacomya atra	Filtrador/ Suspensívoro	Reid et al. 2010; Montero et al. 2021
Mytilus chilensis	Filtrador/ Suspensívoro	Jana, 1978
Chorus giganteus	Filtrador/ Suspensívoro, tendencia a la carnivoría	Navarro et al. 2002
Crassostrea gigas	Filtrador/ Suspensívoro	Gerdes, 1983; Ramos et al., 2018; Kheder et al., 2010; **Dutertre et al., 2007**
Porifera (Esponja Marina)	Suspensívoro	Ribes et al., 1999

Objetivo específico 5: *Evaluar diseños de sistemas de cultivos para implementar acuicultura de pequeña escala.*

4.11. Propuesta de diseño de sistema de cultivo APE para zona norte y sur, y/o condiciones de mayor exposición (Fase 2)

Para el cumplimiento de este objetivo se consideraron los resultados de la etapa anterior, para diseñar los sistemas de flotación de un cultivo tipo long-line para desarrollar APE en Chile. Se elaboró la ingeniería conceptual y de detalle de los componentes que pertenecen al sistema de flotación. Luego, se realizó un análisis hidrostático de la estructura, análisis numérico para verificar la estabilidad del sistema (e.g., catenarias, deformaciones), determinación de los requerimientos mínimos del sistema para soportar las condiciones adversas de oleaje y recomendaciones de operación para instalar boyas en el tiempo. Posteriormente se evaluó numéricamente la estructura flotante con condiciones hidrodinámicas reinantes y dominantes de la zona sur y zona norte donde tradicionalmente se ejerce APE, con el fin de representar las condiciones ambientales a las cuales estas tecnologías se enfrentarán. Esta representación se realizó con modelos numéricos como AquaSim y/o ANSYS, para evaluar los componentes estructurales de los sistemas diseñados y, así, proponer un sistema de cultivo resistente y seguro para desarrollar APE, fortaleciendo su desempeño productivo.

4.11.1. Desarrollo de ingeniería básica, conceptual y detalle del sistema de flotación

Como primer paso se realizó la ingeniera básica, conceptual y detalle de la estructura de cultivo tipo long-line, es decir, se realizaron análisis hidrostáticos que involucraron aspectos como peso y empuje del sistema, considerando los componentes utilizados, cabos, línea madre, flotadores, muertos másicos, linternas, cuelgas, entre otros. Por lo tanto, se calcularon las condiciones mínimas de flotabilidad, dimensionamiento, materialidad y planos al detalle con sus respectivas vistas principales para establecer un prototipo virtual en 3 dimensiones que posteriormente fue evaluado en modelos numéricos con diferentes condiciones hidrodinámicas representativas de la zona norte y sur típicas para desarrollar APE en Chile.

4.11.2. Propuesta de combinaciones de carga (oleaje – corriente)

Se recopiló información oceanográfica de las zonas típicas (norte y sur) para desarrollar APE, proponiendo combinaciones de carga de oleaje y corriente para evaluar los comportamientos estructurales (e.g., deformaciones, tensiones, esfuerzos, desplazamientos) de los sistemas de cultivo en los modelos numéricos, caracterizando la estabilidad del sistema de flotación.

4.11.3. Evaluación numérica de la estabilidad del sistema de flotación

Se evaluó la estabilidad del sistema de flotación de la estructura de cultivo tipo long-line respecto a diferentes combinaciones de cargas oceanográficas con el fin de analizar su estabilidad en un clima de oleaje operacional y extremo. Este análisis especifica características globales y específicas de cada

componente que pertenece al sistema. Para esto, se utilizaron los softwares comerciales de simulación numérica AquaSim®, basado en el método de elementos finitos y el software ANSYS® sustentado en el método de volumen finito. Adicionalmente, se complementó el análisis con fórmulas empíricas que permitan realizar un acabado análisis hidrostático, el cual considerará todos los componentes que conformen la estructura del sistema de cultivo como unidad de cultivo, línea madre, dispositivos de flotabilidad, fondeo y las especies cultivadas.

El software de simulación ANSYS utiliza como fundamento matemático el método de volumen finito (FVM), debido a que el enmallado numérico se adapta a geometrías complejas. Al mismo tiempo utiliza ecuaciones de transporte desarrollada por Rotta en 1968 y 1972, donde la energía cinética turbulenta (k) es multiplicada por la escala de longitud (L) (ANSYS, 2018). La ecuación de transporte es:

$$\frac{\partial \rho\omega}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \omega) = \alpha \frac{\omega}{k} G_k - \rho\beta\omega^2 + Q_{SAS} + \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega}\right)\frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right] + (1 - F_1)\frac{2\rho}{\sigma_{\omega 2}}\frac{1}{\omega}\frac{\partial k}{\partial x_j}\frac{\partial \omega}{\partial x_j}$$

Donde k es la energía cinética turbulenta, ω la frecuencia de turbulencia, μ la viscosidad turbulenta del agua, Q_{SAS} un término fuente adicional y F_1 es una función de mezcla turbulenta. Cabe destacar que la fuerza de corriente que interactúa con la red es calculada como:

$$F_a = \vec{a}\overrightarrow{F_p} + \vec{a}\overrightarrow{F_v}$$

Donde *a* es el vector de fuerza específica, F_p es el vector fuerza por presión y F_v es el vector fuerza por viscosidad, además, si consideramos que la viscosidad turbulenta está determinada por:

$$\mu = \rho C_u \frac{k^2}{\varepsilon}$$

Donde C_u es 0,09, ε disipación turbulenta y ρ la densidad del agua, el cálculo de la fuerza de arrastre dependerá de la energía y disipación turbulenta, a su vez, se obtiene el tipo de flujo, a través del número de Reynolds:

$$R_e = \frac{\rho k^2}{\mu\varepsilon}$$

No obstante, la fórmula empírica:

$$Re_n = \frac{\rho_w dV}{\mu}$$

Solo considera diámetro del cilindro (d), viscosidad dinámica constante (μ) y velocidad de flujo constante (V), por lo tanto, el cálculo de la fuerza de arrastre y del número de Reynolds a través de ANSYS es riguroso.

Por su parte, el software de simulación AQUASIM utiliza como fundamento matemático el método de elementos finitos (FEM). Este software realiza un análisis global de las fuerzas de transmisión entre componentes rígidos y flexibles (dependiendo del número de Young). También calcula los esfuerzos y tensiones locales en cada componente, entregando resultados tales como desplazamiento, deformación y aceleración del sistema, entre otros.
El programa incorpora un coeficiente de reducción de velocidad de corriente ® debido a la resistencia hidrodinámica (Loland, 1991), los cuales son calculados de la siguiente manera:

$$R = 1.0 - 0.46 * C_d$$

Donde Cd es el coeficiente de arrastre el cual no depende solo de la solidez (Sn) sino también entre el Angulo del elemento y la corriente (α).

$$C_d = 0.04 + \left(-0.04 + 0.33 * S_n + 6.54 * {S_n}^2 - 4.88 * {S_n}^3\right) * \cos(\alpha)$$

La presión de la ola incidente, i.e. Froude-Kriloff y la presión causada por la difracción de la ola son calculadas de acuerdo con la teoría de MacCamy y Fuchs que describió Berstad et. al. (2015):

$$PFC = \rho * g * \varsigma * \frac{\cosh k * (z + h)}{cosh\ k * h} * sin(w * t - k * x)$$

Donde ρ es la densidad del agua (1,025 kg/m3), g es la aceleración de gravedad (9.81 m/s2), ς es la amplitud de la ola (m), k es el número de ola (1/m), z es la posición vertical (m), h profundidad de la columna de agua (m), w es la frecuencia de la ola (2π/s), t es el tiempo (s).

Finalmente, después de evaluar numéricamente la estabilidad estructural del sistema de cultivo tipo long-line se elaboraron los planos de detalles que podrán ser masificados y transferidos a los futuros usuarios.

Objetivo específico 6: *Realizar acciones de difusión asociadas al desarrollo de la acuicultura de pequeña escala.*

4.12. Mantención y actualización de página web APE y RRSS

En la Etapa VI se actualizará periódicamente la página web www.sembrandoelmar.cl, dando a conocer a la comunidad las últimas informaciones (e.g., ámbito legal, económico, productivo, publicaciones científicas, videos, noticias) respecto al desarrollo del programa APE y al desarrollo sostenible de la APE en Chile. Al mismo tiempo, a través de las redes sociales (RRSS) que se encuentran asociadas a la web, se podrá conocer las diferentes actividades de laboratorio y terreno que realiza el equipo de trabajo en el marco del programa APE.

4.13. Producción de boletín semestral de actividades y resultados del Programa

Se propondrá un boletín digital donde se presentará, en un formato simple y didáctico, las principales actividades y resultados del Programa APE, así como, noticias y otros datos de interés para el desarrollo de la APE en Chile. Una vez aprobado el presente informe, la divulgación se realizará a través de la web y RRSS del programa, y también a través de su envío a mail de instituciones, OPA y empresas involucradas en APE.

4.14. Producción de material didáctico y de divulgación APE

Se desarrollaron 3 infografías, las que explican figurativamente 3 ideas o conceptos relacionadas con la APE: i) principales especies para la APE en Chile; ii) cultivo multi-especies y variantes (e.g, IMTA, co-cultivo, policultivo); y iii) APE y cambio climático. La infografía o presentación gráfica contendrá diagramas, pictogramas, signos, gráficos y/o textos que permitirán de una forma dinámica dar a conocer a la comunidad el desarrollo y oportunidades de la APE. Las infografías en formato digital serán divulgadas a través de la web y RRSS del programa, y también a través de su envío a mail de instituciones, OPA, liceos técnicos y empresas involucradas en APE. Una vez aprobado el presente informe, realizará la impresión, en formato poster, de 50 ejemplares de cada infografía, los cuales serán entregados a OPA y liceos técnicos con especialidad en acuicultura.

5. RESULTADOS

Objetivo específico 1: *Proponer modelos de gestión y producción asociados al desarrollo de la acuicultura de pequeña escala.*

5.1. Revisión y actualización de parámetros y modelos bio-económicos de cultivos APE

Los ejercicios de modelación bio-económica se han realizado en diferentes etapas y con diferentes énfasis dentro del Programa, según lo indicado en la **Figura 8**.

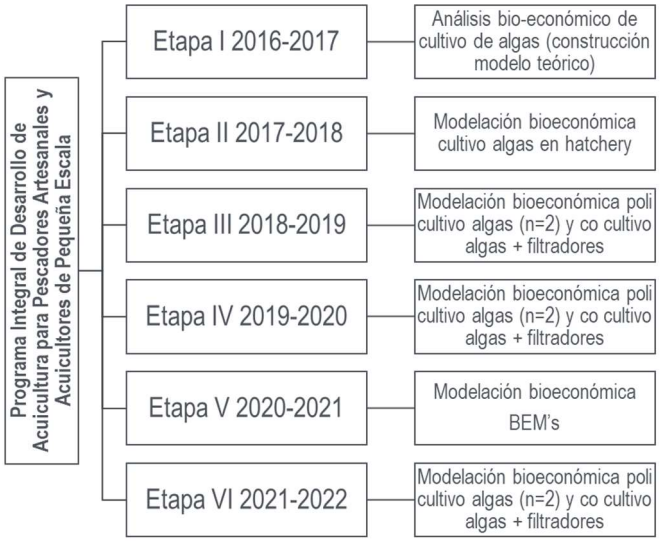

Figura 8. Síntesis gráfica de los estudios de modelación bio-económica desarrollados a lo largo de la ejecución del Programa.

En etapas anteriores de este programa (2017 a 2021), se han desarrollado modelaciones bio-económicas en diferentes etapas del proceso productivo vinculado al desarrollo de la APE. En la Etapa I (2016-2017) se estableció la metodología base para la modelación bio-económica de la etapa de cultivo de macroalgas en fase de mar, la cual se basó en el desarrollo de 3 sub-modelos (biológico, tecnológico y económico) los cuales fueron alimentados con información disponible en fuentes secundarias para 4 recursos (pelillo, huiro flotador, chicoria de mar y luga negra), asumiendo dos productos finales (macroalga húmeda v/s semi-seca), diferentes superficies productivas (desde 3 hasta 10 ha) y dos vías de financiamiento (con y sin crédito). En la Etapa II (2017-2018) se abordó la modelación bio-económica de la etapa de producción de semillas o plántulas (fase hatchery) para los mismos recursos considerados en la Etapa I, a través de un diseño tipo (teórico) de hatchery y el costo de producción de plántulas basado en fuentes de información secundarias. En las Etapas III, IV y VI (2018 a 2021) se ha recopilado y analizado información basada en experimentos de campo para evaluar bio-económicamente sistemas suspendidos de cultivos de macroalgas y co-cultivos de

macroalgas y moluscos filtradores, incluyendo en la Etapa IV algunos avances en la modelación bio-económica de esquemas de cultivo tipo portafolio.
En lo particular, los resultados de este informe se concentraron en el análisis de los resultados obtenidos en las Etapas IV, V y VI. Alguna de las localidades donde se desarrollaron los cultivos ya habían sido analizadas en etapas anteriores. Tales localidades corresponden a Pudeto y a Quinchao (Etapas III, IV y VI). En tanto, una nueva localidad se incorporó en el análisis actual y corresponde a Hueihue (Etapa V y VI).

5.1.1. Ajuste metodológico para el análisis bioeconómico

5.1.1.1. Consideraciones generales.

Resultados anteriores (**Tabla 7**) han mostrado el desempeño biológico – productivo y bioeconómico, e indicaron que existen resultados mixtos inter e intra-localidades. Es así como, por ejemplo, en Quinchao el resultado fue negativo en todos los ciclos productivos (yearclass) analizados 2019 a 2022, en tanto que en Pudeto se alternan ciclos positivos y negativos, lo mismo que en Dalcahue.

Tabla 7.
Resultados económico – productivos observados en las yearclass 2019-2020 (Etapa IV), 2020-2021 (Etapa V) y 2021-2022 (Etapa VI) del Programa de APE. (+) ingreso neto positivo; (-) ingreso neto negativo.

Localidad	Tipo de Cultivo	Especie	Etapa IV 2019-2020	Etapa V 2020-2021	Etapa VI 2021-2022
Dalcahue	Plansa	Chicoria	-	+	No se continuo trabajo en esta localidad
	Plansa	Pelillo	-	-	
	Balsa	Chorito	-	-	
	Balsa	Pelillo	-	-	
Pudeto	Camilla	Ostra		+	
	Camilla	Choro Zapato		+	
	Estacas	Pelillo	-	-	
	Camilla	Pelillo	-	+	
Quinchao	Plansa	Chicoria	-	-	-
	Plansa	Pelillo	-	-	-
Hueihue	Plansa	Chicoria	Aún no se desarrollaba trabajo en esta localidad	-	-
	Plansa	Pelillo		-	-

5.1.1.2. Revisión del efecto ambiental en la producción.

Se decidió analizar el comportamiento cuantitativo excluyendo las variables ambientales, ya que lo que se ha puesto de manifiesto es el hecho de que no es posible extrapolar los resultados productivos entre localidades en base a un set de variables ambientales predictoras, sino que por el contrario se verificó una gran variabilidad espacio – temporal (tanto de variables productivas como ambientales,

dentro de la serie de tiempo disponible) y los resultados actuales reafirman este hallazgo que ya ha sido reportado en Etapas anteriores del programa.

5.1.1.3. Definición de mercados alternativos.

Se privilegió, como regla de decisión, aquellos mercados con demanda actual efectiva por sobre la demanda potencial, los que pueden ser interesantes, pero que no tienen viabilidad de ser alcanzados, al menos no en el corto o mediano plazo.
Una situación no prevista afectó al análisis en la localidad de Pudeto. Aquí habitualmente el cultivo de ostras y choro zapato se desarrollaba hasta el tamaño comercial para planta o para mercado local, en general terminando el ciclo de cultivo completo. Sin embargo, en la Etapa V el ciclo fue cerrado con anticipación ya que un emergió mercado alternativo para la venta de semilla. En esa situación no se puedo recopilar información acerca de volumen y precios de venta. Aquí el ciclo productivo del cultivo de moluscos fue cerrado prematuramente ya que tanto ostras como choro zapato fueron comercializados como semillas para cultivos locales, pero no se obtuvo información sobre las condiciones de venta (tamaño o peso y precio por semilla). En cambio, el recurso pelillo está orientado al consumo local en formato fresco.
Para las localidades de Hueihue y Quinchao, la principal línea de producción es el alga fresca, destinada a planta de proceso, mercado local o a la industria de alimento para su posterior procesamiento (**Tabla 8**).

Tabla 8.
Mercados alternativos y precios por especie, localidad y línea de producción para los productos derivados de los cultivos en las localidades de Hueihue, Quinchao o Pudeto.

Localidad	Especie	Mercado	Línea	Precio ($/kg)
Hueihue	Pelillo Chicoria	Planta Consumo Humano Industria Alimentos	Fresco	Pelillo $120 Chicoria desde $2.000 hasta 12.000
Quinchao	Pelillo Chicoria	Planta Consumo Humano Industria Alimentos	Fresco	Pelillo $120 Chicoria desde $2.000 hasta 12.000
Pudeto	Ostra Choro Zapato Pelillo	Proveeduría de semillas para otros cultivos (Pre-engorda) Consumo Local	Fresco Fresco	

5.1.2.4. Ajuste Unidades productivas (en función del tipo de actor APE).

En esta actividad, las unidades productivas fueron definidas de acuerdo con lo contemplado en el Reglamento APE de 2022. En dos localidades (Quinchao y Hueihue) la figura legal que se homologó como aplicable es el artículo 4a del Reglamento, el cual posibilita a realizar APE a cualquier persona

natural, una sociedad de responsabilidad limitada o una empresa individual de responsabilidad limitada[1]. En este sentido define a un acuicultor de pequeña escala que es mencionado como APE en la columna "Descripción" de la **Tabla 9**. Para este caso existe un límite máximo, tanto en superficie como en producción. Estos límites serán considerados en la fase de modelamiento bioeconómico.
En Pudeto la figura legal corresponde a una organización de pescadores artesanales (APE-OPA) que se dedica a la acuicultura de pequeña escala, lo cual está definido en el artículo 4b del reglamento APE. En este caso los límites máximos, tanto en superficie como en producción neta, son mayores que en el caso previsto en el artículo 4a. Estos límites serán considerados en la fase de modelamiento bioeconómico, previsto en la fase final de esta actividad.

Tabla 9.
Definición del tipo de unidades productivas de acuerdo con el Reglamento APE.

Localidad	Figura Legal en Reglamento APE	Descripción	Límite Máximo Superficie (ha)	Límite Máximo Producción (t)
Hueihue	4a	APE	10	500
Quinchao	4a	APE	10	500
Pudeto	4b	APE-OPA	50	2.000

5.1.2.5. Actualización de los costos de producción

Los valores actualizados de los costos asociados al modelamiento bioeconómico basado en el sistema de cultivo tipo plansa, los que ocurren en las localidades de Quinchao y Hueihue se muestran en la **Tabla 10**. Mención especial merece el tema del costo asociado al trenzado de las cuerdas con las semillas para el proceso de siembra. Existen dos alternativas para este ítem. Una de ellas es externalizar el servicio y así el productor paga a un agente externo quien cobra por metro lineal. En general este servicio es más caro que en el caso de que el mismo productor pague a personal ocasional que haga el mismo trenzado, asumiendo el costo de la jornada diaria más la cuerda de polipropileno de 4 mm que se requerirá en una cantidad que dependerá del número de plansas a instalar. En el caso de la especie chicoria de mar, el costo por kilo de semilla fue de $ 600
En cuanto a los costos asociados al cultivo en la localidad de Pudeto se actualizó el costo que implica las líneas de polipropileno para el cultivo en estacas. Los costos asociados al sistema de camillas para ostras y choro zapato y líneas fondo para el pelillo en Pudeto se han mantenido relativamente constantes, pero no fueron requeridos ya que el cultivo de moluscos terminó prematuramente y el ciclo se cerró sin haberse obtenido información respecto de la transacción de la semilla de ostras y choro zapato.

[1] Es importante considerar que está en proceso una modificación al reglamento APE, que incorporará a los Liceos con Especialidad Técnica de Acuicultura como actor APE formalmente reconocido, con sus propios criterios de superficie y producción máximas.

Tabla 10.

Costos actualizados para el sistema de cultivo tipo plansa, usados en las localidades de Quinchao y Hueihue.

Dimensión	Item	Valor	Unidades	Observaciones
Sistema de cultivo Plansa	No. Hectáreas	1	Ha	Depende del tipo de APE: 4a o 4b
	No. Cuerdas	5	Cuerdas	Número de cuerdas paralelas
	Porciones Plansa	95	Número	Numero de porciones de cuerda de 5 m cada una
	m totales	475	Metro	Metros de cultivo por plansa
	m totales cultivo	9.500	Metro	Metros totales en el cultivo
	No. plansas hectárea	20	Número	Número estimado
	No. Total plansas cultivo	20	Plansas	Número de sistemas de cultivo en las hertareas.
	Costo plansa	260.800	$/Plansa	Costo por unidad de sistema de cultivo. IVA incl.. Sin anclajes ni línea a fondeos.
	Instalacion plansa	80.000	$/Plansa	Costo unitario instalación por plansa.
	Anclajes	2	Numero	Depende costo si es anclaje normal (concreto) o hidroanclaje.
	Costo Total Unidades Cultivo	6.816.020	Pesos ($)	Costo total por hectárea
	Años vida utilplansa	5	Años	Sin observaciones
	Depreciación plansa	143	$/día	Costo estimado
	Costo total depreciación plansa	2.858	$/día	Costo estimado
	Depreciación líneas de fondeo		$/día	No se estimo
	Depreciación fondeos		$/día	No se estimo
	Depreciación plansa	187	$/día	Costo estimado
Siembra	Densidad siembra	0,5	$Kg \cdot m^{-1}$	Variable, depende del tipo de especie y cultivo
	Requerimiento semilla	4.750	Kg	Variable, depende del tipo de especie y cultivo
	Costo semilla	100	$\$ \cdot kg^{-1}$	Variable, depende del tipo de especie y cultivo
	Costo trenzado	400	$\$ \cdot m^{-1}$	Costo por metro lineal con recursos propios, valor incluye cuerda y semilla
	Costo total trensado	3.800.000	Pesos ($)	Costo estimado
	Costo Total Semilla	475.000	Pesos ($)	Costo estimado
Sueldos	Numero operarios (10 ha)	1	No. operarios	Valor estimado
	Sueldo mensual	764.030	$ / Mes operario	Sueldo bruto + leyes sociales
	Operarios (cultivo)	1	No. operarios cultivo	Valor estimado
	Costo sueldos (mes)	764.030	$ / operarios mes	Incluye leyes sociales
	Costo sueldos (dia)	25.468	$ / operarios dia	Valor estimado
Operaciones	Costo operacional diario	5000	$ / dia	
Producto final	Precio venta producto final	120	$ / kg	Variable, depende de la especie y línea de proceso

5.1.2.6. Puntos de referencia

La **Tabla 11** resume los puntos de referencia (PR's) utilizados en la evaluación de resultados del modelamiento bioeconómico.

Tabla 11.
Puntos de referencia por localidad y especie.

Especie	Localidad	Punto de Referencia	Símbolo	Unidades
Pelillo y Chicorea	Hueihue	Capacidad de carga de la línea	K	Kg / línea
		Costo medio	Cm	$ / kg
		Probabilidad de Precio de venta (Pv) sea mayor que el Cm	Pv > Cm	-
Pelillo y Chicorea	Quinchao	Capacidad de carga de la línea	K	Kg / línea
		Costo medio	Cm	$ / kg
		Probabilidad de Precio de venta (Pv) sea mayor que el Cm	Pv > Cm	-
Ostra	Pudeto	No han sido definidos ya que se comercializa como semilla		
choro zapato		No han sido definidos ya que se comercializa como semilla		
pelillo		Capacidad de carga de la línea	K	Kg / línea
		Costo medio	Cm	$ / kg
		Probabilidad de Precio de venta (Pv) sea mayor que el Cm	Pv > Cm	-

5.1.2.7. Efecto del tamaño de la OPA.

Esta actividad está referida a la localidad de Pudeto. Aquí se ha definido como titular del cultivo a una organización de pescadores artesanales (OPA) cuyo número de integrantes aún no ha sido definido. Conocido este valor hay que definir un nuevo PR asociado al ingreso per capita (IPC) esperado por los usuarios. En términos conceptuales se espera que el ingreso IPC sea mayor a una cantidad por definir como ingreso base (IB). Así el PR puede quedar definido como:

$$IPC > IB$$

5.1.2.8. Modelamiento y Análisis de Riesgo Bioeconómico.

Se trabajó directamente con los datos obtenidos en el cultivo sin ampliar el análisis al efecto de variables ambientales sobre la producción. Aunque es una información relevante, tal como ha sido mostrado en las Etapas anteriores del Programa en general para la APE son datos difíciles de registrar y por lo general implican al cultivador gastos adicionales en los cuales pareciera haber poca motivación en asumir. Tal ha sido la experiencia en la zona de Atacama y Coquimbo, por lo que se prefirió en esta ocasión realizar los ajustes biológico – productivos sobre la base del peso únicamente.

Básicamente se utilizaron dos modelos, los que ajustan las tasas de crecimiento en función de una biomasa preexistente (wi), la cual corresponde a la biomasa al inicio del tiempo anterior de muestreo. Así la biomasa anterior para el primer muestreo corresponde a la biomasa de siembra al inicio del cultivo; la biomasa inicial para el segundo muestreo corresponde a la biomasa registrada en las cuerdas en el primer muestreo y así sucesivamente.
Uno de los modelos alternativos corresponde al modelo de Gompertz:

$$\frac{dw}{dt} = a \cdot w_i - b \cdot w_i \cdot ln(w_i)$$

y el segundo corresponde al modelo Logístico:

$$\frac{dw}{dt} = a \cdot w_i - b \cdot w_i^2$$

El uso de uno u otro modelo dependerá de cuál de los dos ajusta mejor a los datos, usando como criterio de decisión la suma de cuadrados del error.

El análisis de riesgo bioeconómico fue desarrollado en el caso de que el costo medio de producción fuera mayor que el precio de mercado para la especie. Esto porque en el caso de ser menor esta relación es evidente que la recomendación es no llevar a cabo el cultivo por no poder cubrir siquiera los costos de producción. En cambio, cuando el costo medio supera al precio de mercado, sí tiene sentido evaluar la probabilidad latente de que el costo medio pueda ser menor que el precio de mercado, dada la incertidumbre existente. Esta incertidumbre se relacionó con la variabilidad biológica – productiva para lo cual se estimó el error estándar asociado con los parámetros de los modelos de Gompertz o Logístico. Esta fuente de incertidumbre fue incorporada en el modelo mediante la técnica de Monte Carlo (rutina elaborada dentro de Excel® utilizando 5.000 ciclos de iteraciones y graficando el resultado de la probabilidad de obtener el punto de referencia definido previamente, esto es que el costo medio sea superior al precio de venta por kilo de producto.

5.1.2. Desempeño biológico - productivo de localidades analizadas

El desempeño productivo para cada sitio de estudio se presenta en extenso en el **Anexo 1.** En el presente documento se prioriza la presentación de los resultados bioeconómicos.

5.1.3. Análisis bioeconómico cultivos Hueihue

En esta localidad el cultivo se desarrolló en el sistema denominado plansa e incluye a las especies chicoria de mar y pelillo. Este sistema de cultivo fue analizado anteriormente en el marco de la Etapa IV del Programa en el cual se desarrolló un modelo conceptual (**Figura 9**) y matemático que sirve de sustrato para los análisis a desarrollar en la presente etapa.

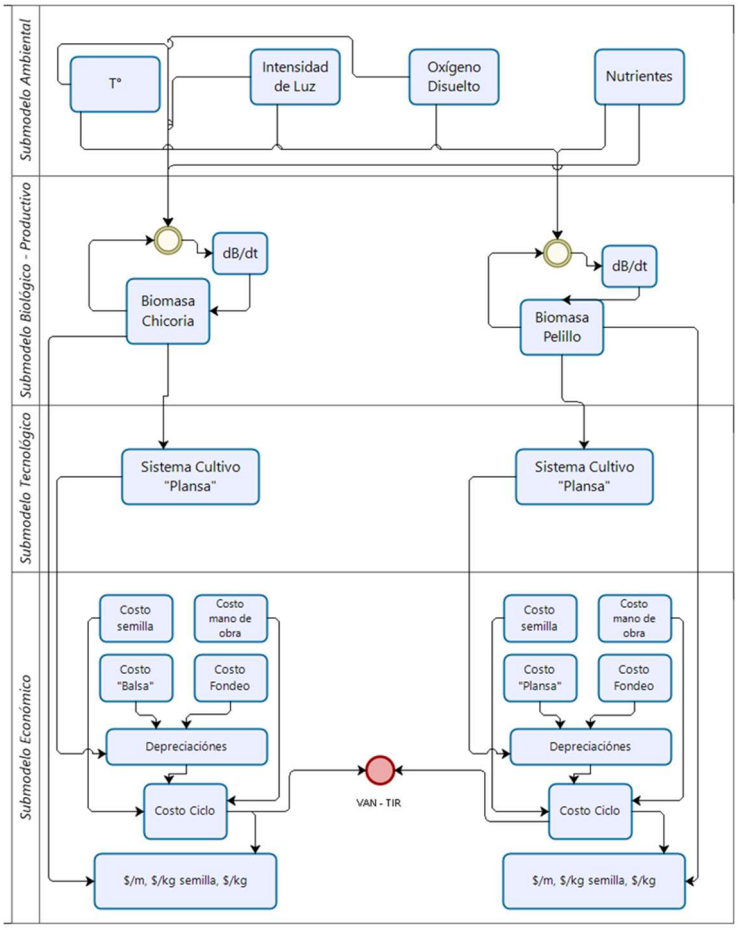

Figura 9. Modelo conceptual del cultivo de chicoria de mar y pelillo desarrollado en la Etapa IV.

5.1.3.1. Resultado bioeconómico cultivo pelillo alta densidad

Al igual que en el caso del cultivo de alta densidad, en este caso se analizará en primer lugar el escenario donde el trenzado de las cuerdas con la biomasa para ser cultivada es externalizado pagando a un tercero por este servicio. Posteriormente se analizará el escenario donde el empresario APE internaliza este proceso.

Los resultados para el cultivo de pelillo en alta densidad mostraron que su desempeño no fue satisfactorio. El menor costo medio ocurrió al día 179 de iniciado el cultivo, y su valor (Cm = \$575 kg^{-1}) superó largamente el valor de mercado de \$120 por kilo (**Figura 1010**). El rendimiento físico del cultivo, con una única cosecha posible fue de 72.238 kg. En este sentido, la productividad del alga en el sistema de plansa no fue suficiente para cubrir los costos totales de operación, por lo que el cultivo bajo este sistema no es recomendable.

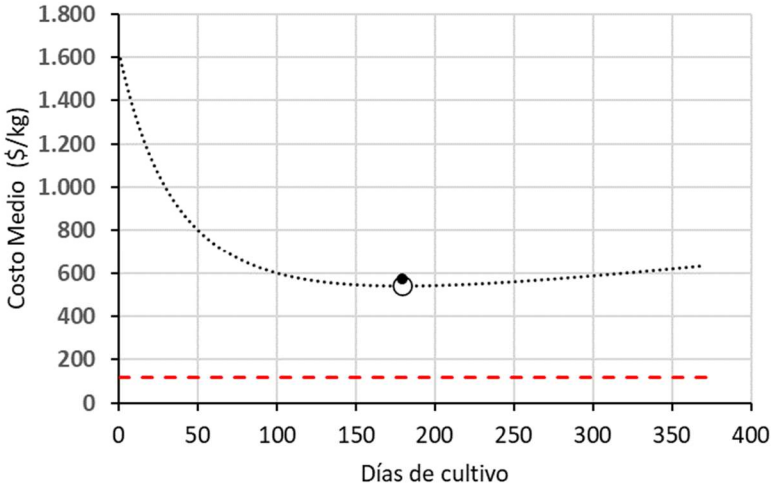

Figura 10. Dinámica del costo medio ($ kg^{-1}) para el cultivo de pelillo en alta densidad en Hueihue. La línea roja representa el precio de mercado por kilo de alga. La posición de los círculos representa el día de cultivo donde se obtiene el menor costo medio. el valor del círculo blanco es el costo medio pre cosecha y el negro el valor post cosecha.

El análisis del costo medio por ítem (**Figura 11**) mostró que el ítem que más contribuye al costo medio total ($ 575 kg^{-1}) es el costo de trenzado cuando éste es externalizado ($329 kg^{-1}), seguido por la depreciación de las plansas ($71 kg^{-1}), el costo de la semilla ($66 kg^{-1}) y sueldos ($63 kg^{-1}).

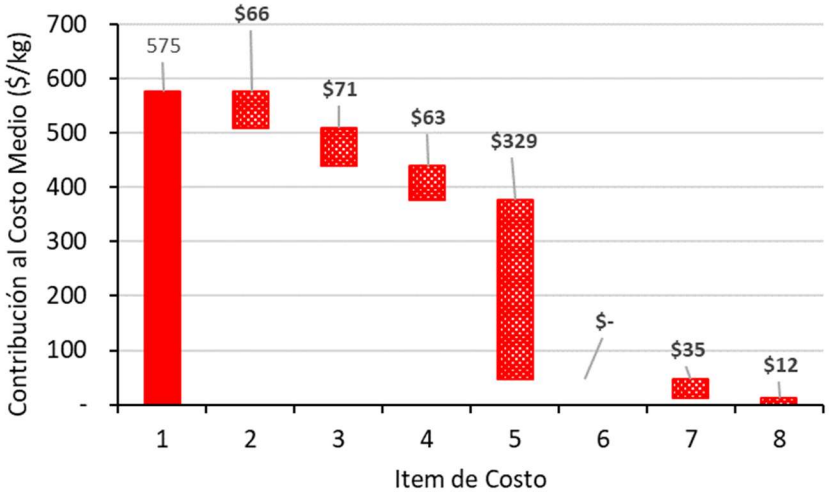

Figura 11. Análisis del costo medio por ítem al día en que se observó su menor valor. (1) Cm mínimo; (2) Cm semilla; (3) Cm depreciación plansa; (4) Cm sueldos; (5) Cm trenzado de cuerdas externalizado; (6) Cm trenzado de cuerdas propio; (7) Cm cosecha; (8) Cm operacional.

La alternativa para disminuir el principal costo es realizar el trenzado de las cuerdas para su instalación en las plansas internamente, pagando mano de obra por jornada de trabajo. Esto implica incurrir en un costo en las cuerdas de polipropileno de 4 mm ($3.847.490) más la mano de obra ($2.50.000). esta estrategia alternativa reduce los costos de este ítem y se logra disminuir el costo medio.
La implementación de esta alternativa ofrece resultados interesantes de analizar. Por una parte, la disminución de los costos del trenzado de las cuerdas hace disminuir el costo medio ($ kg^{-1}), por otra parte, el día de cultivo es menor y por último esto posibilita que en los mismos 180 días de la temporada (primavera – verano) puedan producirse dos cosechas, lo que aumenta el rendimiento productivo del cultivo.
Con esta nueva estrategia, el costo medio disminuye a $291 kg^{-1}. Esta disminución ocurre debido a que el ciclo de cultivo permite dos cosechas, una al día 90 y una segunda al día 180. De este modo, en la primera cosecha de los 54.190 kg producidos a esa fecha, se debiera cosechar un total de 36.173 kg, mientras el remanente permanece en las cuerdas para reiniciar el ciclo. Así la producción total que sumaría la segunda cosecha sería de 90.464 kg. La **Figura 12** muestra el cambio en el valor del costo medio y el día de cultivo donde dicho valor es el menor. Muestra dos valores de costo medio, el primero (circulo blanco) corresponde al costo medio previo a la cosecha y el segundo (círculo negro) es incorporando el costo asociado a las cosechas.

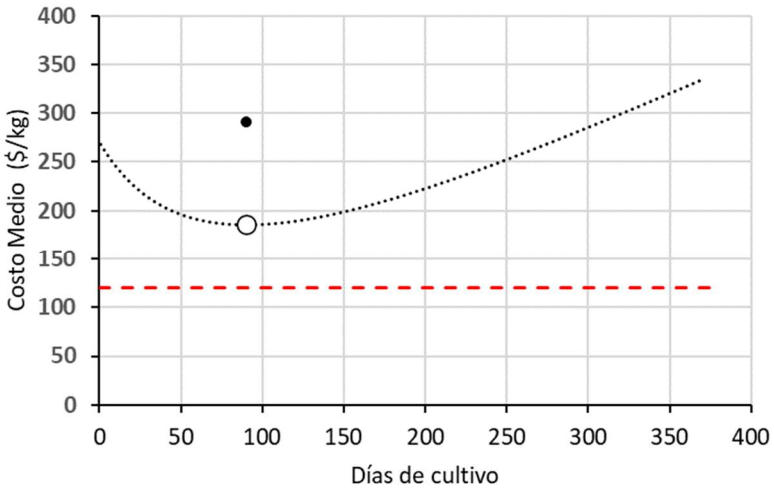

Figura 12. Análisis del costo medio por ítem al día cuando se internaliza el servicio de trenzado de las cuerdas. La línea roja representa el precio de mercado por kilo de alga. La posición de los círculos representa el día de cultivo donde se obtiene el menor costo medio. el valor del círculo blanco es el costo medio precosecha y el negro el valor post cosecha.

El análisis del costo medio (**Figura 13**) indica que el costo del trenzado ha disminuido a $28 kg^{-1}, y en este escenario el ítem que más contribuye al costo medio es la depreciación del sistema de cultivo ($95 kg^{-1}) y costo de cosecha ($95 kg^{-1}).

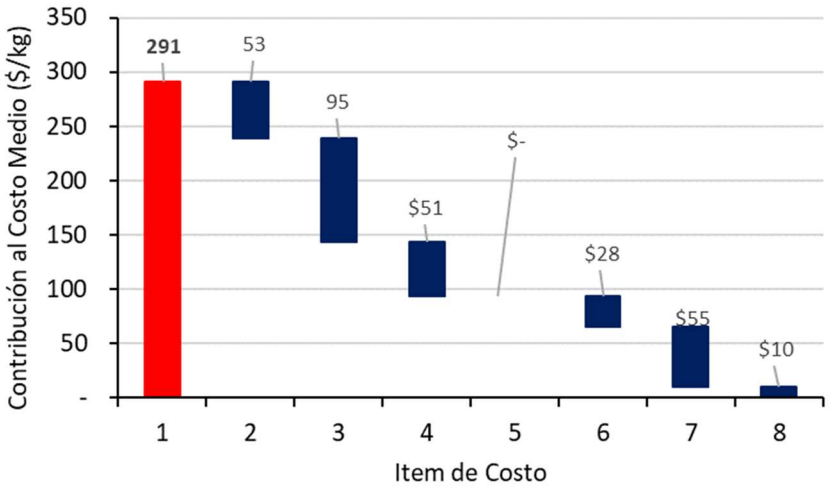

Figura 13. Análisis del costo medio por ítem luego de dos cosechas. (1) Cm mínimo; (2) Cm semilla; (3) Cm depreciación plansa; (4) Cm sueldos; (5) Cm trenzado de cuerdas externalizado; (6) Cm trenzado de cuerdas propio; (7) Cm cosecha; (8) Cm operacional.

Con todo, el costo medio supera por más del doble el valor de mercado del kilo de alga. En consecuencia, con la producción obtenida en cualquier escenario no logra superar el costo asociado al cultivo de pelillo en el sistema de plana. Por tal motivo no se realizaron más análisis que los mostrados anteriormente.

5.1.3.2. Resultado bioeconómico cultivo pelillo baja densidad

Al igual que en el caso del cultivo de alta densidad, en este caso se analizará en primer lugar el escenario donde el trenzado de las cuerdas con la biomasa para ser cultivada es externalizado pagando a un tercero por este servicio. Posteriormente se analizará el escenario donde el empresario APE internaliza este proceso.

Los resultados para el cultivo de pelillo en baja densidad mostraron que su desempeño no fue satisfactorio. El menor costo medio ocurrió al día 79 de iniciado el cultivo, y su valor (Cm = \$406 kg^{-1}) superó largamente el valor de mercado de \$120 por kilo (**Figura 14**). El rendimiento físico del cultivo, con una única cosecha posible fue de 87.856 kg. En este sentido, la productividad del alga en el sistema de plansa no fue suficiente para cubrir los costos totales de operación, por lo que el cultivo bajo este sistema no es recomendable.

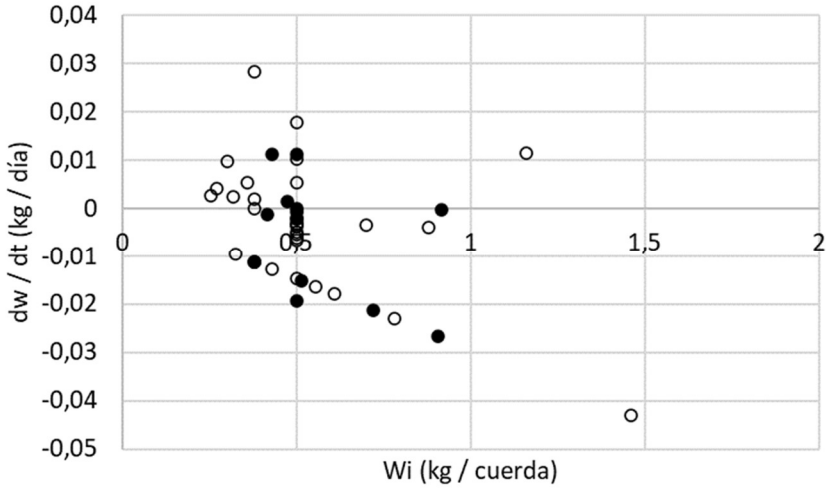

Figura 14. Dinámica del costo medio ($ kg^{-1}) para el cultivo de pelillo en baja densidad en Hueihue. La línea roja representa el precio de mercado por kilo de alga. La posición de los círculos representa el día de cultivo donde se obtiene el menor costo medio. El valor del círculo blanco es el costo medio precosecha y el negro el valor post cosecha.

El análisis del costo medio por ítem (**Figura 15**) mostró que el ítem que más contribuye al costo medio total ($ 406 kg^{-1}) es el costo de trenzado cuando éste es externalizado ($270 kg^{-1}), seguido por el costo de la semilla ($54 kg^{-1}), la depreciación de las plansas ($26 kg^{-1}) sueldos ($23 kg^{-1}).

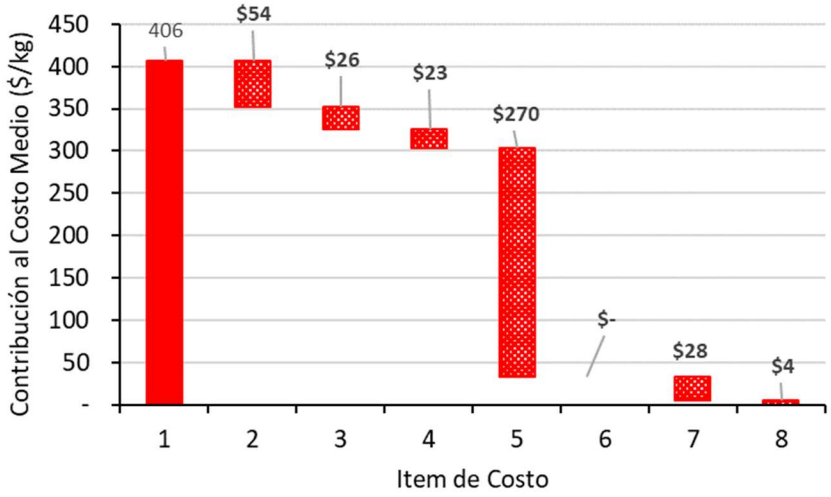

Figura 15. Análisis del costo medio por ítem en el cultivo de pelillo de baja densidad. (1) Cm mínimo; (2) Cm semilla; (3) Cm depreciación plansa; (4) Cm sueldos; (5) Cm trenzado de cuerdas externalizado; (6) Cm trenzado de cuerdas propio; (7) Cm cosecha; (8) Cm operacional.

Dado que el día al que ocurre el menor costo medio es al día 79 de iniciado el cultivo se podrían hacer dos cosechas durante la temporada primavera – verano. Tal como se describió anteriormente, esto implica que en la primera cosecha se debe dejar un remanente equivalente a 0,5 kg cuerda^{-1} para que inicie un nuevo ciclo. Es así como la producción total con dos cosechas sería de 166.211 kg generando un nuevo costo medio de \$282 kg^{-1}, lo que aún no sería suficiente para generar un cultivo rentable, ya que el costo medio sigue siendo más alto que el valor de mercado del kilo de pelillo. La mayor producción hace que disminuya el aporte del costo del trenzado, y del costo medio de la semilla, que bajan de \$270 a \$143 y de \$54 a \$29 por kilo, respectivamente. Hay costos medios que aumentan, producto del mayor tiempo de cultivo. Es así como el costo por depreciación de las plansas sube de \$26 a \$51 y el de sueldos de \$23 a \$24 por kilo (**Figura 16**).

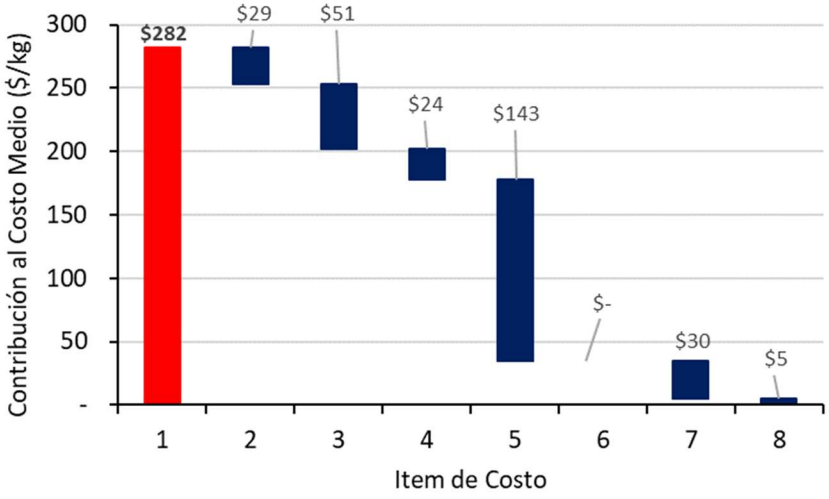

Figura 16. Análisis del costo medio por ítem luego de dos cosechas. (1) Cm mínimo; (2) Cm semilla; (3) Cm depreciación plansa; (4) Cm sueldos; (5) Cm trenzado de cuerdas externalizado; (6) Cm trenzado de cuerdas propio; (7) Cm cosecha; (8) Cm operacional.

Como se mencionó anteriormente, en cualquier escenario donde el trenzado de cuerdas y su instalación se externaliza, el cultivo de pelillo a baja densidad, aunque mejora la producción en comparación con el de alta densidad, no logra disminuir los costos medios, por lo cual el cultivo no se hace rentable.

Un escenario más razonable es el de internalizar los costos de trenzado y siembra y aprovechar la posibilidad de hacer más de una cosecha en la temporada. Dado que al internalizar el servicio cambia la estructura de costos, haciéndola más liviana, es que también se altera la dinámica del costo medio. En este escenario el periodo de cultivo que minimiza el costo medio se acorta a 60 días (**Figura 17**), permitiendo no dos sino tres cosechas.

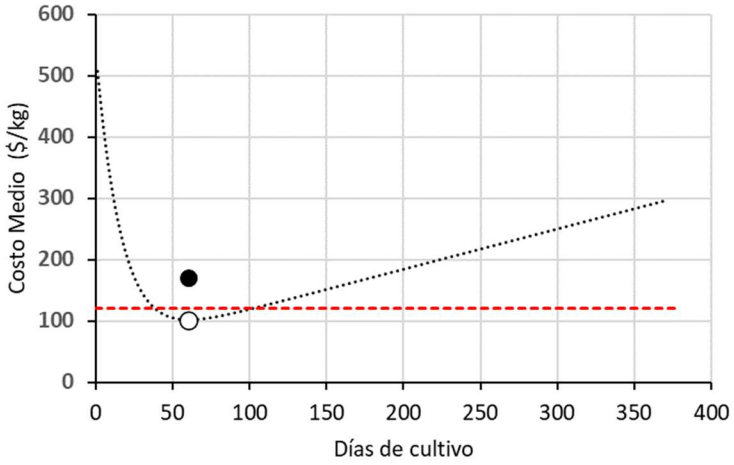

Figura 17. Dinámica del costo medio ($ kg^{-1}) para el cultivo de pelillo en baja densidad en Hueihue. La línea roja representa el precio de mercado por kilo de alga. La posición de los círculos representa el día de cultivo donde se obtiene el menor costo medio. El valor del círculo blanco es el costo medio precosecha (una cosecha) y el negro el valor post cosecha (tres cosechas).

Como se aprecia en la **Figura 17**, si bien el costo medio precosecha en cada ciclo es de $102 kg^{-1}(círculo blanco) los mayores costos asociados a la mayor duración del ciclo de cultivo hacen que el costo medio post cosecha sea de $170kg^{-1} (círculo negro). Esto se ve con claridad en la **Figura 18**. Ahí se aprecian las mayores incidencias en el costo medio de los ítems depreciación de las plansas ($63 kg^{-1}), costos cosecha ($33 kg^{-1}), trenzado e instalación ($28 kg^{-1}) y sueldos ($20 kg^{-1}).

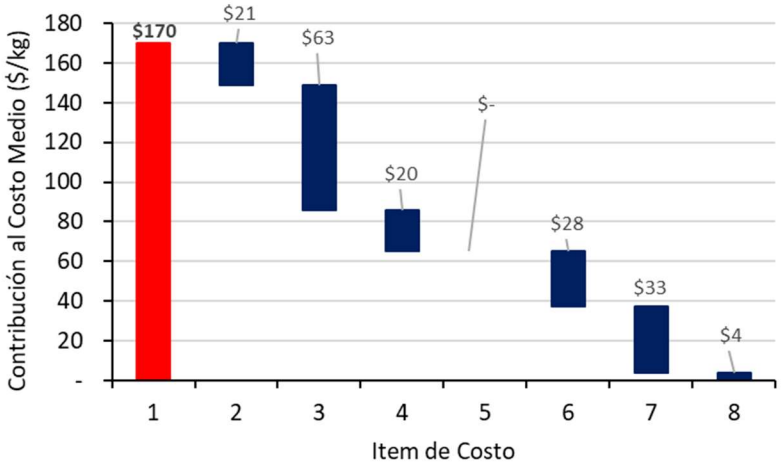

Figura 18. Análisis del costo medio por ítem luego de tres cosechas. (1) Cm mínimo; (2) Cm semilla; (3) Cm depreciación plansa; (4) Cm sueldos; (5) Cm trenzado de cuerdas externalizado; (6) Cm trenzado de cuerdas propio; (7) Cm cosecha; (8) Cm operacional.

Como se aprecia en los resultados anteriores el cultivo de pelillo en Hueihue en un sistema de plansa no resulta económicamente recomendable en ningún escenario debido a que el costo medio de producción ($ kg^{-1}) resulta mayor que el valor de mercado por kilo de alga.

5.1.4. Análisis bioeconómico cultivos Quinchao

En esta localidad se desarrolló un cultivo experimental de chicoria de mar y de pelillo en sistemas tipo "plansa", los que ya han sido descritos anteriormente, tanto en altas y bajas densidades.

5.1.4.1. Resultado bioeconómico cultivo chicoria de mar alta densidad

El menor costo medio ocurre al día 101 de iniciado el cultivo (**Figura 19**), con un valor postcosecha de $ 2.557 kg^{-1}. Sin embargo, es posible realizar dos cosechas durante la temporada primavera – verano. Esta estrategia hace bajar el costo medio a $ 2.557 kg^{-1}, lo que aún no permite bajar el costo medio a niveles por debajo del valor de mercado por kilo de alga. Esto hace que el cultivo de chicoria de mar a alta densidad no sea viable económicamente.

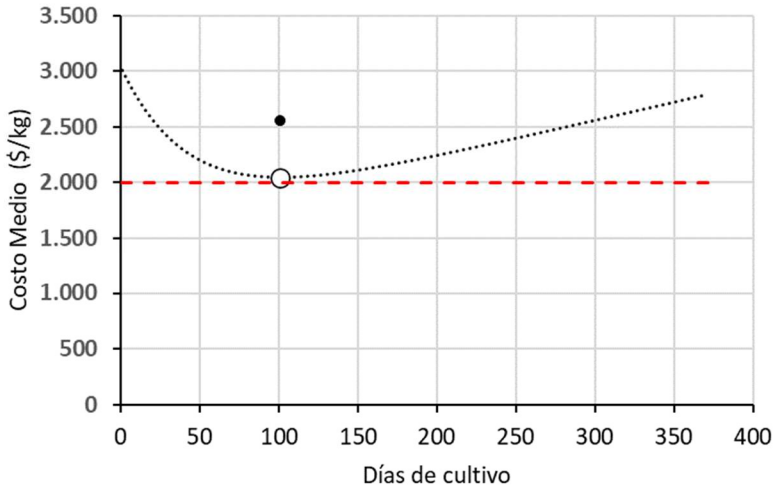

Figura 19. Dinámica del costo medio en función de los días de cultivo. La gráfica representa una única cosecha. El círculo blanco es el costo medio precosecha y el negro el costo medio post cosecha.

El análisis de costo medio (**Figura 20**) indica que bajo la estrategia de dos cosechas el principal ítem que contribuye al costo medio es el costo de la semilla ($ 1.179 kg^{-1}). Esto se explica por el alto costo de la semilla y la baja productividad del alga en el sistema de cultivo.

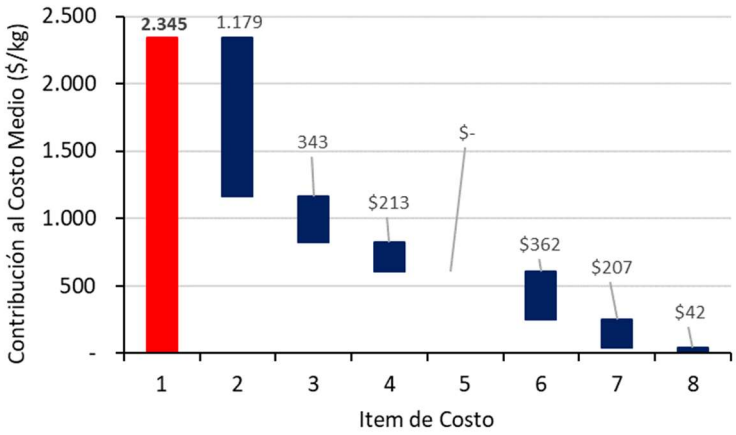

Figura 20. Análisis del costo medio obtenido con dos cosechas. (1) Cm mínimo; (2) Cm semilla; (3) Cm depreciación plansa; (4) Cm sueldos; (5) Cm trenzado de cuerdas externalizado; (6) Cm trenzado de cuerdas propio; (7) Cm cosecha; (8) Cm operacional.

5.1.4.2. Resultado bioeconómico cultivo chicoria de mar baja densidad

El día donde ocurre el costo medio más bajo (**Figura 21**) fue superior (223) al hallado para el cultivo de alta densidad (101). Esto implica que en la estación de cultivo (agosto – febrero) sólo se puede realizar una cosecha, pero el costo medio resulta ser mayor, $ 2.879 kg^{-1}, incluyendo costo de cosecha.

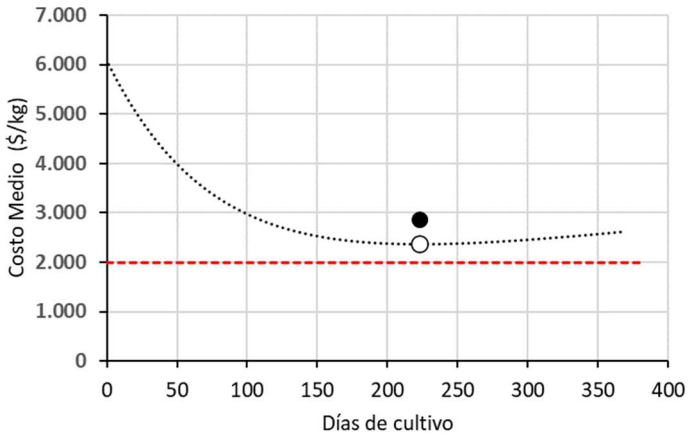

Figura 21. Dinámica del costo medio en función de los días de cultivo. La gráfica representa una única cosecha. El círculo blanco es el costo medio precosecha y el negro el costo medio post cosecha.

El análisis del costo medio (**Figura 22**) indica que en el cultivo de baja densidad de siembra el principal ítem que contribuye es el costo de la semilla ($1.624 kg^{-1}), el segundo mayor fue el costo de

depreciación de las plansas ($363 kg^{-1}) y el tercero el trenzado ($362 kg^{-1}), lo que refleja la gran diferencia con el costo de la semilla.

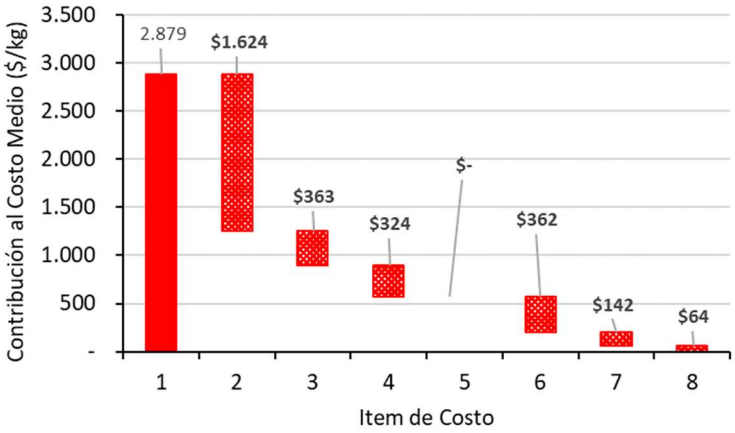

Figura 22. Análisis del costo medio obtenido con una única cosecha. (1) Cm mínimo; (2) Cm semilla; (3) Cm depreciación plansa; (4) Cm sueldos; (5) Cm trenzado de cuerdas externalizado; (6) Cm trenzado de cuerdas propio; (7) Cm cosecha; (8) Cm operacional.

5.1.4.3. Resultado bioeconómico cultivo pelillo alta densidad

El costo medio menor ocurrió al día 56 del cultivo (**Figura 23**) y el valor precosecha fue de $ 130 kg^{-1} y de $ 273 kg^{-1} postcosecha, ambos valores por encima del precio de mercado para el kilo de esta alga. Los tres ítems más importantes que explican el costo medio fueron: costo del trenzado propio ($ 102 kg-^{1}); costo de la semilla ($ 77 kg-^{1}) y depreciación de las plansas ($ 26 kg-^{1}) (**Figura 24**).

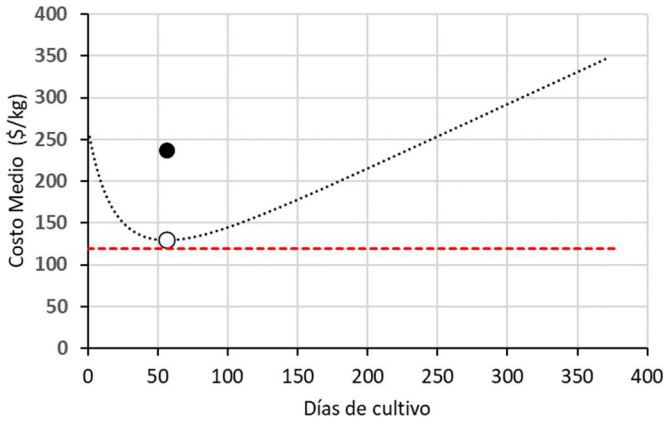

Figura 23. Dinámica del costo medio para el cultivo de pelillo en alta densidad en Quinchao. El círculo blanco es el costo medio precosecha y el negro el costo medio post cosecha.

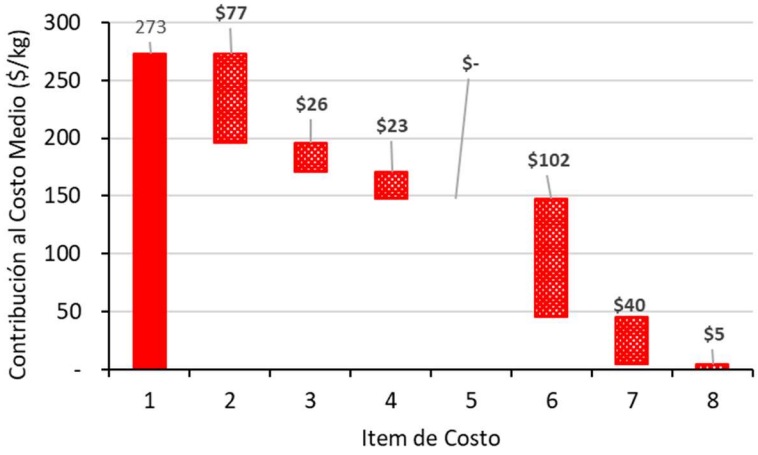

Figura 24. Análisis del costo medio obtenido con una única cosecha. (1) Cm mínimo; (2) Cm semilla; (3) Cm depreciación plansa; (4) Cm sueldos; (5) Cm trenzado de cuerdas externalizado; (6) Cm trenzado de cuerdas propio; (7) Cm cosecha; (8) Cm operacional.

Aunque es posible realizar hasta tres cosechas en la temporada bajo ningún escenario fue posible obtener un costo medio por debajo del valor de mercado del kilo de alga. Esto se resume en la **Tabla 12**, donde se aprecia que los excedentes en todos los casos son negativos.

Tabla 12.
Resultados económicos asociado al número de cosechas posibles de realizar en el cultivo de pelillo en Quinchao usando el sistema de plansa.

Número de cosechas	Cm ($kg)	Producción (kg)	Excedente (kg)	Excdente Total
1	273	61.934	$ -153	$ -9.475.879
2	238	104.868	$ -118	$ -12.374.389
3	238	147.802	$ -118	$ -17.440.584

5.1.4.4. Resultado bioeconómico cultivo pelillo baja densidad

Los resultados de producción biológica obtenida para el cultivo de pelillo de baja densidad están en el rango de lo encontrado en la localidad de Hueihue. Esto sumado a que los parámetros económicos son los mismos en ambas localidades hacía esperar que el rendimiento económico, medido en el valor del costo medio, fuera no satisfactorio. Esto se puede apreciar en la dinámica del costo medio en función de los días de cultivo (**Figura 25**). En ella se observa que el menor costo medio ocurre al día 83 de iniciado el cultivo, pero tanto el costo medio precosecha (círculo blanco) como el post cosecha (círculo negro) superen el valor de mercado de alga.

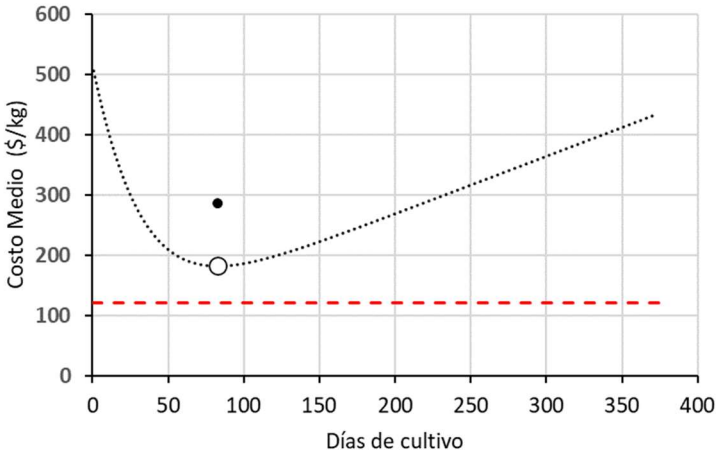

Figura 25. Dinámica del costo medio para el cultivo de pelillo en baja densidad en la localidad de Quinchao. El círculo blanco es el costo medio precosecha y el negro el costo medio post cosecha.

Aunque es posible realizar hasta dos cosechas durante la temporada, el análisis mostró que no fue posible obtener menores costos medios que justifiquen el cultivo bajo este sistema. La **Tabla 13** resume estos resultados. Aunque con dos cosechas el costo medio disminuye este valor aun superan en $ 166 el valor de mercado del alga.

Tabla13.
Resultados económicos asociado al número de cosechas posibles de realizar en el cultivo de pelillo sembrado en baja densidad en la localidad de Quinchao usando el sistema de plansa.

Número de cosechas	Cm ($kg)	Producción (kg)	Excedente (kg)	Excdente Total
1	332	52.989	$ -212	$ -11.233.635
2	286	96.478	$ -166	$ -16.015.297

El análisis de costo medio (**Figura 26**) muestra que el costo de depreciación de la plansa es el ítem que más contribuye al costo medio ($90 kg^{-1}) seguido del costo de cosecha ($52 kg^{-1}), costo de semilla ($49 kg^{-1}) y sueldos ($44 kg^{-1}). Esto reafirma que el costo de la plansa tiene una importancia capital en el cultivo suspendido en un contexto en que la productividad no logra compensar dichos costos.

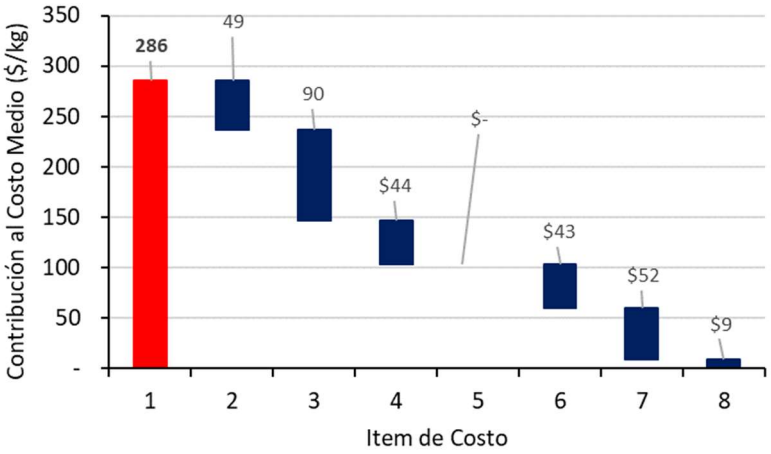

Figura 26. Análisis del costo medio obtenido con dos cosechas. (1) Cm mínimo; (2) Cm semilla; (3) Cm depreciación plansa; (4) Cm sueldos; (5) Cm trenzado de cuerdas externalizado; (6) Cm trenzado de cuerdas propio; (7) Cm cosecha; (8) Cm operacional.

5.1.5. Análisis bioeconómico cultivos Pudeto

En esta localidad se condujo un cultivo experimental de pelillo con dos moluscos en forma separada, ostra japonesa y choro zapato, más un control. Se utilizó un sistema de cultivo denominado camilla sobre la cual se dispusieron once bolsas con semillas de ostra – choro zapato. Cada bolsa pesó aproximadamente 0,95 kg bolsa^{-1}. El pelillo se cultivó en cuerdas adheridas al sustrato a través de un sistema de estacas.

Este sistema ya había sido probado en etapas anteriores del Programa y la idea fue probar el desempeño del alga cultivada en un sistema mixto con moluscos, con la expectativa que se obtuvieran mejores producciones en el sistema mixto que en el control sólo con pelillo. Con esta finalidad en la Etapa IV se diseñó un modelo conceptual y matemático, el cual fue empleado para evaluar económicamente el cultivo. No fue posible llevar a término el ciclo completo ya que en el mes de diciembre de 2021 la producción de moluscos que había hasta ese momento fue vendida como semilla y no se pudo obtener datos acerca del detalle de venta de esa transacción. De todas maneras, se hicieron las evaluaciones con la información recopilada hasta ese momento y en el caso del pelillo se pudo hacer la evaluación completa.

5.1.5.1. Resultado bioeconómico cultivo pelillo

Para el análisis bioeconómico de esta parte del cultivo, se consideró una superficie equivalente al 50% de la superficie total disponible, asumiendo que el restante 50% estará destinado al cultivo de ostras y choro zapato. En este sentido se evaluará el aporte que realiza el cultivo de pelillo cultivado en estacas en ausencia de moluscos. Otra particularidad de este cultivo es que corresponde a una concesión otorgada a una organización de pescadores artesanales (OPA) y que por el Reglamento

APE pueden tener opción hasta 50 ha de superficie. Así es posible escalar hasta un cultivo de pelillo de 25 ha. Así, se evaluó el resultado bioeconómico desde 5 ha hasta 25 ha.

A diferencia de los cultivos en otras localidades aquí no se asumió el costo de personal, ya que se asumió que los operarios serían costeados por el cultivo paralelo de moluscos. De igual modo los costos de los sistemas de cultivo se limitan al costo de la cuerda de polipropileno requerida para cubrir la superficie de cultivo. El costo de siembra y de cosecha dependerá de la superficie cultivada. El costo operativo diario se asumió en $ 2.000 diarios.

El análisis del costo medio indicó que el valor mínimo dependió de la cantidad de hectáreas cultivadas (**Tabla 14)**. Conforme aumenta la superficie, el costo medio disminuye de $ 65,50 kg^{-1} (5 ha) a $ 61, 89 kg^{-1} (25 ha). En este sentido, es recomendable ocupar la totalidad de la superficie disponible, ya que el aumento de producción y la disminución del costo medio hace que el excedente económico total ascienda a $ 22 millones, aunque para ello se asume que, aunque el día 207 de cultivo sigue teniendo el comportamiento observado en la temporada primavera–verano más temprano.

Tabla 14.
Resultados del análisis bioeconómico para el cultivo de pelillo en Pudeto.

Nr. hectáreas	Cm (post cosecha)	día Cm mínimo	Producción (kg)	Excedente ($/kg)	excedente total ($)
5	$ 65,60	151	74.489	$ 54,40	$ 4.052.509
10	$ 63,41	175	150.966	$ 56,59	$ 8.543.372
15	$ 62,60	189	227.475	$ 57,40	$13.058.139
20	$ 62,16	199	304.002	$ 57,84	$17.583.056
25	$ 61,89	207	380.551	$ 58,11	$22.114.553

Al día 207 el costo medio resultante es como el que se muestra en la **Figura 27**, donde se muestra el costo medio pre y post cosecha.

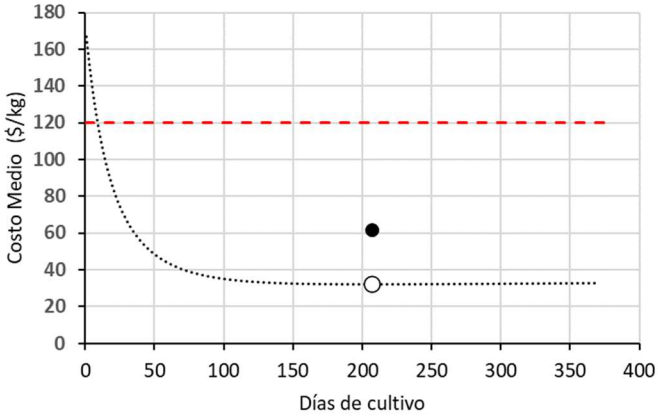

Figura 27. Dinámica del costo medio para el cultivo de pelillo en Pudeto en una superficie de 25 ha.

A ese mismo día la estructura del costo medio (**Figura 28**) muestra que la semilla y de trenzado son los ítems que más contribuyen al costo medio, en conjunto dan cuenta de $ 59 kg^{-1} de un total de $ 62 kg^{-1}.

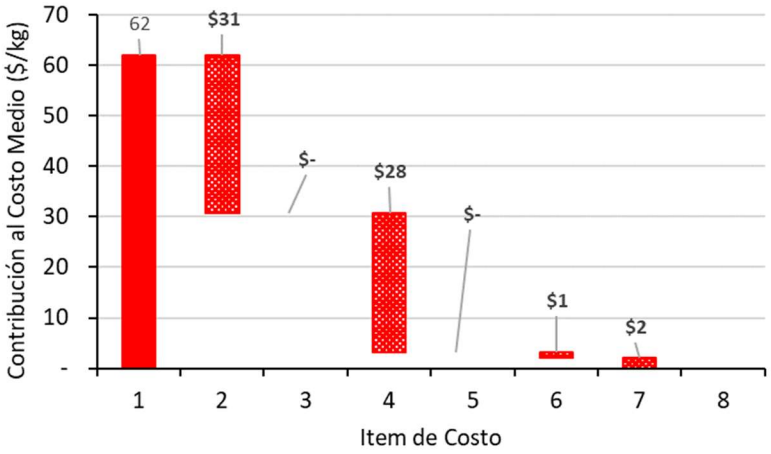

Figura 28. Análisis del costo medio para el cultivo de pelillo en Pudeto al día 207 de iniciado el cultivo. Se mantuvieron los mismos ítems que en el caso del cultivo con plansa para evitar confusiones con la numeración. (1) Cm mínimo; (2) Cm semilla; (3) Cm depreciación plansa; (4) Cm sueldos; (5) Cm trenzado de cuerdas externalizado; (6) Cm trenzado de cuerdas propio; (7) Cm cosecha; (8) Cm operacional.

El excedente que se genera por cada kilo producido es igual a la diferencia entre el valor de mercado por kilo de alga y el costo medio, $120 y $ 62 kg^{-1}, respectivamente; esta cantidad corresponde a $ 58 por kilo de alga producido. La producción total en biomasa alcanzaría a 380.551 kg, de esta manera el excedente económico total del ciclo de cultivo sería de $ 22.114.553.

Este excedente pudiera ser menor si la OPA está o no sujeta al impuesto de segunda categoría. Asumiendo que no lo está entonces el ingreso *per cápita*, esto es por socio de la OPA dependería del número de socios que conforman la OPA. No se tiene el dato al respecto, pero la **Tabla 15** resume el ingreso *per cápita* en función de varias alternativas de tamaño de la OPA.

El resultado del análisis de riesgo mostró que la probabilidad de exceder el punto de referencia es alta (**Figura 29**), esto es que el costo medio de producción por kilo de alga sea menor que el valor de mercado de ese mismo kilo de alga. En este caso esta probabilidad es del 86%, esto es hay una probabilidad del 86% de obtener un costo medio de producción igual o inferior al valor de mercado.

Tabla 15.
Variación en el ingreso per cápita de la OPA en función del número de socios.

Nr. socios	ingreso *per cápita*	Nr. socios	ingreso *per cápita*
5	$ 4.422.911	28	$ 789.805
6	$ 3.685.759	29	$ 762.571
7	$ 3.159.222	30	$ 737.152
8	$ 2.764.319	31	$ 713.373
9	$ 2.457.173	32	$ 691.080
10	$ 2.211.455	33	$ 670.138
11	$ 2.010.414	34	$ 650.428
12	$ 1.842.879	35	$ 631.844
13	$ 1.701.119	36	$ 614.293
14	$ 1.579.611	37	$ 597.691
15	$ 1.474.304	38	$ 581.962
16	$ 1.382.160	39	$ 567.040
17	$ 1.300.856	40	$ 552.864
18	$ 1.228.586	41	$ 539.379
19	$ 1.163.924	42	$ 526.537
20	$ 1.105.728	43	$ 514.292
21	$ 1.053.074	44	$ 502.603
22	$ 1.005.207	45	$ 491.435
23	$ 961.502	46	$ 480.751
24	$ 921.440	47	$ 470.522
25	$ 884.582	48	$ 460.720
26	$ 850.560	49	$ 451.317
27	$ 819.058	50	$ 442.291

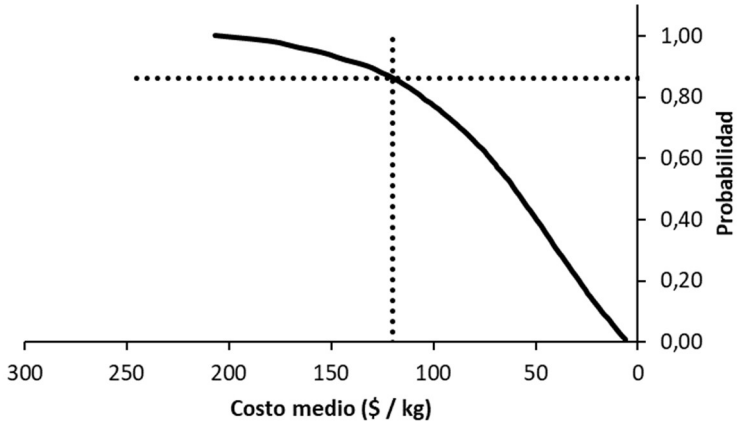

Figura 29. Resultado del análisis de riesgo para el cultivo de pelillo cultivado en estaca en la localidad de Pudeto. La línea punteada vertical roja representa el punto d referencia (precio de mercado del kilo de alga); la línea negra continua es la probabilidad de conseguir distintos valores de costo medio, la intersección de la línea punteada vertical con la horizontal indica el valor exacto para la probabilidad de obtener el punto de referencia seseado, esto es que el costo medio de producción sea más bajo que el valor de mercado del kilo de alga. En este caso esta probabilidad es del 86%.

5.2. Propuesta de recomendación de modelos socio-organizacionales y administrativos para el desarrollo efectivo de APE

5.2.1. Contexto actualizado de la APE en Chile

La APE es una actividad que se ha desarrollado en el país por más de 40 años, pero que sólo a inicios del 2022 es formalmente reconocida como un segmento de la acuicultura nacional, mediante la publicación de un Reglamento[2] que abordará esta actividad productiva a través de 6 ejes estratégicos:

i) **Identificación del segmento:** registro de acuicultores(as) de pequeña escala, lo que permitirá reconocer y visibilizar a quienes desarrollan esta actividad.
ii) **Incorporación de nuevos actores y espacios:** a la APE "tradicional" desarrollada en concesiones de acuicultura y/o AMERB, se incorporan las Caletas Pesqueras, ECMPO y espacios donde se realizará la captación de semillas de recursos hidrobiológicos desde el medio natural
iii) **Facilitación de acceso a los medios para el desarrollo de la actividad:** la formalización/visualización de los acuicultores(as) de pequeña escala permitirá que accedan a crédito y/o instrumentos de fomento, asistencia técnica en todas las etapas de la cadena productiva y apoyo para la comercialización de los productos
iv) **Facilitación de acceso y cumplimiento de requisitos y obligaciones previstas en la normativa:** eliminación, simplificación y reducción de tiempos asociados a trámites de acceso, funcionamiento y cierre de esta actividad productiva, de tal forma de hacerlos proporcionales al bajo impacto sanitario y ambiental de la misma
v) **Fomento al cultivo multitrófico:** se facilitará la diversificación de los cultivos sin necesidad de modificar proyectos técnicos atendidos sus beneficios ecológicos, como biomitigación de nutrientes y desarrollo de sinergias entre especies co-cultivadas.
vi) **APE como medida de mitigación al cambio climático:** permitirá a los acuicultores(as) de pequeña escala disponer de un portafolio de especies posibles de cultivar, otorgándoles una herramienta concreta de adaptación a los efectos del cambio climático y las posibles variaciones de mercado que puedan enfrentar.

La APE será uno de los ejes sectoriales que impulsará SUBPESCA para el período 2022-2025, buscando fortalecerla y promoviendo mecanismos de innovación, mediante el uso de tecnologías y procesos que den valor a los productos extraídos y a la diversificación productiva.
En relación a los ejes estratégicos i) y ii) (identificación del segmento, incorporación de nuevos actores y espacios), el nuevo reglamento APE considera como acuicultores o acuicultoras de pequeña escala los siguientes casos:

1) Personas naturales, sociedades de responsabilidad limitada o empresas individuales de responsabilidad limitada que desarrollan acuicultura en uno o más centros de cultivo, cuya

[2] Decreto 45. (24/02/2022) Aprueba Reglamento de Acuicultura de Pequeña Escala. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo; Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. http://bcn.cl/2zmpt

superficie total resultante de la sumatoria de todos los centros de cultivo indicada en sus proyectos técnicos sea igual o inferior a 10 hectáreas y tengan una producción máxima anual total resultante de las actividades de acuicultura y de aprovechamiento de recursos hidrobiológicos igual o inferior a 500 ton.

2) Organizaciones de pescadores y pescadoras artesanales compuestas exclusivamente por personas naturales inscritas como pescadores/as artesanales en los términos indicados en la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), con uno o más centros de cultivo y cuya superficie total resultante de la suma de todos los centros de cultivo indicada en sus proyectos técnicos sea igual o inferior a 50 hectáreas y tengan una producción máxima anual total resultante de las actividades de acuicultura y de aprovechamiento de recursos hidrobiológicos igual o inferior a 2.000 ton. En el caso de AMERB, Caletas Pesqueras y de ECMPO, el cálculo de la superficie total se realizará considerando el área autorizada para realizar la actividad de acuicultura, la que comprenderá además la colecta de semillas que se realice en estos espacios.
3) Personas naturales, sociedades de responsabilidad limitada, empresas individuales de responsabilidad limitada u organizaciones de pescadores artesanales, con uno o más centros de cultivo emplazados en tierra o terrenos de playa, cuya producción máxima anual de cada proyecto técnico sea igual o inferior a 100 ton.
4) Personas naturales, sociedades de responsabilidad limitada, empresas individuales de responsabilidad limitada u organizaciones de pescadores artesanales que sean titulares de uno o más permisos especiales de colecta otorgados en conformidad con la LGPA, cuya superficie total no exceda de 18 hectáreas.

5.2.2. Identificación del problema

A lo largo del desarrollo de este Programa y en diferentes etapas, se han aplicado instrumentos orientados a caracterizar socio-organizacionalmente a OPA, en función de sus potencialidades, voluntades y brechas para poder desarrollar APE.

Durante la Etapa II (2018-2019), se desarrolló una actividad denominada *Evaluación de potencialidades organizacionales y biofísicas de OPA titulares de AMERB en la Región de Los Lagos*, en la cual se aplicó un instrumento (entrevista semi-estructurada) a 27 OPA titulares de AMERB. Uno de los aspectos consultados en el instrumento fue el número de socios de la OPA dispuestos a realizar actividades APE. Los resultados indicaron que, en promedio, sólo un 67% del número total de socios de la OPA estaría dispuesto a participar o involucrarse en actividades APE.
Posteriormente, durante la Etapa IV (2020-2021), se desarrolló una actividad denominada *Diagnóstico de dinámicas socio-organizacionales que determinan la adopción de prácticas APE por parte de OPA*, en la cual se aplicó otro instrumento (entrevista semi-estructurada) a 41 OPA titulares de AMERB y/o CCAA en diferentes territorios (Regiones de Coquimbo, Los Ríos y Los Lagos). Nuevamente, a través del instrumento se indagó respecto del número de socios de la OPA dispuestos a realizar actividades APE. En esta ocasión, el resultado obtenido fue que, en promedio, sólo un 61% de los socios de la OPA estaría dispuesto a participar o involucrarse en actividades APE.

Empíricamente, durante la ejecución de este Programa, así como en otros proyectos vinculados a la implementación de APE, hemos constatado que un porcentaje aún más bajo de socios de una OPA se vincula activamente en la implementación de unidades demostrativas o experimentos orientados a medir el desempeño de sistemas de cultivo a pequeña escala. En general, se ha verificado que no son más de 3 o 4 socios de una OPA (siempre las mismas personas) los que se vinculan activamente. Identificamos esto como un problema, ya que la Política Pública de promoción para la APE en Chile asume que las OPA, como un todo - y no sólo una fracción de sus socios - incorporarán la APE como un medio de vida alternativo. Este problema pudiera ser particularmente sensible en el caso de la incorporación de APE dentro de AMERB, ya que en estos casos se requiere - como parte de los antecedentes a presentar para obtener una Resolución que apruebe dichas actividades - un acta de la asamblea que apruebe la realización de actividades de cultivo. En este escenario, la voluntad de una fracción de socios interesados en desarrollar APE dentro de AMERB podría quedar supeditada a la autorización que la asamblea manifieste para realizar cultivos.

5.2.3. Análisis de fuentes de información para el diagnóstico del problema

5.2.4.1. Análisis de Bases de Datos Sectoriales (Registro APE SERNAPESCA) – Titularidad APE

Se solicitó al Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA) una base de datos de titulares de centros de cultivo que cumplieran las siguientes características:

- Que incluya centros de cultivo cuyos titulares fueren personas naturales, Sociedades de Responsabilidad Limitada (SRL) o Empresas Individuales de Responsabilidad Limitada (EIRL) cuya superficie sea < 10 ha y producción < 500 ton año^{-1}.
- Que incluya centros de cultivo de organizaciones de pescadores artesanales (OPA) cuya superficie sea < 50 ha y producción < 2000 ton año^{-1}.
- Que incluya centros de cultivo de personas naturales, SRL, EIRL y OPA con centros de cultivo emplazados en tierra o terrenos de playa con producción máxima< 100 ton año^{-1}.
- Que incluya personas naturales, SRL, EIRL organizaciones de pescadores artesanales con permisos de colecta de semillas cuya superficie sea < 18 ha.

Un análisis preliminar, enfocado en la *Titularidad* de los centros de cultivo, basado en la data proporcionada por SERNAPESCA se muestra en la **Tabla 16**. El análisis de Titularidad, indica que la mayor cantidad de titulares de centros de cultivo a nivel país está concentrado en Personas Naturales (n=955), y en segundo orden de importancia están los Sindicatos (n=109). La Región de Los Lagos concentra el mayor número de titulares (independientemente de su categoría) a nivel país (n=904). Los resultados de este análisis son congruentes con el registro preliminar para acuicultores APE considerado en el Reglamento APE, el cual considera 751 titulares APE persona natural, 139 titulares APE constituidos por sindicatos, 35 titulares APE constituidos por personas, SRL, EIRL u OPA que realizan actividades de cultivo en tierra o terrenos de playa y 115 titulares de autorizaciones para realizar colecta de semillas.

Tabla 16.
Titularidad de los centros de cultivo, por región y tipo de titular.

Región	Persona Natural	Sindicato	Asociación Gremial	Sucesión	Empresa	Desconocido	Total
Tarapacá	2	4					**6**
Antofagasta		7					**7**
Atacama	31	1		1			**33**
Coquimbo	5	6	5				**16**
Valparaíso		3	2				**5**
O'Higgins		1					**1**
Maule	4	2					**6**
Bío Bío	10	1	3				**14**
Araucanía	73	4	2				**79**
Los Ríos	9	15	1				**25**
Los Lagos	816	64	15	4	3	2	**904**
Aysén	2	1					**3**
Magallanes	9	15	1				**25**
Total	**955**	**109**	**28**	**5**	**3**	**2**	**1.102**

Información actualizada[3] respecto de algunas características de los centros APE en Chile son las siguientes:

- A marzo de 2023 se encuentran inscritos 939 titulares y 1.112 centros de cultivo bajo la categoría de APE. 40 de aquellos centros se encuentran en terrenos privados, 60 centros se ubican en Áreas de Manejo de Recursos Bentónicos (como AEAMERB o AAMERB), 879 centros se emplazan en concesiones de acuicultura y 18 centros corresponden a espacios vinculados con permisos especiales de colecta de semillas. En cuanto a la distribución por género de las personas que actualmente se vinculan a centros APE, 1.172 corresponden a mujeres y 4.815 corresponden a hombres.
- De los 1.112 centros APE inscritos a marzo de 2023, el 78,1% se encuentra geográficamente localizado en la Región de Los Lagos (n= 870), siguiéndole la Región de la Araucanía (n= 72 centros) y la Región de Coquimbo (n=39 centros).
- Durante el año 2022, los centros de cultivo APE cosecharon un total de 103.106 toneladas de recursos. El 90% de las cosechas correspondieron a mitílidos (principalmente chorito), mientras que aproximadamente el 10% de las cosechas fueron de algas, principalmente pelillo. Menos del 1% de las cosechas se verificaron en otras especies, tales como ostra chilena, ostra del pacífico, ostión del norte, trucha arco iris y piure.
- Durante el año 2022, operó el 60% de los centros inscritos, lo que equivale a 568 centros. El 47,5% de los centros que operaron cosechó algas, el 45,6% de los centros cosechó mitílidos y el 6,9% de los centros cosechó ostiones, ostras, salmónidos y piure.

[3] Presentación del Servicio Nacional de Pesca (Acuicultura de Pequeña Escala en Chile: Avances y Desafíos - Jose Pablo Irribarra) en Taller de Trabajo Internacional "Avances y Desafíos de la Acuicultura de Pequeña Escala en Sud América – 11 de abril de 2023)

- De las 103.106 toneladas totales producidas desde centros APE durante 2022, el 98,6% fue obtenido desde centros APE ubicados en la región de Los Lagos, correspondiendo principalmente a mitílidos. El restante 1,4% de las cosechas totales fue obtenido desde otras regiones del país, siendo la Región de Coquimbo la más importante, con pectínidos y macroalgas.

5.2.4.2. Revisión y análisis de fuentes de información bibliográfica.

Esta componente de la actividad fue desarrollada siguiendo el enfoque metodológico propuesto por Arksey y O'Malley (2005). Para ello, se realizó una minuciosa revisión de la literatura científica disponible hasta el año 2022 en las plataformas como Web of Science, Cambridge University Press, Science Direct, Scielo, Jstor, Redib, Google Scholar, Redalyc, entre otras. En cada una de las búsquedas de información indexada se consideró la utilización de los términos Small Scale Aquaculture y Organization. Se añadieron otros criterios de búsqueda que abarcaran el rol social y económico de la acuicultura de pequeña escala, los que incluyeron: *Drive; Economic Impact; Fisherman; Innovation; Risk; Social benefit; Social factor; Social impact; Socioeconomic; Stakeholder; Adoption; Apropiation; Social Arrangement*. Además, se realizó una multi-combinación entre todos los términos utilizados. Complementariamente, se incorporaron otros términos de búsqueda que hubieran sido pertinentes y que permitan aumentar el espectro de búsqueda de artículos científicos. Los resultados de la búsqueda en las diversas plataformas fueron manejados con el gestor de referencias Mendeley. Posteriormente, se identificaron los artículos que arrojó la búsqueda y se eliminaron los estudios y/o publicaciones duplicadas, eliminando también las publicaciones que no se relacionaran con la finalidad de esta actividad. A continuación, se revisaron los títulos y resúmenes de las publicaciones almacenadas a fin de verificar que los artículos seleccionados cumplen con los criterios o términos de búsqueda e inclusión. Finalmente, se realizó la lectura completa de los artículos seleccionados (fase de análisis), extrayendo datos relevantes y se revisó en la sección "Literatura Citada" o "Referencias" para detectar estudios relevantes que no haya sido capturados en la búsqueda dentro de las bases de datos de las plataformas mencionadas anteriormente. La información rescatada fue sistematizada en una matriz.

La constatación de dificultades en cuanto a la implementación o ajustes normativos por parte de agencias del Estado, que permitan facilitar o ajustar la adopción de la APE por parte de pescadores y/o acuicultores artesanales se viene hablando desde hace muchos años, pero se constata en pocos estudios científicos (Hanh 2021). Este autor constata, a través de un estudio de caso, que las agencias de gobierno no entablan debates participativos con usuarios de pesca y acuicultura artesanales que les permitan comprender sus necesidades socioeconómicas y políticas que faciliten alternativas normativas para adopción de medios/modelos de vida alternativos. Los diseños de políticas son implementadas y /o diseñadas con aproximaciones tipo *top down*, lo cual significa que los actores llamados a beneficiarse de la implementación de estas políticas no son consultados acerca de sus situaciones sociales o ecológicas ni sus perspectivas en el arreglo de medios de vida alternativos. Como resultado, las intervenciones para facilitar medios de vida alternativos a menudo no se ajustan ni dialogan con las capacidades y aspiraciones de los usuarios locales. A menudo, también en este trabajo se constatan carencias de tipo motivacional, de compromiso y de capacidades desde las

agencias del Estado para desarrollar ajustes normativos que faciliten la adopción de medios de vida alternativos (Carbonetti et al. 2014). Estas dificultades a menudo no facilitan ajustes normativos que permitan, por ejemplo, proponer activamente o buscar por parte de las agencias del estado ajustes o arreglos normativos que permitan que subgrupos de una OPA se hagan cargo formalmente de prácticas APE.

En Chile, considerando las características productivas de los centros categorizados como APE, se puede constatar que la producción de mitílidos es un sector relevante dentro de lo que se denomina APE a nivel local. En este sector productivo, y de acuerdo a información publicada por Gonzalez et al. (2018) con datos disponibles de 2014, la mayoría de los centros de acuicultura de mitílidos (99%) son administrados o gestionados por personas naturales o compañías, y sólo el 1% de los centros pertenecen y son gestionados por OPA. Rivera et al. (2017) analizan las percepciones de los actores interesados (stakeholders) respecto de las oportunidades de mejora en la industria mitilicultora de pequeña y mediana escala. El análisis fue aplicado a stakeholders de diferentes eslabones de la cadena de valor (vinculados a la colección de semillas, centros de engorda, plantas de proceso y proveedores de servicios), y ninguno de esos grupos de interés manifiesta como un problema, desafío o brecha, un nuevo arreglo organizacional en los productores de materia prima. Por tanto, el "problema" detectado y descrito previamente (**Sección 5.2.2**) podría perfectamente estar situado en un espacio geográfico y administrativo diferente e incipiente en cuanto a la adopción de prácticas de APE: nos referimos a las AMERB. La APE se desarrolla actualmente en 60 centros considerados como tal, sin embargo, se encuentran en diferente estado de tramitación alrededor de 110 nuevas solicitudes de acuicultura en AMERB (Sergio Mesa, SUBPESCA, *com. pers.*).

A partir de otros espacios deliberativos en donde se han planteado estas inquietudes (Talleres Diagnósticos desarrollados en el marco del proyecto FIPA 2022-24 Plan Estratégico APE a lo largo de todo el territorio nacional), se ha nombrado frecuentemente por parte de los actores que integran las mesas de trabajo público-privadas que el éxito de una práctica APE viable desde lo económico ("que sea un negocio que rinda frutos significativos a las personas que adoptan esos medios de vida") pasa, entre otros aspectos, por configurar grupos pequeños (4 a 6 personas) que se hagan responsables autónomamente de la gestión técnica y comercial de aquellas iniciativas, especialmente en el contexto del funcionamiento tradicional de las AMERB. Esta realidad no ha sido satisfactoriamente relevada por los tomadores de decisión o agencias del Estado, que si bien han diagnosticado el problema no han dado salidas jurídico normativas para enfrentar esta situación.

Sin embargo, la literatura nos muestra que "buenos desempeños económicos" en las AMERB están vinculadas a múltiples factores. Por nombrar sólo algunos, el capital social de las organizaciones aparece fuertemente vinculado al desempeño económico de las AMERB (Rosas et al. 2014). En un estudio más reciente, acotado a la región del Biobío, Franco-Meléndez et al. (2021) determinan que las dimensiones sociales tienen una alta influencia en el mejor desempeño de las AMERB, mientras que las dimensiones ecológicas, éticas e institucionales fueron evaluadas como "regulares" o "malas". Por otro lado, Arias & Stotz (2020) indican que para una muestra de 109 AMERB, los resultados generales de desempeño son bajos en indicadores tales como población (recurso objetivo), producción e indicadores económicos, pero hay una buena *performance* de indicadores sociales e institucionales asociados a la sostenibilidad de las AMERB evaluadas.

El desempeño económico, si bien es un logro legítimo para los administradores de una AMERB, no es el único logro que se valora favorablemente: aspectos de conservación y empoderamiento territorial son aspectos positivamente valorados (Gelcich et al. 2017).
A contrapelo de esta demanda (arreglos organizaciones alternativos), Cai et al. (2022a) indican que la participación en cooperativas incrementa las ganancias netas (15,5%) y la producción por unidad de superficie (11,4%). Los servicios de información, entrenamiento técnico y la orientación en la venta de productos proporcionados hacia las cooperativas son las principales razones para el incremento de las ganancias netas y el aumento de producción por unidad de superficie.

5.2.4.3. Estudio de caso APE en AMERB Chungungo B

Antecedentes

El AMERB Chungungo B fue adjudicada en 1998 (D.S. N°398 de 1998) por La Organización Comunitaria de Buzos Mariscadores "Los Castillo" (RUT 65.409.410-1), inscrito en el Registro de Pesca Artesanal N°1067 con fecha 22 de mayo de 2000, obteniendo la personalidad jurídica el 20 de abril de 2000 según lo dispuesto por el artículo 8° de la ley N° 19.418, sobre Juntas de Vecinos y demás Organizaciones Comunitarias. Esta organización pertenece a la localidad de Chungungo en la comuna de la Higuera, ubicada en el límite norte de la región de Coquimbo. En sus inicios, contaba con 20 socios y una directiva conformada por tres hermanos, los Castillo Vergara. Este número de socios se ha mantenido en el tiempo.
En sus inicios, la mayoría de los socios se dedicaban al buceo para la extracción de locos y lapas de la zona. Sin embargo, ya en los seguimientos realizados en 2017, quedaba en evidencia la escasa actividad extractiva que se realiza en el área. Esto se tradujo en solicitudes de desafección por parte de la autoridad competente por falta de explotación, según lo consigna la Ley.
En los 23 años trascurridos desde su formación, la organización no ha sufrido grandes cambios en la composición de socios. Si bien los hermanos Castillo Vergara siguen siendo parte, un porcentaje importante de los socios, a pesar de seguir inscritos no participan activamente ni de la organización ni en la explotación del área. El área ha sufrido cambios en dimensión y disponibilidad de recursos, lo que genero un desinterés en el área y su mantención.
En este contexto, el año 2018, IFOP inició el trabajo con los socios de la organización para la repoblación de huiro palo *L. trabeculata* e inicio de tramitación para cultivo de algas. El año 2019, se tramitó el permiso de acuicultura experimental en AMERB para cultivo de filtradores y algas. La obtención de los permisos se vio ralentizada por una solicitud de desafección por la falta de explotación de recursos y el atraso del seguimiento. Luego de 10 meses se pudo superar esta situación y se instaló el cultivo en long-lines de ostión del norte, ostra japonesa y huiro. Esta instalación no estuvo exenta de dificultades: la disposición del área hacia el sur, la profundidad promedio y el tamaño del área, dificultaron la instalación y la mantención de los cultivos. A pesar de ello, se realizó un segundo ciclo con resultados positivos en cuanto a crecimiento y sobrevivencia de individuos repoblados. Entre los logros más recientes, está la venta al público de ostiones al por menor durante el verano del 2023. Por otra parte, la mejora en la instalación de long-lines, la participación de un mayor número de socios y

el ingreso económico que resultó de la cosecha y posterior venta de ostiones, ha generado el interés de la actividad de acuicultura dentro de la organización.
El interés de parte de los socios por ser partícipes en el desarrollo de la actividad APE, ha generado la necesidad de cambios estructurales. Esto queda en evidencia con la incorporación de nuevos liderazgos ejercidos por algunas socias que se han encargado de la comercialización de los recursos. Estas socias han demostrado un alto nivel de gestión, organización y liderazgo, necesario para llevar a cabo este tipo de actividad. A raíz de los resultados logrados en términos productivos en el ejercicio APE, se ha despertado el interés de ingreso de nuevos socios a la organización, y por ende, una nueva revisión, por parte de los socios, de los estatutos. Los estatutos vigentes de la organización, corresponden a los aprobados por la asamblea en la formación de la OPA (es decir, desactualizados del contexto productivo actual), sin embargo, la actividad APE, plantea el desafío de modificar este documento con el objeto de establecer sanciones y normas de trabajo acordes a la acuicultura.
El Estado ha incentivado a las OPA a iniciar cultivo a pequeña escala en AMERB y concesiones de acuicultura. Actualmente, el nuevo Reglamento posibilita la extensión del ejercicio de actividades APE a Caletas, ECMPO y terrenos privados, entre otros. En este marco, el impacto en la organización, los mecanismos para sortear problemáticas que nacen de la ejecución de la actividad, entre otros aspectos, son relevantes para la consolidación de la actividad APE.
El objetivo de este estudio de caso es describir el proceso de inclusión de la actividad de APE en una OPA titular de la AMERB Chungungo B, y la percepción de los pescadores respecto a la inclusión de APE en el AMERB, utilizando como marco metodológico el enfoque de medios de vida sostenible.
Para ello se busca responder principalmente las siguientes preguntas:

- ¿Cómo la actividad de acuicultura ha impactado a la OPA?
- ¿Qué dificultades ha tenido que enfrentar la organización producto de la instalación del cultivo?
- ¿Cómo la organización ha enfrentado estas dificultades?
- ¿Cuál es la perspectiva de APE en el largo plazo en el AMERB de Chungungo B?

Delimitación del caso

El objeto de estudio es la Organización Comunitaria de Buzos Mariscadores Los Castillo, quienes tienen la administración del AMERB Chungungo B. Se analizará el impacto de la inclusión de APE desde el 2018 a la actualidad. La descripción del proceso interno del impacto de la organización permitiría considerar los elementos relevantes en otras áreas de manejo con la misma problemática.

Marco metodológico especifico

Los estudios de caso tienen como característica básica que abordan de forma intensiva una unidad, ésta puede referirse a una persona, una familia, un grupo, una organización o una institución (Crozier et al. 1994). Puede ser algo simple o complejo, pero siempre una unidad; aunque en algunos estudios se incluyen varias unidades, cada una de ellas se aborda de forma individual. Las investigaciones cualitativas pueden ser idiográficas o nomotéticas. Idiográfica implica la descripción amplia, profunda del caso en sí mismo, sin el propósito de partir de una hipótesis o teoría, ni de generalizar las observaciones. La investigación nomotética implica el análisis de un fenómeno, con el registro de una

o algunas variables, por medio de grupos de personas, que pretende llevar a cabo generalizaciones, prueba de hipótesis o teorías (Gilgun 1994). Entre los tipos de estudios de caso cualitativo está el llamado caso "típico". Es una persona que representa a un grupo o comunidad. Pueden estudiarse varias personas que tienen algún aspecto en común, por lo que se espera cierta homogeneidad o coherencia en sus respuestas institución (Crozier et al. 1994, Merriam 1998).

Los estudios de caso son importantes en la investigación cualitativa, pero al mismo tiempo se usan cada vez más en una serie de aplicaciones en el campo profesional (Bergen & While 2000, Foster et al. 2016). Por ejemplo, en la evaluación de la participación social en un grupo, todo esto desde la perspectiva de las personas específicas que forman parte de esos grupos, empresas o instituciones (Macpherson et al. 2000).

Dentro de las etapas de un estudio de caso, se encuentra la identificación del enfoque (Identificación del enfoque~perspectiva). Con esto el investigador explicita la perspectiva con la cual será abordado el estudio de caso. De esta manera ubica las premisas de investigación básicas para su trabajo. El enfoque puede ser único o pueden adoptarse varios enfoques para hacer más amplio o profundo el estudio (Edwards 2000).

El enfoque de medios de vida sostenibles mejora la comprensión de los medios de subsistencia de las organizaciones. Organiza los factores que restringen o mejoran los medios de subsistencia, oportunidades y muestra cómo se relacionan. Puede ayudar a planificar actividades de desarrollo y evaluar la contribución que las actividades existentes han hecho para sostener medios de subsistencia (Serrat 2017). Este enfoque centra su mirada en cinco dominios denominados capitales (humano, social, ambiental, físico y financiero) que interactúan entre sí y a los que las comunidades recurren para generar estrategias diferenciadas ante procesos de cambios socio ecológicos para mantener, adaptar o mejorar las condiciones de vida (Allison & Ellis 2001, Neely et al. 2004, Allison & Horemans 2006, Rockefeller Foundation 2013).

El nivel que tienen estos capitales en cada caso puede influir en la implementación de actividades APE, la cual luego a su vez puede influir en mejorar las capacidades a cambios socio-ecológicos, como ha sido planteado para comunidades agrícolas en Asia y África, donde ha fortalecido la disposición a la adaptación (Edwards 2000, Ahmed & Lorica 2002).

En este caso, para responder la pregunta de investigación, se realizará una recopilación de antecedentes basados en los ámbitos incluidos en el enfoque de sistemas de vida sostenible.

Para recoger datos respecto de estas relaciones, se realizaron 3 entrevistas abiertas a dirigentes y socios de la OPA Los Castillo. Las preguntas están orientadas a describir la percepción del impacto la actividad APE en la organización y como perciben el futuro de la actividad en el área.

Adicionalmente, se aplicó el instrumento "Encuesta desarrollo de proyecto de acuicultura" desarrollado por el Departamento de Repoblación y Cultivo de IFOP en la etapa IV del programa, con el objeto de conocer opinión sobre la dimensión financiera y social de la actividad APE.

Descripción OPA y actividades APE

Actualmente la organización está compuesta por 20 socios, 3 de ellas mujeres. La composición de la organización no ha sufrido grandes cambios desde su formación. Tiene un promedio de edad cercano a los 60 años. La mayoría de los socios habitan en la localidad de Chungungo y son parte de la familia

Castillo Vergara. Hoy en día, la organización cuenta con 5 botes, mejoras sustanciales en el embarcadero de la caleta y caminos pavimentados desde la carretera.

La organización administra un AMERB desde el año 2000, siendo sus especies principales loco y lapa. El AMERB contaba inicialmente con 31 há disponibles, sin embargo, para el informe de seguimiento de junio del 2010, solo contaba con 6.25 há. Esta reducción fue realizada por la OPA debido a la instalación de la termoeléctrica Barrancones, la que finalmente no se concretó. Por otra parte, la comunidad bentónica también ha cambiado. En el estudio de situación base realizado el año 2000, se informó que el área estaba constituida por al menos 4 comunidades bentónicas: fondos blanqueados someros, comunidad de *L. trabeculata*, comunidad de organismos suspensívoros y comunidad de incrustantes. La comunidad de *L. trabeculata* descrita formaba un bosque submareal de baja densidad. En el informe de seguimiento N°2, (año 2001) se informa la comunidad de macroalgas en el área. Sin embargo, en el seguimiento N°10 del periodo 2016-2017 en la cual se realizó una evaluación cualitativa del área, solo se describieron comunidades de fondos blanqueados, caracterizada por coberturas de algas crustosas calcáreas y con organismos móviles como equinodermos (*Tetrapygus niger y Stichaster striatus*) actinias y moluscos (*Tegula spp., Nassarius gayi, Mitrella sp. y Fissurella spp)*. Además, para ese periodo no se solicitó cuota de extracción para las especies principales loco, lapa negra y lapa reina debido a su escasa presencia en el área. Desde el año 2018, el equipo IFOP ha realizado evaluaciones de comunidades en el área, sin embargo, solo se registra fondos blanqueados con apariciones esporádicas de piure.

Desde el año 2018 se han realizado diversas actividades en el área. El primer acercamiento realizado fue con el objeto de repoblar el área con *L. trabeculata*, para ello se tramitó un permiso de repoblación, y se instaló la primera línea de cultivo para el crecimiento de las plántulas de huiro palo que luego serían adheridas al sustrato. Esta experiencia no dio los resultados esperados, sin embargo, dio pie a iniciar con la idea de cultivo multi especie.

En el año 2019 se inició la tramitación del permiso de Acuicultura Experimental en Áreas de Manejo (AEAMERB), que es un permiso de carácter experimental que otorga SUBPESCA. Lo anterior, con el objeto de realizar actividades de acuicultura dentro del AMERB. El cultivo consiste en dos sistemas de cultivo (long lines) de 50 metros, considerando moluscos filtradores (ostión del norte, ostra japonesa o del pacífico) y algas. Desde la tramitación al otorgamiento del permiso, transcurrieron 10 meses, desde entonces se han ejecutado 2 ciclos de cultivos. El primer ciclo de cultivo, implementado el 2021, tenía como objetivo la evaluar la factibilidad de implementación de un sistema de cultivo en el área. Si bien fue factible la implementación, no se obtuvo una cosecha importante y apta para la comercialización debido a la colonización de cirripedios (pequeños “picorocos”) sobre las conchas de los moluscos filtradores y sobre la infraestructura del sistema de cultivo. Se suman a estos hechos desafortunados el corte de una línea de cultivo con más del 60% de las ostras japonesas sembradas. Los hechos sucedidos en 2021 motivaron a la OPA con apoyo en términos de la asistencia técnica de IFOP a asumir el desafío de implementar un segundo ciclo con mayor responsabilidad de los socios en la vigilancia y mantención de las linternas. En este segundo ciclo, se logró cosechar y comercializar localmente ostión del norte.

Bajo este contexto se realizaron las entrevistas a 3 socios activos en la organización. Flor Castillo, es actualmente secretaria de la organización; Juan Castillo Vergara, es presidente de la organización desde sus inicios y Paulino Castillo Vergara, es socio activo y fue parte de la directiva.

Entrevistas

En esta sección se describen, agrupados por temática principal, los principales comentarios emitidos por los entrevistados**.**

¿Han tenido experiencias previas en APE?

- General los entrevistados señalan que no han tenido mayor experiencia en APE, salvo Don Juan Castillo que comenta "*yo mismo hice prueba con ostión, en ese tiempo tenía ostiones de Totoralillo y los tenía en linternas, el resultado fue bueno, pero hubo mucha jaibita que se metió dentro del ostión, quería saber si vivían, me daban buenas posibilidades".*
- En tanto don Paulino *"con ustedes (*IFOP) *no más hace 5 años, nunca habíamos tenido experiencia de acuicultura. Calchano* (Don Juan Castillo) *hizo una experiencia con colectores, pero lo hizo solo*". "*yo me encontré una linterna como hace 7 años y ahí aprendí a cuidarla en la dársena,* (entrada de agua artificial que hoy se utiliza como embarcadero por los pescadores de la zona) *pero nunca se me imagino poner linternas en el área de manejo*".

¿Cómo la actividad de acuicultura ha impactado a la OPA?

- La percepción de los entrevistados es bastante positiva. Flor señala "*ha sido súper bonito, porque ha unido a la familia. Ir en el bote con mis sobrinos, mi hermana, mi papá y ser parte de la actividad. Ha sido bonito".* "*Ha sido un proceso super lindo. Ahora sabemos que se necesita y a organizarse".*
- En tanto don Juan Castillo señala "*ha sido todo muy bueno, la idea, hubiéramos sacado mejores resultados si hubiéramos cuidado más. Pero la APE es muy bueno, es lo mejor que se ha sacado en el área".* "*Familiarmente ha sido super positivo, ahora quieren tirar el área para arriba"*
- Don Paulino en tanto, señala que "*En este momento el cultivo es la actividad principal del área de manejo*".
- Todos los entrevistados señalan que ahora existe un mayor interés en el área, tanto de socios actuales como de otros pescadores y habitantes de Chungungo que han solicitado entrar en la OPA.
- En este contexto don Juan señala "*Hay más gente interesada para entrar la OPA. Van a tener que hacer el curso de pescador para obtener la RPA. Este curso lo hace la Gobernación Marítima. Hay gente joven que quieren ayudar en el proceso del ostión, hay harta gente entusiasmada".*

¿Qué dificultades ha tenido que enfrentar la organización producto de la instalación del cultivo?

- Tanto don Juan como don Paulino señalan que la vigilancia es el desafío más importante para continuar con el APE y volver a trabajar en el AMERB. Según ellos, los robos constantes es el factor gravitante en la baja productividad del área y el mayor temor al seguir implementando cultivos.
- Según don Juan Castillo: "*El choque que tenemos es para el cuidado, no tenemos bencina y la maldad de la gente que cortaron la línea madre (*se refiere a un episodio de perdida de una línea madre en el año 2021*). Es indispensable un cuidado. Conseguir un dron y vigilar. Fuimos a hacer un estudio,*

y pillamos a alguien sacando locos que ni hay. Si no hay conflicto entre nosotros, solo que no tenemos forma de proteger el área de manejo, eso es lo que nos preocupa".
- En tanto don Paulino: "*hay que cuidar, si se cuidara el área sería más productiva. La maldad es de la gente hay que cuidar el cultivo*".

¿Cómo ha sido la participación de las socias en la actividad APE?

- Los entrevistados también coinciden en que la participación de socias en la etapa de cosecha, selección y venta de ostiones fue fundamental para el éxito. Además, destacan la capacidad de gestión que han demostrado en las últimas actividades realizadas.
- Según don Juan: "*Las mujeres han sido muy buenas, no había visto nunca a la gente tan cooperadora, son súper trabajadoras. 2 a 3 mujeres que más han trabajado seleccionando y vendiendo. Me motivo para seguir adelante el cuento".*
- Según Flor: "*Las ventas generaron interés de otros socios. Fuimos a SUBPESCA a preguntar cómo podemos ampliar el área. Hay harta gente interesada en entrar a la OPA. Hay 2 mujeres, y hay más personas, las esposas están reemplazando al marido, aprendiendo a tomar datos, llenar las planillas y en las ventas, se están saliendo al mar*". "*Las mujeres han cumplido con un papel importante en tomar la actividad de acuicultura*".
- En tanto don Paulino señala que: "*las niñas están haciendo todos los tramites, las niñas tienen profesiones*" "*yo creo que la dirigencia va a cambiar con el APE*" "*se pidió una reunión para reemplazar a los hombres y fueron todas las mujeres*" además, "*las mujeres hacen más pega que los hombres, escogen las grandes y las chicas* (ostiones), *la mujer es más servicial y sirve más para trabajar en la acuicultura*".

¿Cómo cree que debería funcionar en adelante la OPA para que la actividad APE funcione?

- Los tres entrevistados enfatizan en dos aspectos: 1) La organización interna y 2) La distribución de ingresos del APE. Según Flor: "*Las platas serán repartidas entre los que trabajan. La primera vez se repartió en partes iguales, pero en las siguientes cosechas los buzos y embarcaciones ganarán más. Esta vez se repartió aproximadamente $50.000 por persona (por 13 personas que trabajaron)".*
- Según don Juan: "*Persona que esté en el grupo y trabaje va a ganar en partes igual. Para la mantención seria 3 bote buzos a hacer la limpieza de forma mensual*".
- Don Paulino: "El que no quiere participar no recibe plata" *La mayoría de la organización está dispuesto a hacer APE* (5 embarcación)". "*Ahora vamos a hacer la reunión para ponernos a hacer el cultivo pronto, ponernos manos a la obra. "Antes se repartían las ganancias del loco entre todos, ahora para el APE se les repartió a todos igual, y quedaron todos contentos*". "*Tenemos que reunirnos más seguido y los que trabajan son los que tienen que beneficiarse del cultivo, hay que trabajar por partes*" "*Además queremos hacer otras actividades como repoblar con locos, así es que queremos ver el fondo marino*".

¿Cuál es la perspectiva de APE en el largo plazo en el APE de Chungungo B?

- Según Don Juan Castillo "*Yo creo que se va a seguir con el APE, porque el gremio va a hacer un proyecto en piscina y con eso podemos tener semillas*", sin embargo, posteriormente señala que "*como Caleta no tenemos visión de futuro, no somos unidos, cada uno vela por lo suyo. Queríamos poner los ostiones en la dársena, pero falta unión para hacer otras cosas*". *"Se puede sacar plata en el futuro, hay que buscar una institución del Estado para que nos ayude. Y la CAP (*Compañía de Aceros del Pacifico, por la instalación del mega puerto de Cruz Grande*) también que nos ayude*".
- Don Paulino señala que "*Hay expectativas económicas respecto al cultivo, hay gente re entusiasmada*".
- Sra. Flor "*lo ideal sería que a futuro tuviéramos una marca, algo así como ostiones de Chungungo. Esa es mi visión de futuro con la acuicultura. Tener algún tipo de certificación y un cultivo más grande, estamos viendo en SUBPESCA como ampliar el área*". Además, señala que "c*ontrataron a un consultor que los ayudara con la elaboración de proyectos".*

Encuesta

Dimensión económica

- Respecto a la distribución de los beneficios, los 3 encuestados, al igual que en la entrevista, señalan que los socios que trabajen en el APE deben recibir beneficios de ésta. Aunque don Juan es el único en indicar que los beneficios deben ser distribuidos de manera equitativa. Tanto Flor como don Paulino, señalan que las ganancias deben ser diferenciadas por labor (por ejemplo, buzo y botes deben ganar más).
- En cuanto a la cadena de comercialización de los ostiones, solo Flor señala conocerla. Ella señala que en la OPA se informaron respecto a ello. El valor agregado que los participantes ven en el ostión del norte es el desconche y venta en bandejas congeladas como valor agregado para el recurso.
Respecto a los costos, los encuestados, mostraron no conocer cabalmente los costos de implementación y mantención del cultivo. Solo señalaron los costos de traslado al área ($15.000 por viaje), estudio de seguimiento ($2.000.000 a $2.500.000) y vigilancia (entre $50.000 a $500.000 mensuales). Pero los costos de instalación de líneas, mantención, materiales, y gastos administrativos, fueron desconocidos para ellos. En cuanto al costo de la cosecha, consideraron los viajes de las embarcaciones (3 botes) y señalan que serían 1 vez al año.
- En cuanto a la dependencia de la pesca artesanal, señalan que el desempeño económico de la AMERB es muy malo, además, es de baja importancia en cuanto a la subsistencia económica de los socios de la organización, señalando que los ingresos anuales de los socios provenientes del área corresponden entre 0 a 20%. Sin embargo, las actividades pesqueras (fuera de AMERB) cumplen un rol económico alto (81-100%) dentro del ingreso de los socios.
- Respecto a la disponibilidad de los socios a aportar económicamente en el cultivo existen visiones contrapuestas, por una parte, Don Juan señala que la mayoría de los socios, estarían dispuestos a aportar $100.000 por persona en el proyecto, Don Paulino cree que menos del 20% de los socios estaría dispuesto a aportar.

Dimensión social

- Tanto don Juan como don Paulino, señalan que la organización no mantiene redes de colaboración con otras OPA del área. Además, la organización no participa de federaciones ni asociaciones.
- Respecto a la experiencia de acuicultura, señalan que consideran, desde un punto de vista económico, una experiencia importante, al igual que el aprendizaje y que el apoyo económico externo ha sido muy importante. Se consideran capacitados para enfrentar un cultivo por ellos mismos, pero señalan que necesitan apoyo externo para la formulación de proyectos.
- En cuanto a las normas y sanciones, señalan que existen sanciones para los socios que no cumplen con las reglas, sin embargo, no se han aplicado en los últimos dos años. Aunque Flor añade que se está evaluando el estatuto para sancionar a quienes no participen en los compromisos adquiridos para el desarrollo de la actividad APE.
- Respecto a la disposición a la acuicultura, tanto la directiva como los socios tienen una muy alta disposición a ser parte de un proyecto de acuicultura. Según señalan la mayoría de los socios está dispuesto a participar activamente.
- Para un proyecto de acuicultura, los encuestados señalan que los aspectos voluntad de los dirigentes, el apoyo técnico, las expectativas económicas y de aprendizajes son altamente importantes, sin embargo, el apoyo financiero y la voluntad de los socios son aspectos con un nivel de importancia muy alto para el desarrollo de un proyecto de acuicultura.

Enfoque de medios de vida sostenible.

Desde el enfoque de vida sostenible y con la información recopilada, se pueden identificar los siguientes capitales:

- *Capital ambiental:* El AMERB Chungungo B, es un área poco productiva, pequeña y con orientación sur, que la hace susceptible a marejadas.
- *Capital social:* La organización mantiene redes verticales con instituciones como la municipalidad de La Higuera, empresas como la CAP e instituciones del estado (SUBPESCA, SERNAPESCA). Sin embargo, carece de redes con otras OPA (relaciones horizontales). Por otro lado, es una organización pequeña de origen familiar, lo que lo hacen hacer causa común y le otorga la facilidad de ejecutar acciones colectivas.
- *Capital financiero:* No conocer el costo de la instalación y mantención del cultivo. Se espera conseguir financiamiento estatal y privado.
- *Capital humano:* Alto conocimiento ecológico local debido a que es una organización familiar originaria de la localidad de Chungungo y cuyos integrantes han trabajado en el área gran parte de su vida. Ingreso de nuevas generaciones con mayor nivel educativo. liderazgo femenino, especialmente en la última etapa del cultivo.
- *Capital físico:* Poseen embarcaciones y el camino a la localidad de Chungungo ha sido recientemente pavimentado.

5.2.4.4. Normativa Sectorial y Bases Administrativas de concursos de proyectos relacionados a implementación de APE

Esta actividad se orientó a responder si es que la normativa vigente y las Bases Administrativas/Técnicas de concursos ppúblicos orientados a promover iniciativas de APE: ¿recogen y/o abordan el "problema" detectado?.

La normativa vigente (LGPA, Reglamento AMERB, Reglamento de Concesiones de Acuicultura, Reglamento de Acuicultura en AMERB, Reglamento APE, entre otros) no abordan la problemática planteada, esto es, el hecho de que dentro de los colectivos de personas que administran las AMERB (quienes constituyen personas jurídicas de diferente naturaleza) pueda existir un subgrupo reducido de personas que muestran, al menos en fases iniciales de implementación de experiencias APE, un interés genuino por desarrollar ese tipo de actividades como forma de vida complementaria a actividades históricas como pesca, buceo o recolección de algas o mariscos del intermareal, etc. El cuerpo normativo vigente actualmente reconoce sólo a las OPA (Sindicatos, Cooperativas, Asociaciones Gremiales, Organizaciones Comunitarias, etc.) como las únicas capaces de tramitar espacios como las AMERB, y desde allí, ampliar las actividades extractivas bentónicas a otros medios de vida como la APE.
En línea con lo anterior, los instrumentos de financiamiento analizados (disponibles en organismos públicos como INDESPA, Sercotec, CORFO, entre otros) tampoco están preparados ni diseñados para acoger o permitir que un subgrupo de personas dentro de una AMERB desarrolle actividades paralelas (pero no por ello no convergentes) de tipo APE dentro de las AMERB. En general, se puede comentar por ahora que los requisitos de entrada en el diseño de los instrumentos de financiamiento son meramente check-list de cumplimiento documental/administrativo, los cuales deben estar en sintonía con la normativa vigente, y no permiten arreglos formales vinculados al "problema" detectado.

Objetivo específico 2: *Desarrollar cultivos pilotos de pequeña escala en diferentes zonas geográficas del país.*

5.3. Obtención de semillas/plántulas de macroalgas 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 chicoria de mar y pelillo se realizó mediante compra a proveedores del sector de Quetalmahue y Quilo (Comuna de Ancud). Semillas de ostra japonesa y choro zapato fueron adquiridas en cultivos Cholche, Hueihue, Chiloé.
Para el cultivo en el sitio Chungungo, la obtención de semillas y plántulas para el segundo ciclo de cultivo, se realizó mediante compra de semillas de ostión del norte al hatchery de la Universidad Católica del Norte y de semillas de ostra japonesa al hatchery Nanaku Ltda.

5.4. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos de macroalgas y multi-especies en el norte y sur de Chile

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

En la **Tabla 30** se presenta la configuración final de los cultivos implementados en la presente etapa.

Tabla 30.
Configuraciones de co-cultivos y cultivos multi-especies según sitio de estudio.

Sitio Estudio	Tipo Cultivo	Macroalgas	Invertebrados
CCAA Hueihue	-Multi-especies suspendido en plansa	Chicoria, pelillo	
	-Portafolio de especies*	Chicoria, pelillo	Choro zapato, ostión del norte, ostra japonesa
CCAA río Pudeto	-Co-cultivo de fondo en camillas	Pelillo	Ostra japonesa, choro zapato
CCAA Quinchao	-Multi-especies suspendido en plansa	Chicoria, pelillo	
	-Unidad demostrativa long-line		Ostión del norte, ostra japonesa
AMERB Chungungo B	-Multi-especies suspendido long-line	Huiro flotador	Ostión del norte, ostra japonesa

5.4.1.1. Sitio Chungungo

El sistema de cultivo consistió en 2 long-lines independientes de 50 m, instalados en el polígono identificado en la Etapa 2 del Programa y que se especifica en el permiso correspondiente (**Tabla 18, Figura 31**). En la presente etapa del programa se inició un segundo ciclo de cultivo en el AMERB.

Tabla 18.
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"

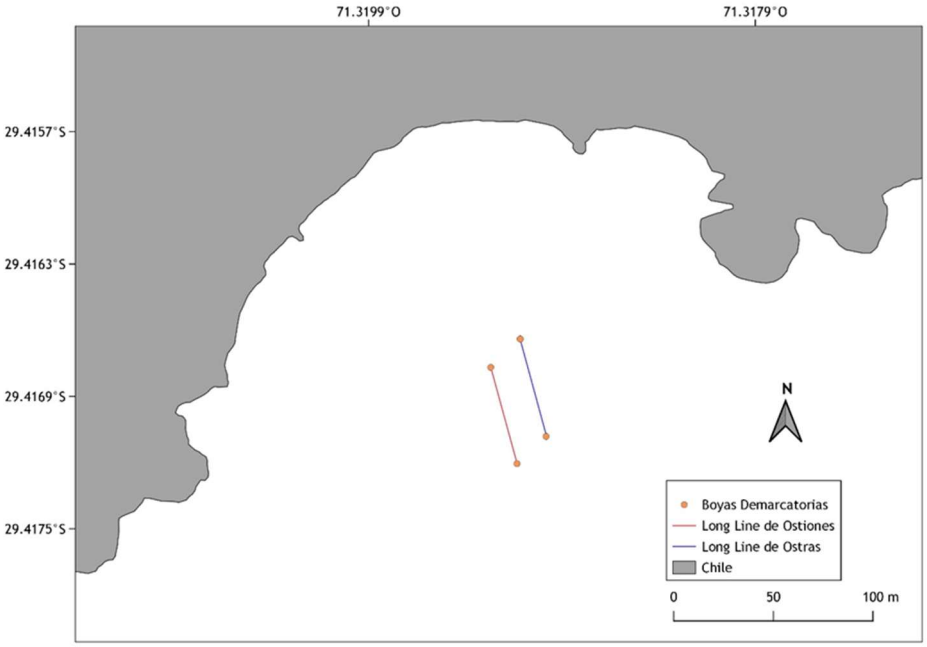

Figura 31. Ubicación de la línea de cultivo instalada con linternas de ostras y ostiones en AMERB Chungungo B.

En la primera línea se instalaron 22 linternas de cultivo de ostras y 18 con ostión del norte. En la segunda, se instalaron 50 metros de cabo encordado con plántulas de huiro flotador (*M. pyrifera*) (**Figura 32**). Esta actividad se realizó bajo el marco del permiso de ampliación del AEAMERB otorgado en febrero del 2021 mediante Res Ex. 270/2021.

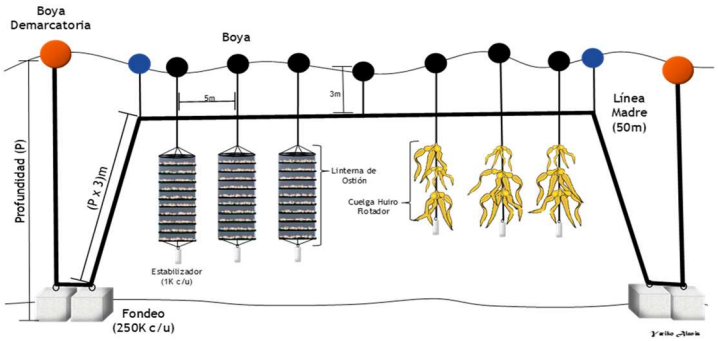

Figura 32. Representación gráfica de Long-lines de cultivo multi-especies, considerar que para efectos prácticos no se incluyeron la totalidad de reinales y linternas solicitadas. Línea con linternas de ostión y reinales con plántulas de huiro.

El1 de septiembre del 2022 se realizó la siembra de 12000 semillas de ostiones en 22 linternas de 10 pisos cada una con apertura de malla de 4.5 mm. Se sembró cada piso con una densidad de 100 individuos. Para el seguimiento de crecimiento, mortalidad y peso por piso, se identificaron 3 pisos que fueron marcados con patrón único de cuentas de plástico en amarracables. La longitud máxima de la valva fue medida en 25 individuos sembrados por piso marcado, además se pesaron la totalidad de los individuos por piso para obtener el peso total. La longitud promedio de los individuos sembrados fue de 22.74 ± 3.09 mm. El peso total por piso fue de 241.25 ± 14.79 g. La preparación de las linternas fue realizada en caleta de Chungungo y luego fueron llevadas al AMERB para la siembra (**Figura 33)**.

Figura 33. Implementación de cultivo de ostión del norte en AMERB Chungungo B. A) Semillas de ostión del norte y B) Socios de la OPA Los Castillo en preparación de linternas de cultivo.

El 6 de enero del 2023 se realizó la siembra de 12000 semillas de ostra japonesa. Inicialmente las ostras se instalaron en 3 linternas debido a su pequeño tamaño (entre 0.8 a 1 cm, según el proveedor). Con el objeto de que los individuos crecieran, permitiendo una mejor manipulación, y trabajar con mayor certeza las densidades sembradas (**Figura 34**). Se realizará un desdoble en los primeros días de abril del año 2023.

Figura 34. Implementación de cultivo de ostra japonesa en AMERB Chungungo B. A) semillas de ostras y B) Socios de la OPA Los Castillo participando en la faena de siembra.

El 27 de diciembre del 2021 se sembraron 50 metros de cabo encordado con una densidad de 9 plántulas de huiro flotador por metro lineal. Se seleccionaron 4 cabos de 2 metros que fueron marcados para realizar el monitoreo de mortalidad, longitud, número de estipes y biomasa. Originalmente se había propuesto el cultivo por reinales de cabo con plántulas encordadas, sin embargo, al momento de la siembra, producto de la disponibilidad de espacio en la estructura de cultivo se cultivó de forma paralela a la línea madre**.** Estas plántulas fueron monitoreadas durante el año 2022, sin embargo, aún no se realiza la cosecha por falta de compradores interesados.

5.4.1.2. Sitio Quinchao

En la CCAA administrada por la Corporación Municipal de Quinchao, se realizó el tercer ciclo de cultivo multi-especies de algas (chicoria y pelillo) en sistema de plansas. Se instalaron 150 metros de cuerdas inoculadas con material vegetativo para cada especie y en distintas densidades (chicoria: densidad alta 0.5 kg y baja:0.25 kg; pelillo: densidad alta 1 kg y baja 0.5 kg) (**Figura 35**). Mensualmente se cuantifico el desempeño productivo y se evaluó el efecto de la realización de podas (2 meses desde el inicio del cultivo, 1 poda por ciclo) durante el periodo de cultivo.
Durante la segunda semana del mes de junio y tercera de julio del 2022, se sembraron las macroalgas pelillo y chicoria, respectivamente. Adicionalmente, se instalaron los medidores continuos de parámetros ambientales. En el mes de septiembre 2022 se realizó la primera poda para ambos recursos (**Figura 36**). No se realizó una segunda poda, que correspondía al mes de noviembre, debido a que la biomasa que presentaban los cultivos, junto con el aumento de organismos epibiontes en las líneas de cultivo, no permitía la realización de ésta.

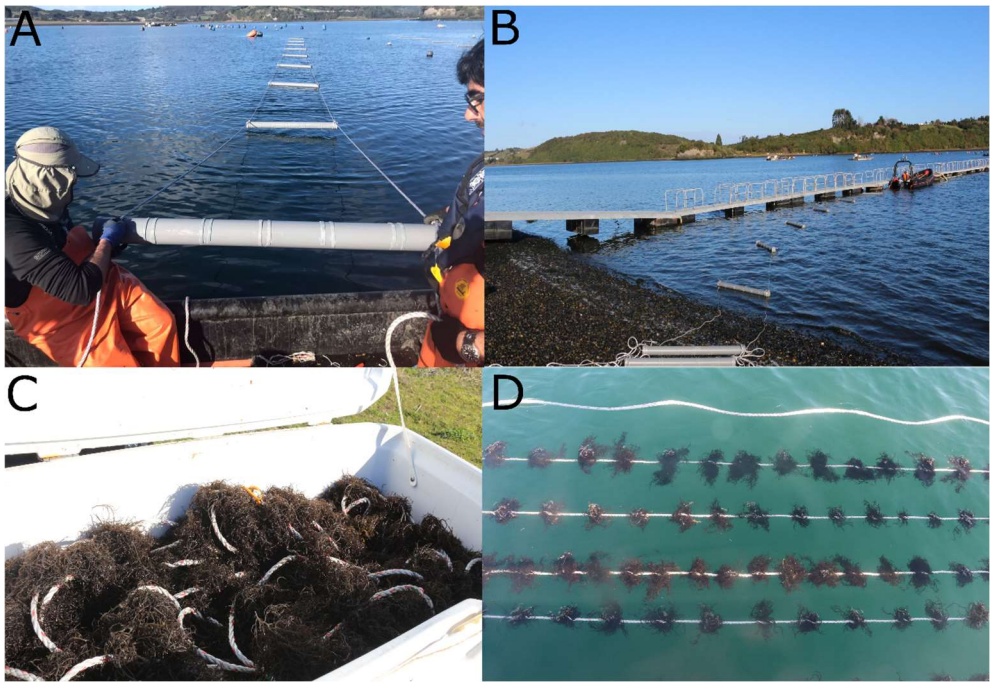

Figura 35. Sistema de cultivo en Quinchao**.** A) Instalación del sistema plansa en el sitio de cultivo, B) Traslado del sistema plansa, C) Cuerdas inoculadas con macroalgas y D) Cuerdas con macroalgas instaladas en el sistema plansa.

Figura 36. Proceso de poda en Quinchao**.** A) y B) proceso de corte de las algas en las líneas de cultivo, C) Línea de cultivo antes de la poda y D) Línea de cultivo posterior a la poda.

5.4.1.3. Sitio Pudeto

En la CCAA del río Pudeto, se están ejecutando 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 metro de ancho y 5 metros de largo. Para ambas especies, se dispuso sobre las camillas 4 bolsas de malla plástica (apertura de malla de 1-1.5 cm) conteniendo aproximadamente 100 semillas de 3 a 4 cm de longitud. Para los co-cultivos, se dispusieron cuerdas inoculadas con pelillo (6 cuerdas por camilla de 2,5 m de largo) (**Figura 37**). Se dispuso un cultivo control para pelillo en cuerdas (12 cuerdas) aproximadamente a 60 cm del fondo. Durante la segunda semana el mes de junio 2022, se adecuaron las estructuras de cultivo y se sembraron las algas y bivalvos. Adicionalmente, se instalaron los medidores continuos de parámetros ambientales.
Los cultivos de bivalvos se mantuvieron hasta marzo 2023, fecha en la cual se realizó la cosecha de los organismos. El cultivo de algas se monitoreo hasta el mes de diciembre 2022.
De esta forma, se evaluaron los siguientes tratamientos:

-Cultivo de ostra japonesa
-Cultivo de choro zapato
-Co-cultivo de ostra japonesa y pelillo
-Co-cultivo de choro zapato y pelillo

Figura 37. Cultivo en Pudeto. A) Semillas de ostra japonesa para co-cultivo, B) Semillas de choro zapato para co-cultivo, C) Malla utilizada para el cultivo de bivalvos, y D) Instalación de cuerdas de macroalgas y mallas de cultivo.

5.4.1.4. Sitio Hueihue

En la CCAA en bahía Hueihue, se ejecutó el segundo cultivo multi-especies de macroalgas (chicoria y pelillo) en sistema de plansas dispuestos en un long-line. En este sistema de plansas se instalaron 150 metros de cuerdas inoculadas para cada especie y en distintas densidades (chicoria: densidad alta 0.5 kg y baja:0.25 kg; pelillo: densidad alta 1 kg y baja 0.5 kg) (**Figura 38**). Mensualmente se cuantificó el desempeño productivo y se evaluó el efecto de la realización de podas (2 meses desde el inicio del cultivo, 1 podas por ciclo) durante el periodo de cultivo.

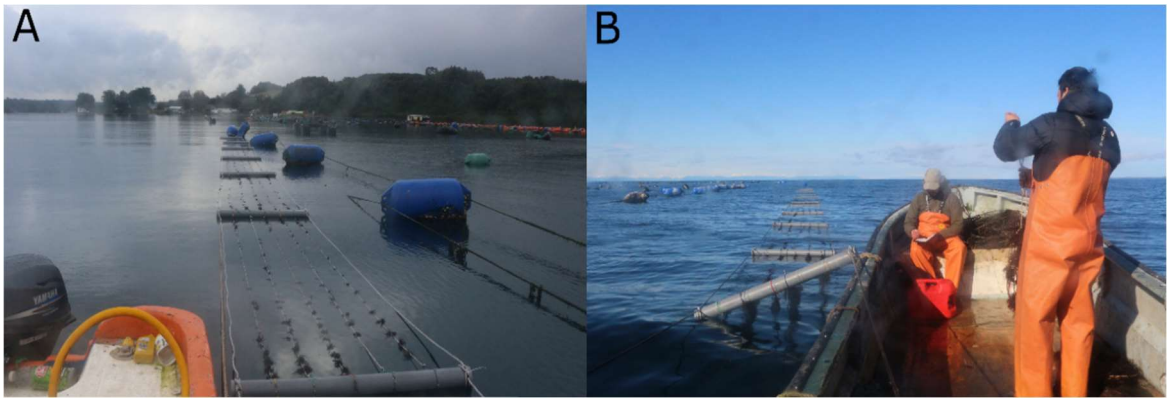

Figura 38. Sistema de cultivo en Hueihue. A) Instalación de macroalgas en sistema plansa, B) Monitoreo de macroalgas en sitio de cultivo.

Durante la segunda semana del mes de junio y de julio del 2022, se sembraron las algas pelillo y chicoria, respectivamente. Adicionalmente, se instalaron los medidores continuos de parámetros ambientales.

En el mes de septiembre 2022, la estructura de cultivo aparentemente fue cortada por terceros, lo que generó enredos en las líneas de cultivo y la pérdida total para pelillo, quedando algunas líneas de chicoria flotando junto con la estructura. Posterior a esto se realizó el arreglo de la línea madre que mantiene la estructura de cultivo y se procedió a instalar nuevas cuerdas de cultivo para el recurso pelillo, teniendo en cuenta la biomasa anterior al corte de la estructura y también los valores de biomasa obtenidos en cultivos anteriores a esa fecha. Esto permitió instalar cuerdas de pelillo con la realización de la poda, para evaluar el crecimiento luego de su instalación en el sistema (**Figura 39**). Respecto al recurso chicoria, se tomó la decisión de no realizar la poda, debido a los bajos valores de biomasa que presentaba a la fecha de monitoreo y también la aparición de organismos epibiontes que afectan el crecimiento.

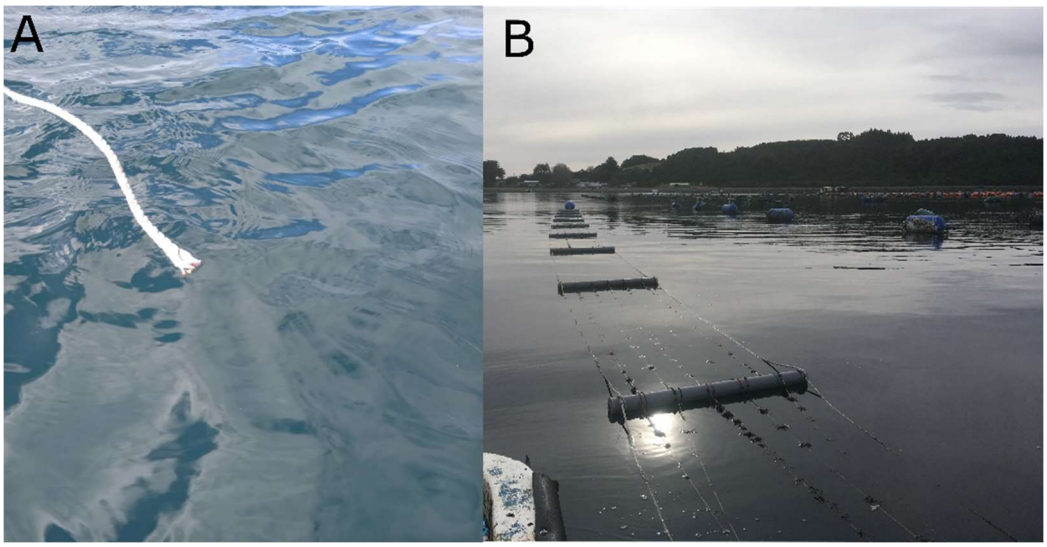

Figura 39. Sistema de cultivo en Hueihue. A) Corte de la línea madre del cultivo, B) Línea madre arreglada y con los recursos pelillo y chicoria instalados para su cultivo.

5.4.2. Monitoreo del desempeño productivo cultivos

5.4.2.1. Sitio Chungungo

Ostra (*C. gigas*)

Desde el día de siembra se han realizado mantenciones de las linternas con ostras japonesas, sin embargo, por el tamaño de los individuos y por riesgo de pérdida de semilla por la maniobra, aún no se ha realizado el desdoble que permitiría el manejo de la densidad y monitoreo de la longitud. Se espera que las condiciones meteorológicas y de disponibilidad de socios permita realizar esta actividad durante la primera quincena del mes de abril del presente año.

Ostión del norte (*A. purpuratus*)

El 25 de noviembre de 2022 se realizó el desdoble, que consistió en el cambio de linternas. El número de linternas finales fue de 18 linternas de 10 pisos cada una y 21.1 mm de apertura de malla. La densidad baóo a 50 individuos por piso **(Figura 40)**. Se realizaron monitoreos los días 3 de noviembre (63 días de cultivo), 10 de enero (día 131) y el 18 de febrero (día 170) **(Figura 41)**. El día 170 se realizó la cosecha de 13 linternas para la venta de individuos en vivo o desconchados durante un evento en el pueblo de Chungungo**.** Para ello, los socios de la OPA se organizaron instalando un stand en donde se mostró al público general material fotográfico del cultivo y un acuario con individuos vivos. En total se vendieron aproximadamente 5000 individuos con una ganancia de aproximadamente $650000. Este ingreso fue distribuido a los socios de la organización en partes iguales **(Figuras 42** y **43).**

Figura 40. Desdoble de cultivo de ostión del norte. A), B) y C) Socios de la OPA "Los Castillo" cambiando ostiones a linternas de cultivo con 21,1 mm de apertura de malla.

Figura 41. Monitoreo del cultivo (10 de enero 2023) de ostión del norte en AMERB Chungungo B. A) medición de valva de individuo de ostión del norte y B) Ostión del norte de tamaño comercial.

Figura 42. Stand de ventas de ostiones vivos y desconchados en la localidad de Chungungo durante la venta el día 18 de febrero de 2023. A) Vista general del stand, B) acuario con ostiones vivos de muestra, C) fotografías del proceso de cultivo expuesto para público en general y D) Ostiones vivos para la venta.

Figura 43. Actividad de venta de ostión del norte procedente del cultivo. A) Socios de la organización comunitaria Los Castillo, organizados para la cosecha y venta. B) y C) Compradores de ostiones vivos y por kilo desconchado.

El crecimiento mostró un incremento sostenido al día 170 de cultivo llegando a los 63.1 ± 5.93 mm, considerando que el tamaño promedio de siembra de los individuos fue de 22.74 ± 3.09 mm. Entre los días 131 y 170 de cultivo hubo un incremento considerable en el peso por piso de 1000 ± 282 g a 2700 ± 707 g. Este aumento de peso se registró durante los meses de verano y es producto de la mayor disponibilidad de alimento y la presencia de cirrípedos en concha. El crecimiento diario del cultivo fue 0.28 mm d^{-1} y 0.38 g d^{-1} por individuo. La mayor mortalidad registrada fue durante los primeros 63 días de cultivo con un promedio de 22.3 ± 0.57%. En total la mortalidad acumulada a los 170 días de cultivo fue de 26.6 ± 5,76%. **(Figura 44, Tabla 19)**.

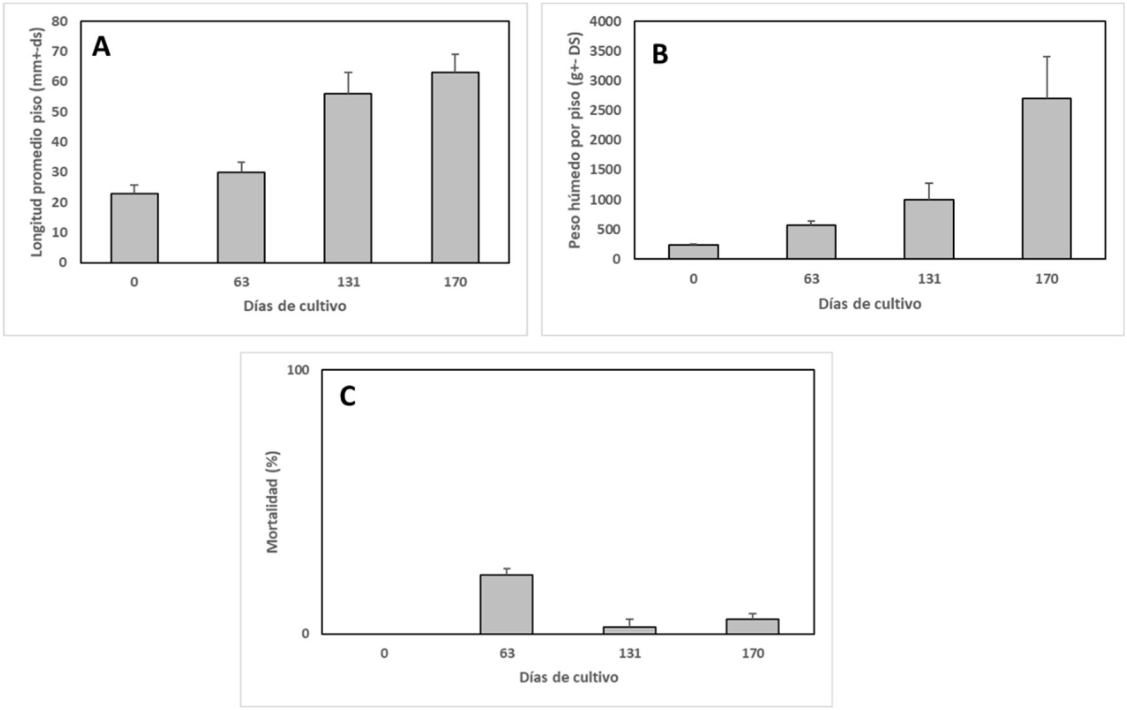

Figura 44. Resultados productivos del cultivo de ostión del norte en sitio AMERB Chungungo B**.** A) Longitud promedio (mm ± DS), B) Peso húmedo promedio (g ± DS) por piso, C) Mortalidad por monitoreo (% ± DS).

Tabla 19.
Longitud de la concha y peso húmedo promedio por piso de ostión del norte *A. purpuratus*, sitio AMERB Chungungo B. DS = Desviación estándar.

Fecha	Días de cultivo	Longitud concha (mm)		Peso Húmedo piso (g)	
		Promedio	DS	Promedio	DS
1 de septiembre 2022	0	22,74	3,10	241,25	14,80
3 de noviembre 2022	63	29,79	3,42	568,75	66,88
10 de enero 2023	131	55,91	7,09	1000	282,84
18 de febrero 2023	170	63,19	5,93	2700	707,11

Huiro flotador (*M. pyrifera*)

El cultivo de huiro fue monitoreado durante el año 2022 hasta el día 3 de noviembre en donde se registró una longitud promedio de 181.44 ± 141.3 cm. Esto corresponde a una tasa de crecimiento de 0.23 cm d^{-1}. También se registró un aumento promedio de estipes de 2.8 ± 1.8 a 11.33 ± 9.9. (**Figura 45** y **46, Tabla 20**).

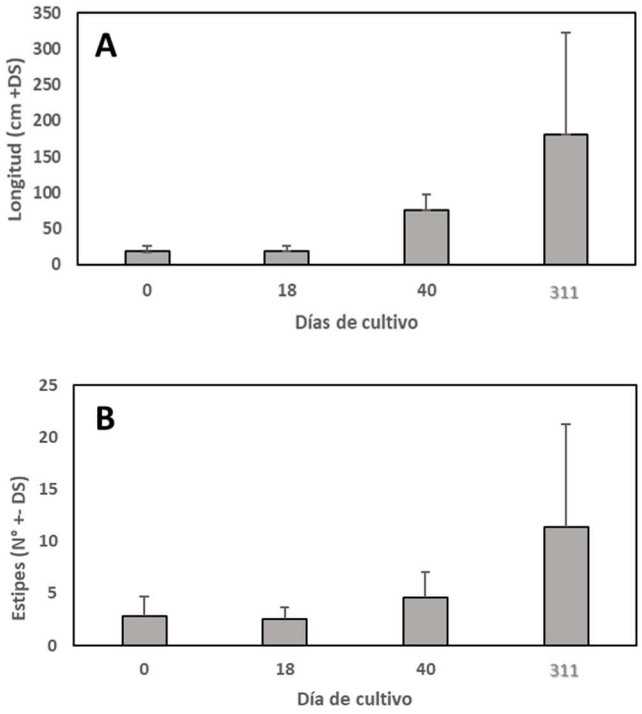

Figura 45. Crecimiento en cultivo de huiro *M. pyrifera* en sitio AMERB Chungungo B. A) Longitud promedio plántulas (cm ± DS), B) Número de estipes (N°± DS).

Tabla 20.
Longitud de fronda y número de estipes promedio de cultivo de *M. pyrifera*, sitio AMERB Chungungo B. DS = Desviación estándar.

Fecha	Dias de cultivo	Longitud (cm)		Número de estipes	
		Promedio	DS	Promedio	DS
27 de diciembre 2021	0	19,02	7,20	2,85	1,82
13 de enero 2022	18	19,33	6,26	2,55	1,14
22 de febrero 2022	40	76,19	20,96	4,65	2,37
3 de noviembre 2022	311	181,44	141,31	11,33	9,91

Figura 46. Cultivo de huiro *M. pyrifera* en sitio AMERB Chungungo B. A) Siembra 27 de diciembre del 2021, longitud inicial plántulas. B) y C) Monitoreo del 13 de enero, D) Frondas de plántulas noviembre 2022.

5.4.2.2. Sitio Quinchao

Chicoria (*C. chamissoi*)

El cultivo se mantuvo por 160 días. Mensualmente, dependiendo de la condición climática, se cuantificó el peso húmedo del alga y de los epibiontes de las muestras desde las unidades de plansa (i.e., segmentos de 5 metros). En la **Tabla 21**, se presentan resultados de biomasa húmeda en 5 metros (alta y baja densidad) junto con los resultados de los controles, y en la **Tabla 22**, el peso húmedo de los epibiontes (alta y baja densidad) junto con los epibiontes de los respectivos controles. La mayor acumulación de biomasa se obtuvo luego de 58 días de cultivo, durante el mes de septiembre, alcanzando sobre los 0.33 Kg para el cultivo con alta densidad y sobre los 0.41 Kg para baja densidad. Para los controles, la mayor acumulación de biomasa se registró durante el mes de septiembre para alta densidad (0.40 kg) y durante octubre, para baja densidad (0.51 kg) (**Figura 47A**). El aumento de los epifitos se observó desde el día 58, alcanzando un máximo en el mes de diciembre (día 160) en todos los tratamientos, coincidiendo con el final del ciclo de cultivo (**Figura 47 B**). Los valores de SGR para ambas densidades, muestran que luego del segundo monitoreo comienza a disminuir el crecimiento diario para todos los tratamientos. Se realizó la poda durante septiembre 2022, en la cual se obtuvo un peso total de 1.8 kg para este recurso, obtenido desde las 20 líneas de cultivo. Al comparar la biomasa máxima obtenida, en el cuarto monitoreo, como muestras independientes, no se observaron diferencias significativas entre densidades ($F=1.129$; g.l.=3; $p=0.358$).

Tabla 21.

Peso húmedo promedio *C. chamissoi* en unidades de plansa (N= 10 segmentos de 5 metros), alta y baja densidad y controles (N=5 segmentos de 5 metros), en sitio Quinchao. AA = Peso húmedo alta densidad, AB = Peso húmedo baja densidad, CA = Peso húmedo control alta densidad, CB = Peso húmedo control baja densidad, DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

Chicoria									
Peso húmedo alga									
	Fecha	AA (kg/5m)	DE	EE	SGR	AB (kg/5m)	DE	EE	SGR
Siembra	13-07-2022	0.50	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	19-08-2022	0.22	0.06	0.02	-2.18	0.26	0.05	0.02	0.05
2°Monitoreo	09-09-2022	0.33	0.10	0.03	1.88	0.41	0.08	0.03	2.24
3°Monitoreo	14-10-2022	0.31	0.09	0.03	-0.19	0.39	0.07	0.02	-0.16
4°Monitoreo	08-11-2022	0.27	0.08	0.03	-0.49	0.28	0.10	0.03	-1.30
5°Monitoreo	20-12-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.01	-4.78
Peso húmedo Controles									
	Fecha	CA (kg/5m)	DE	EE	SGR	CB (kg/5m)	DE	EE	SGR
Siembra	13-07-2022	0.50	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	19-08-2022	0.29	0.02	0.01	-1.46	0.26	0.10	0.04	0.15
2°Monitoreo	09-09-2022	0.40	0.05	0.02	1.54	0.41	0.14	0.06	2.14
3°Monitoreo	14-10-2022	0.36	0.07	0.03	-0.32	0.51	0.12	0.06	0.58
4°Monitoreo	08-11-2022	0.25	0.07	0.03	-1.52	0.35	0.11	0.06	-1.44
5°Monitoreo	20-12-2022	0.02	0.00	0.00	-5.98	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 22.

Peso húmedo promedio epibiontes (N= 10 segmentos de 5 metros), alta y baja densidad y controles (N=5 segmentos de 5 metros), en sitio Quinchao. EA = Peso húmedo alta densidad, EB = Peso húmedo baja densidad, ECA = Peso húmedo control alta densidad, ECB = Peso húmedo control baja densidad, DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

Peso húmedo epibiontes							
	Fecha	EA (kg/5m)	DE	EE	EB (kg/5m)	DE	EE
Siembra	13-07-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	19-08-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2°Monitoreo	09-09-2022	0.20	0.19	0.06	0.23	0.19	0.06
3°Monitoreo	14-10-2022	0.08	0.10	0.03	0.26	0.12	0.04
4°Monitoreo	08-11-2022	0.21	0.10	0.04	0.24	0.14	0.05
5°Monitoreo	20-12-2022	0.30	0.24	0.09	0.32	0.19	0.07
Peso húmedo epibiontes control							
	Fecha	ECA (kg/5m)	DE	EE	ECB (kg/5m)	DE	EE
Siembra	13-07-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	19-08-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2°Monitoreo	09-09-2022	0.32	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00
3°Monitoreo	14-10-2022	0.06	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00
4°Monitoreo	08-11-2022	0.19	0.05	0.02	0.20	0.08	0.04
5°Monitoreo	20-12-2022	0.40	0.10	0.05	0.37	0.08	0.04

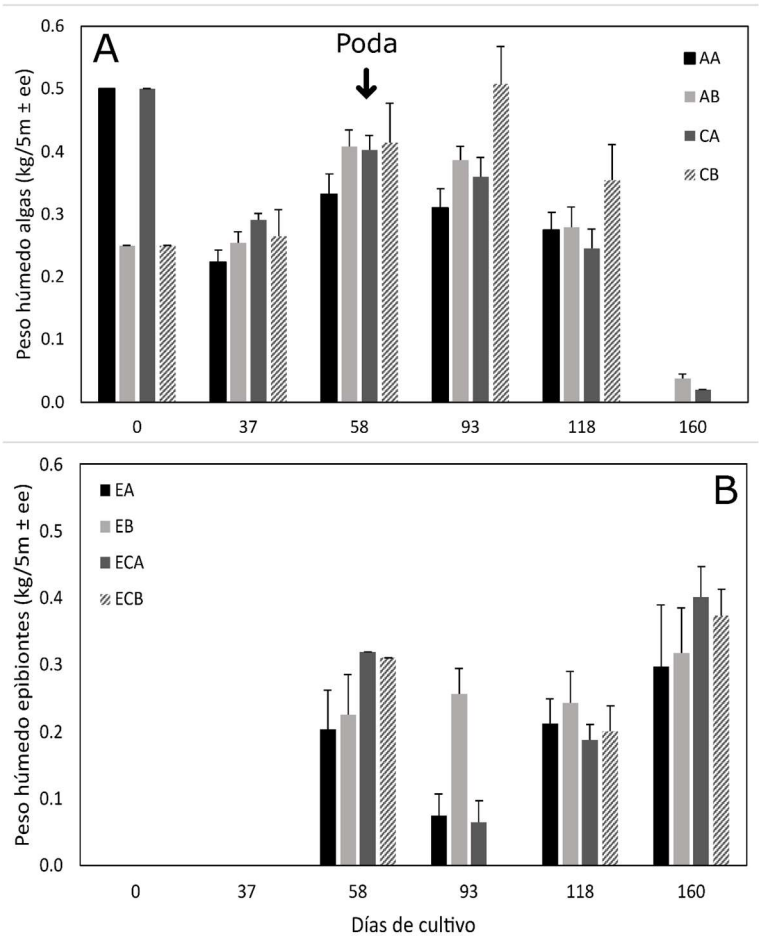

Figura 47. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg / 5m ± EE) de cultivo de chicoria (*C. chamissoi*) en unidades de plansa (N= 10 segmentos de 5 metros en alta y baja densidad) y controles (N=5 segmentos de 5 metros en alta y baja densidad), en el sitio de cultivo Quinchao. A) Algas en alta y baja densidad y respectivos controles (AA = Peso húmedo alga alta densidad, AB = Peso húmedo alga baja densidad, CA = Peso húmedo control alta densidad, CB = Peso húmedo control baja densidad). B) Epibiontes en alta y baja densidad y respectivos controles (EA = Peso húmedo epibiontes alta densidad, EB = Peso húmedo epibiontes baja densidad, ECA = Peso húmedo epibiontes control alta densidad, ECB = Peso húmedo epibiontes control baja densidad).

Pelillo (*A. chilensis*)

El cultivo se mantuvo por 195 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 5 metros). En la **Tabla 23** se presentan resultados de biomasa húmeda en 5 metros (alta y baja densidad) junto con los resultados de los controles en 5 metros (alta y baja densidad), y

en la **Tabla 24**, el peso húmedo de los epibiontes (alta y baja densidad) junto con los epibiontes de los controles (alta y baja densidad), respectivamente.

Tabla 23.

Peso húmedo promedio de *A. chilensis* en unidades de plansa (N= 10 segmentos de 5 metros), alta y baja densidad y controles (N=5 segmentos de 5 metros), en sitio Quinchao. AA = Peso húmedo alta densidad, AB = Peso húmedo baja densidad, CA = Peso húmedo control alta densidad, CB = Peso húmedo control baja densidad, DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

Pelillo									
Peso húmedo alga									
	Fecha	AA (kg/5m)	DE	EE	SGR	AB (kg/5m)	DE	EE	SGR
Siembra	09-06-2020	1.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	13-07-2022	0.78	0.15	0.05	-0.71	0.56	0.12	0.04	0.33
2°Monitoreo	19-08-2022	0.81	0.30	0.10	0.11	0.58	0.12	0.04	0.10
3°Monitoreo	09-09-2022	0.85	0.31	0.10	0.23	0.56	0.19	0.06	-0.18
4°Monitoreo	14-10-2022	0.71	0.35	0.11	-0.52	0.59	0.24	0.08	0.14
5°Monitoreo	08-11-2022	0.82	0.82	0.26	0.59	0.69	0.28	0.09	0.62
6°Monitoreo	20-12-2022	0.54	0.59	0.19	-0.98	0.38	0.28	0.09	-1.40
Peso húmedo Controles									
	Fecha	CA (kg/5m)	DE	EE	SGR	CB (kg/5m)	DE	EE	SGR
Siembra	09-06-2020	1.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	13-07-2022	0.88	0.11	0.05	-0.36	0.47	0.05	0.02	-0.15
2°Monitoreo	19-08-2022	0.81	0.20	0.09	-0.24	0.33	0.11	0.05	-0.95
3°Monitoreo	09-09-2022	0.95	0.31	0.14	0.77	0.42	0.19	0.09	1.08
4°Monitoreo	14-10-2022	1.11	0.52	0.23	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00
5°Monitoreo	08-11-2022	0.48	0.24	0.11	-3.32	0.00	0.00	0.00	0.00
6°Monitoreo	20-12-2022	0.37	0.33	0.23	-0.67	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 24.
Peso húmedo promedio epibiontes (N= 10 segmentos de 5 metros), alta y baja densidad y controles (N=5 segmentos de 5 metros), en sitio Quinchao. EA = Peso húmedo alta densidad, EB = Peso húmedo baja densidad, ECA = Peso húmedo control alta densidad, ECB = Peso húmedo control baja densidad, DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

Peso húmedo epibiontes							
	Fecha	EA (kg/5m)	DE	EE	EB (kg/5m)	DE	EE
Siembra	09-06-2020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	13-07-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2°Monitoreo	19-08-2022	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
3°Monitoreo	09-09-2022	0.01	0.00	0.00	0.07	0.09	0.03
4°Monitoreo	14-10-2022	0.08	0.03	0.01	0.17	0.13	0.04
5°Monitoreo	08-11-2022	0.14	0.11	0.04	0.18	0.15	0.05
6°Monitoreo	20-12-2022	0.12	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00
Peso húmedo epibiontes control							
	Fecha	ECA (kg/5m)	DE	EE	ECB (kg/5m)	DE	EE
Siembra	09-06-2020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	13-07-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2°Monitoreo	19-08-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3°Monitoreo	09-09-2022	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
4°Monitoreo	14-10-2022	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5°Monitoreo	08-11-2022	0.12	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00
6°Monitoreo	20-12-2022	0.82	0.10	0.06	0.00	0.00	0.00

La mayor acumulación de biomasa se obtuvo luego de 93 días de cultivo y luego de 153 días de cultivo, alcanzando sobre los 0.85 Kg para el cultivo con alta densidad y sobre los 0.69 Kg para baja densidad, respectivamente. Para los controles de alta y baja densidad, la mayor acumulación de biomasa se registró durante el mes de octubre 2022 (día 128) y durante el mes de julio 2022 (día 35) (1.11 y 0.47 Kg, respectivamente). Luego del tercer monitoreo las algas de baja densidad sufrieron pérdidas significativas en el sistema de cultivo (**Figura 48A**). El aumento de los epifitos se observó desde el día 72 en las algas de alta y baja densidad y desde el día 93 en los controles de alta y baja densidad, alcanzando sus máximos al final del ciclo de cultivo (**Figura 48B**). Los valores de SGR para ambas densidades, muestran que luego del segundo y tercer monitoreo comienza a disminuir el crecimiento diario. Se realizó una poda durante el mes de septiembre 2022 (día 72), en la cual se obtuvo un peso total de 5.1 kg para este recurso, obtenido desde las 20 líneas de cultivo. Al comparar la biomasa máxima obtenida, en el quinto monitoreo como muestras independientes, no se observaron diferencias significativas entre ambas densidades (F=1.193; g.l.=2; p=0.566).

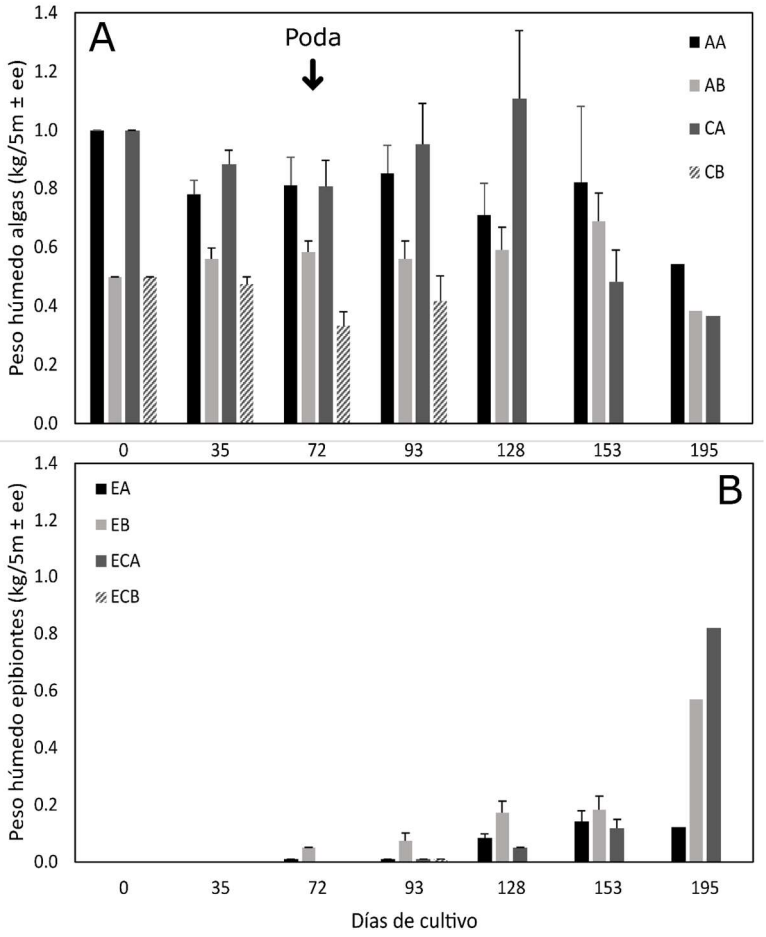

Figura 48. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg / 5m ± EE) de cultivo de pelillo (*A. chilensis*) en unidades de plansa (N= 10 segmentos de 5 metros en alta y baja densidad) y controles (N=5 segmentos de 5 metros en alta y baja densidad), en el sitio de cultivo Quinchao. A) Algas en alta y baja densidad y respectivos controles (AA = Peso húmedo alga alta densidad, AB = Peso húmedo alga baja densidad, CA = Peso húmedo control alta densidad, CB = Peso húmedo control baja densidad). B) Epibiontes en alta y baja densidad y respectivos controles (EA = Peso húmedo epibiontes alta densidad, EB = Peso húmedo epibiontes baja densidad, ECA = Peso húmedo epibiontes control alta densidad, ECB = Peso húmedo epibiontes control baja densidad).

5.4.2.3. Sitio Pudeto

Pelillo (*A. chilensis*)

El cultivo se mantuvo por 196 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 2,5 metros) en las camillas de cultivo. En la **Tabla 25**, se presentan

resultados de biomasa húmeda en 2,5 metros, para tratamiento solo algas, co-cultivo con ostras, y co-cultivo con choro zapato. No se observó la aparición de organismos epibiontes durante todo el ciclo de cultivo, exceptuando la aparición de diatomeas no cuantificables.

Tabla 25.

Peso húmedo promedio de *A. chilensis* en 2,5 metros lineales (N= 4 segmentos), en camillas solo con algas, co-cultivo con ostras y co-cultivo con choro zapato y peso húmedo promedio de epibiontes en 2,5 metros lineales para cada uno de los tratamientos, sitio Pudeto. PC = solo algas (control), P+O = co-cultivo con ostras, P+Ch = co-cultivo con choro zapato, EPC = Epibiontes solo algas control, EP+O = Epibiontes co-cultivo con ostras, EP+Ch = Epibiontes co-cultivo con choro zapato, DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

		Solo Algas				Algas + Ostras				Algas + Choros			
	Fecha	PC (kg / 5m)	DS	EE	SGR	P+O (kg / 5m)	DS	EE	SGR	P+Ch (kg / 5m)	DS	EE	SGR
Siembra	10-06-2022	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	15-07-2022	0.91	0.07	0.03	1.65	0.81	0.04	0.02	1.33	0.82	0.07	0.03	1.37
2°Monitoreo	10-08-2022	1.22	0.18	0.09	1.15	1.22	0.12	0.06	1.59	1.10	0.08	0.04	1.12
3°Monitoreo	08-09-2022	2.11	0.66	0.33	1.89	2.19	0.32	0.16	2.01	2.19	0.23	0.12	2.39
4°Monitoreo	17-10-2022	4.63	1.29	0.65	2.02	2.25	0.54	0.27	0.07	2.61	1.10	0.55	0.45
5°Monitoreo	09-11-2022	5.84	3.14	1.57	1.00	2.33	1.21	0.61	0.16	2.66	1.55	0.78	0.08
6°Monitoreo	22-12-2022	11.44	1.35	0.96	1.57	3.79	2.72	1.36	1.13	3.44	2.74	1.37	0.60

La acumulación mayor de biomasa en el tratamiento control (solo algas), se registró durante diciembre 2022, alcanzando 11.44 Kg. En los tratamientos de co-cultivo con ostras y choro zapato, la acumulación de mayor biomasa ocurrió durante diciembre 2022, alcanzando 3.79 Kg y 3.44 Kg, respectivamente (**Figura 49**). Los valores de SGR para el tratamiento control comienzan a disminuir desde el cuarto monitoreo, para luego volver a aumentar en el quinto monitoreo. Ambos tratamientos de co-cultivo, comienzan a disminuir después del tercer monitoreo, los que luego vuelven a aumentar en el último monitoreo (diciembre 2022). Aunque gráficamente el tratamiento solo alga muestra un promedio mayor a los otros tratamientos, al comparar la varianza de la biomasa máxima luego de los 196 días de cultivo, no se observaron diferencias significativas entre las densidades ($F=3.152$; g.l.=2; $p=0.130$). Estos resultados son discretos, debido al desbalance presentado en las muestras obtenidas, por perdida de algunas líneas de cultivo.

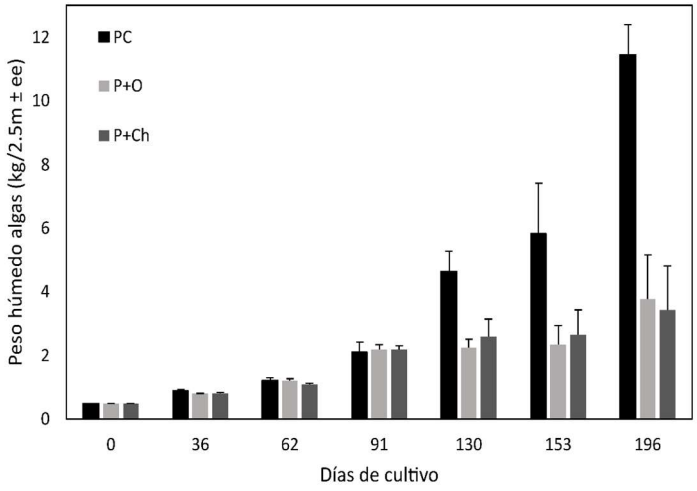

Figura 49. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg / 2,5m ± EE) en unidades de línea (N= 4 tratamientos y controles, en segmentos de 2,5 metros) de cultivo de pelillo (*A. chilensis*), sitio Pudeto. PC = solo algas control, P+O = co-cultivo con ostras, P+Ch = co-cultivo con choro zapato).

Ostras (*C. gigas)*

El cultivo se monitoreó por 277 días, hasta marzo 2023, para su cosecha, la cual alcanzo un total de 78.02 kg con una talla y biomasa promedio individual de 8.1± 1.1 cm y 49.3 ± 15.8 g respectivamente (N=10 individuos) (**Figura 50**). Los organismos cultivados en el periodo 2022-2023, fueron comercializados por los cultivadores de forma local. Mensualmente, se cuantificó el peso húmedo de las mallas de ostras. En la **Tabla 26**, se presentan resultados de biomasa húmeda para los tratamientos solo ostras y co-cultivo algas y ostras (N= 6 mallas para ambos tratamientos). La densidad inicial de siembra fue de 100 individuos por malla de cultivo (12 mallas por estructura de cultivo).

Figura 50. Cultivo en Pudeto. A) y B) Mallas de cultivo cosechadas luego del ciclo de cultivo. C) y D) Retiro de las mallas de cultivo para ostra y choro zapato, realizado por los pescadores del sindicato.

Tabla 26.
Peso húmedo promedio de las mallas (N=6) de ostra *C. gigas*, sitio Pudeto. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

		Solo Ostra				Ostras + Pelillo			
	Fecha	Peso húmedo (kg)	DS	EE	SGR	Peso húmedo (kg)	DS	EE	SGR
Siembra	10-06-2022	0.26	0.00	0.00	0	0.26	0.00	0.00	0
1° Monitoreo	15-07-2022	0.28	0.02	0.01	0.19	0.25	0.03	0.01	-0.11
2° Monitoreo	10-08-2022	0.49	0.07	0.03	2.12	0.36	0.02	0.01	1.32
3° Monitoreo	08-09-2022	0.73	0.16	0.07	1.40	0.55	0.07	0.03	1.50
4° Monitoreo	17-10-2022	0.57	0.05	0.02	-0.61	0.54	0.06	0.03	-0.02
5° Monitoreo	09-11-2022	1.13	0.17	0.07	2.94	0.99	0.20	0.08	2.60
6° Monitoreo	22-12-2022	2.16	0.21	0.08	1.51	1.92	0.16	0.07	1.55
7° Monitoreo	20-01-2023	2.64	0.24	0.10	0.69	2.69	0.21	0.09	1.16
8° Monitoreo	13-03-2023	3.72	0.42	0.17	0.66	3.76	0.41	0.17	0.64

Se observa un crecimiento sostenido para ambos tratamientos, siendo mayor durante los primeros 6 monitoreos en el tratamiento solo ostra, para luego en los últimos monitoreos aumentar el tratamiento ostra + pelillo (**Figura 51**). Desde el día 196, se observa un aumento mayor en el crecimiento, que en los monitoreos anteriores. Luego de 277 días de cultivo, el tratamiento ostra + pelillo, obtuvo un valor mayor (3.76 kg) en comparación al tratamiento solo ostra (3.72 kg). No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos durante el último monitoreo realizado (t = -0,146; p= 0,887). Los valores de SGR muestran que las tasas de crecimiento presentan aumentos y disminuciones hasta el cuarto monitoreo, para luego aumentar durante el mes de noviembre 2022. No se observó la aparición de organismos epibiontes en las mallas de cultivo, exceptuando la aparición de diatomeas no cuantificables durante los meses de noviembre y diciembre 2022.

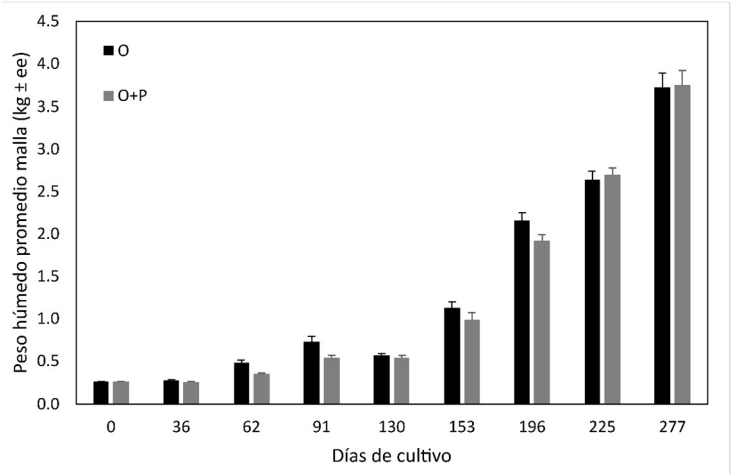

Figura 51. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg ± EE) para ostra *C. gigas* cultivadas en mallas (N=6), sitio Pudeto. O= solo ostras, O+P= co-cultivo con pelillo.

Índice de condición e índice de rendimiento productivo.

En la **Tabla 27**, se presentan resultados de rendimiento productivo de *C. gigas* para los tratamientos solo ostras y ostra + alga. En la **Figura 52** 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 éstos se encuentran en una condición de alta o baja calidad.

Tabla 27.
Rendimiento productivo para ostra *C. gigas* (N=10) cultivadas en mallas, sitio Pudeto. IC = índice de condición, IRP = índice de rendimiento productivo; EE = error estándar.

		Solo Ostra				Ostra + Alga			
	Fecha	IC%	EE	IRP%	EE	IC%	EE	IRP%	EE
1° Monitoreo	15-07-2022	42.05	10.11	29.60	9.24	54.31	19.89	35.19	11.06
2° Monitoreo	10-08-2022	42.61	15.66	29.88	9.91	35.16	11.95	24.94	7.57
3° Monitoreo	08-09-2022	60.32	8.97	37.63	7.02	46.83	10.34	31.90	7.51
4° Monitoreo	17-10-2022	45.95	14.11	31.48	9.51	38.82	14.54	27.96	9.29
5° Monitoreo	09-11-2022	36.54	21.43	26.76	13.02	43.46	11.66	30.29	8.25
6° Monitoreo	22-12-2022	52.77	10.77	34.54	7.55	56.71	10.09	36.19	7.36
7° Monitoreo	20-01-2023	60.78	10.35	37.80	8.39	66.08	24.10	39.79	12.00

Se observaron valores mayores de IC para el tratamiento solo ostra hasta el día 130 de cultivo. desde el día 153 de cultivo, el tratamiento ostra + alga obtuvo valores mayores, con una tendencia al aumento para ambos tratamientos. (**Figura 52A**). Para el IRP, la tendencia fue similar para ambos tratamientos, pero los valores del tratamiento solo ostra presentaron un aumento luego de los 91 días de cultivo (37.63%), para luego disminuir. Posterior a esto desde el día 153 de cultivo, los valores observados para el tratamiento ostra + alga fueron levemente mayores a los del tratamiento solo ostra (**Figura 52B**). Al comparar los pesos húmedos totales (N=10 individuos) para cada tratamiento, al día 225 de cultivo, no se observaron diferencias significativas (t=-0.972; p=0.344).

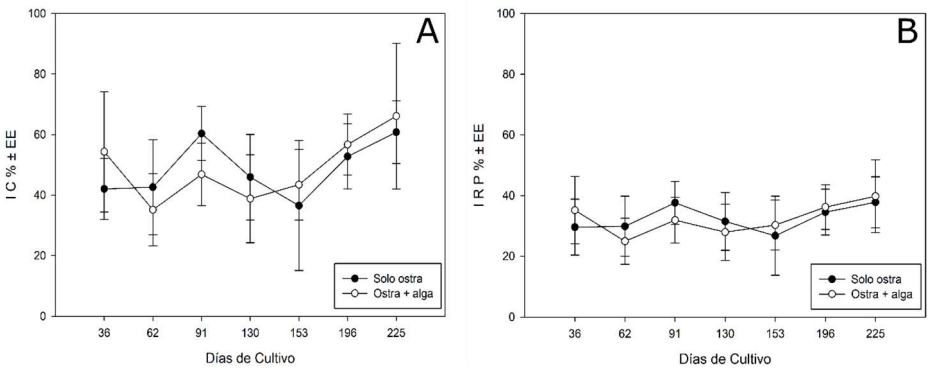

Figura 52. Rendimiento productivo promedio (% ± EE) para ostra *C. gigas* (N=10) cultivadas en mallas, sitio Pudeto. A) Índice de condición, B) Índice de rendimiento productivo.

Choro zapato (*C. chorus)*

El cultivo se monitoreo por 277 días, hasta marzo 2023, para su cosecha, la cual alcanzó un total de 49.01 kg, con una talla y biomasa individual de 6.1±0.4 cm y 21.2 ± 4.5 g respectivamente (N= 10 individuos). En la **Tabla 28**, se presentan resultados de biomasa húmeda para los tratamientos solo choro zapato y choro zapato + algas (N= 6 mallas para ambos tratamientos). La densidad inicial de siembra fue de 100 individuos por malla de cultivo (12 mallas por estructura de cultivo).

Tabla 28.
Peso húmedo promedio de las mallas (N=6) de choro zapato *C. chorus*, sitio Pudeto. DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

		Solo Choro zapato				Choro zapato + Algas			
	Fecha	Peso húmedo (kg)	DS	EE	SGR	Peso húmedo (kg)	DS	EE	SGR
Siembra	10-06-2022	0.48	0.00	0.00	0	0.48	0.00	0.00	0
1° Monitoreo	15-07-2022	0.57	0.04	0.01	0.44	0.66	0.11	0.05	0.87
2° Monitoreo	10-08-2022	0.82	0.04	0.02	1.43	0.84	0.15	0.06	0.93
3° Monitoreo	08-09-2022	1.21	0.27	0.11	1.35	1.01	0.16	0.07	0.62
4° Monitoreo	17-10-2022	1.00	0.22	0.09	-0.49	1.16	0.18	0.07	0.36
5° Monitoreo	09-11-2022	1.27	0.11	0.05	1.02	1.37	0.18	0.07	0.71
6° Monitoreo	22-12-2022	2.01	0.48	0.20	1.07	2.24	0.26	0.10	1.15
7° Monitoreo	20-01-2023	2.15	0.15	0.06	0.23	2.27	0.18	0.07	0.04
8° Monitoreo	13-03-2023	2.07	0.49	0.20	-0.08	2.27	0.24	0.10	0.00

Luego de los 277 días de cultivo, el tratamiento choro zapato + algas, obtuvo un valor mayor (2.27 kg) al tratamiento solo choro zapato (2.07 kg) (**Figura 53**). Los valores de SGR muestran que las mayores tasas de crecimiento se obtienen a los 196 días de cultivo para el tratamiento Choro zapato + algas (SGR= 1.15), y a los 62 días de cultivo para el tratamiento solo choro zapato (SGR= 1.43). No se observaron diferencias estadísticamente significativas al comparar los pesos finales obtenidos entre tratamientos (t= -1.218; p= 0.251). No se observó una presencia significativa de los epifitos en las mallas durante todo el periodo de cultivo, exceptuando la aparición de diatomeas en la superficie de las mallas, en los meses de noviembre y diciembre 2022.

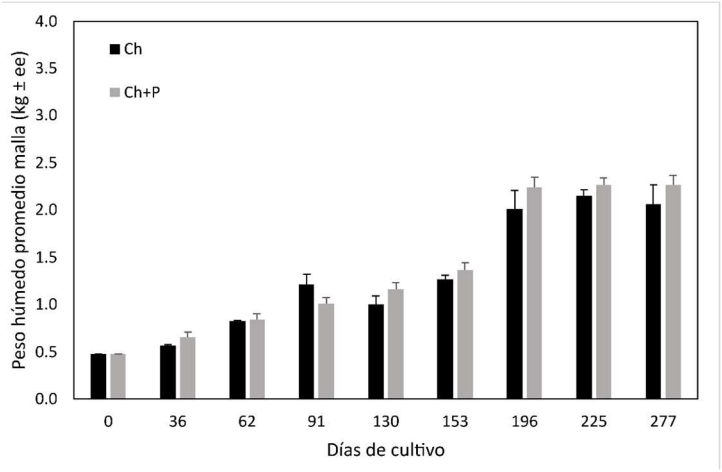

Figura 53. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg ± EE) para choro zapato *C. chorus* en mallas, sitio Pudeto. Ch= solo choro zapato, Ch+P= co-cultivo con pelillo.

Índice de condición e índice de rendimiento productivo.

En la **Tabla 29**, se presentan resultados de rendimiento productivo de *C. chorus* para los tratamientos solo choro zapato y choro zapato + algas. En la **Figura 54** se presentan los gráficos para el índice de condición (IC) y para el índice de rendimiento productivo (IRP) en ambos tratamientos.

Tabla 29.
Rendimiento productivo para *C. chorus* (N=10) cultivadas en mallas, 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	15-07-2022	49.78	16.63	33.24	9.63	60.97	15.81	37.88	10.64
2° Monitoreo	10-08-2022	79.20	22.83	44.20	11.69	70.12	18.87	41.22	12.27
3° Monitoreo	08-09-2022	88.79	29.05	47.03	14.02	78.67	23.72	44.03	12.64
4° Monitoreo	17-10-2022	58.38	15.91	36.86	9.53	44.87	21.65	30.97	17.47
5° Monitoreo	09-11-2022	69.21	22.36	40.90	11.67	70.48	27.22	41.34	13.46
6° Monitoreo	22-12-2022	89.58	21.67	47.25	12.23	81.02	26.41	44.76	12.95
7° Monitoreo	20-01-2023	78.39	25.15	43.94	12.33	104.85	28.57	51.18	13.62

Para el IC, ambos tratamientos alcanzaron un valor máximo luego de 196 y 225 días de cultivo respectivamente (solo choro zapato 89.58 % y choro zapato + algas 104.85 %) (**Figura 54A**). Para el IRP, la tendencia fue similar para ambos tratamientos, con algunos valores menores para el tratamiento choro zapato + algas, el que al último monitoreo fue mayor que el tratamiento solo choro zapato (Choro zapato + algas: 51.18 %; Solo Choro zapato: 43.94 % (**Figura 54B**).
Al comparar los pesos húmedos totales (N= 10 individuos) para cada tratamiento, al día 225 de cultivo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (t = -1.815; p=0.086).

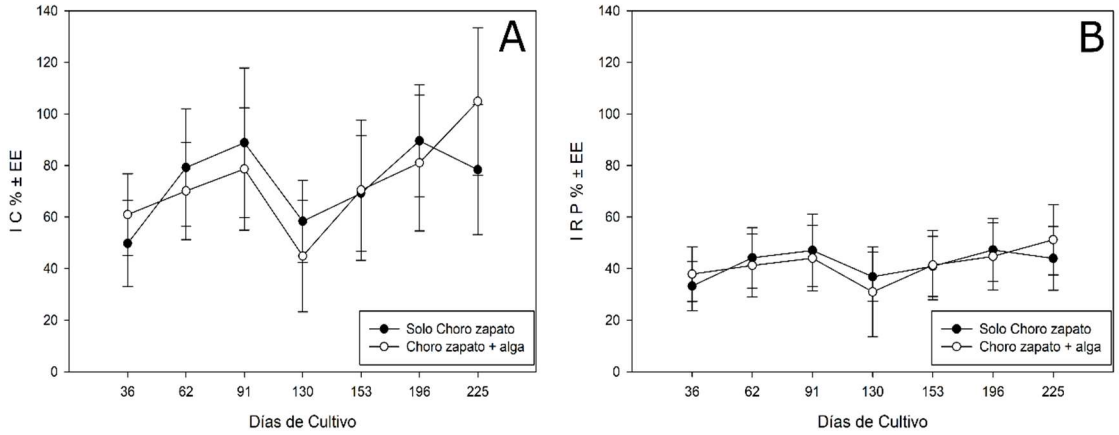

Figura 54. Rendimiento productivo promedio (% ± EE) para *C. chorus* (N=10) cultivados en mallas, sitio Pudeto. A) Índice de condición, B) Índice de rendimiento productivo.

5.4.2.4. Sitio Hueihue

Chicoria (*C. chamissoi*)

El cultivo se mantuvo por 160 días. Durante el mes de septiembre 2022, el sistema de cultivo sufrió un corte en la línea madre lo que genero problemas y enredos de las líneas de cultivo, las que para el caso de chicoria, se lograron revisar y arreglar para que puedan completar el ciclo completo hasta el mes de diciembre 2022. En los últimos dos controles (noviembre y diciembre 2022) los controles de alta y baja densidad, perdieron la totalidad de su biomasa debido a problemas de enredo con algas a la deriva y perdida por fricción mecánica de las líneas de cultivo. 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 5 metros). En la **Tabla 30**, se presentan resultados de biomasa húmeda (alta y baja densidad) y los controles, y en la **Tabla 31**, el peso húmedo de epibiontes (alta y baja densidad) junto con los epibiontes de los controles (alta y baja densidad), respectivamente.
La mayor acumulación de biomasa se obtuvo luego de 91 días de cultivo, alcanzando sobre los 1.02 Kg para alta densidad y sobre los 1.03 Kg para baja densidad. Para los controles, la mayor acumulación de biomasa se registró durante octubre 2022, alcanzando sobre 1.24 Kg para alta densidad y 1.13 Kg para baja densidad, las que luego presentaron una disminución de biomasa y posterior pérdida del recurso (**Figura 55A**). El aumento de los epifitos se observó desde el día 60, los que se mantuvieron hasta alcanzar un alza al final del ciclo de cultivo en las algas de alta y baja densidad (**Figura 55B**). Los valores de SGR muestran que luego de la siembra, para alta densidad, disminuye su crecimiento diario, para luego aumentar hasta el tercer monitoreo, donde nuevamente vuelve a disminuir. Para baja densidad se observó un incremento en el crecimiento diario hasta el tercer monitoreo, momento en el cual comienza a disminuir, para posteriormente observar valores negativos acercándose al fin del ciclo de cultivo. Para los controles de alta y baja densidad, se observó un incremento máximo durante el mes de septiembre, luego comienza a disminuir y posteriormente se desprende el material biológico por los motivos mencionados anteriormente.

Tabla 30.

Peso húmedo promedio *C. chamissoi* en unidades de plansa (N= 10 segmentos de 5 metros), alta y baja densidad y controles (N=5 segmentos de 5 metros), en sitio Hueihue. AA = Peso húmedo alga alta densidad, AB = Peso húmedo alga baja densidad, CA = Peso húmedo control alta densidad, CB = Peso húmedo control baja densidad, DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

Chicoria									
Peso húmedo alga									
	Fecha	AA (kg/5m)	DE	EE	SGR	AB (kg/5m)	DE	EE	SGR
Siembra	14-07-2022	0.50	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	09-08-2022	0.37	0.13	0.04	-1.15	0.32	0.14	0.05	0.89
2°Monitoreo	12-09-2022	0.62	0.14	0.05	0.85	0.55	0.19	0.07	0.93
3°Monitoreo	13-10-2022	1.02	0.42	0.16	0.55	1.03	0.38	0.16	0.69
4°Monitoreo	10-11-2022	0.98	0.44	0.18	-0.03	0.90	0.26	0.11	-0.12
5°Monitoreo	21-12-2022	0.29	0.16	0.08	-0.75	0.43	0.15	0.09	-0.46
Peso húmedo Controles									
	Fecha	CA (kg/5m)	DE	EE	SGR	CB (kg/5m)	DE	EE	SGR
Siembra	14-07-2022	0.50	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	09-08-2022	0.38	0.07	0.03	-1.10	0.23	0.04	0.02	-0.37
2°Monitoreo	12-09-2022	0.74	0.32	0.14	1.13	0.60	0.01	0.01	1.63
3°Monitoreo	13-10-2022	1.24	0.57	0.40	0.56	1.13	0.00	0.00	0.68
4°Monitoreo	10-11-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5°Monitoreo	21-12-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 31.

Peso húmedo promedio de los epibiontes (N= 10 segmentos de 5 metros), alta y baja densidad y controles (N=5 segmentos de 5 metros), en sitio Hueihue. EA = Peso húmedo alta densidad, EB = Peso húmedo baja densidad, ECA = Peso húmedo control alta densidad, ECB = Peso húmedo control baja densidad, DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

Peso húmedo epibiontes							
	Fecha	EA (kg/5m)	DE	EE	EB (kg/5m)	DE	EE
Siembra	14-07-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	09-08-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2°Monitoreo	12-09-2022	0.27	0.14	0.05	0.31	0.14	0.05
3°Monitoreo	13-10-2022	0.30	0.14	0.05	0.43	0.17	0.07
4°Monitoreo	10-11-2022	0.34	0.09	0.04	0.49	0.32	0.13
5°Monitoreo	21-12-2022	1.57	0.47	0.23	1.58	0.26	0.15
Peso húmedo epibiontes control							
	Fecha	ECA (kg/5m)	DE	EE	ECB (kg/5m)	DE	EE
Siembra	14-07-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	09-08-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2°Monitoreo	12-09-2022	0.29	0.09	0.04	0.37	0.12	0.06
3°Monitoreo	13-10-2022	0.18	0.05	0.03	0.45	0.00	0.00
4°Monitoreo	10-11-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5°Monitoreo	21-12-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Para el caso de chicoria no se realizó la poda correspondiente al segundo mes de cultivo, debido a los problemas de disminución en la biomasa presente hasta ese monitoreo, junto con el problema asociado al corte de la línea madre.

Al comparar la biomasa final obtenida al tercer monitoreo, momento en el cual se encontraban todos los tratamientos cultivados sin pérdida, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (F=0.162; g.l.=3; p=0.920).

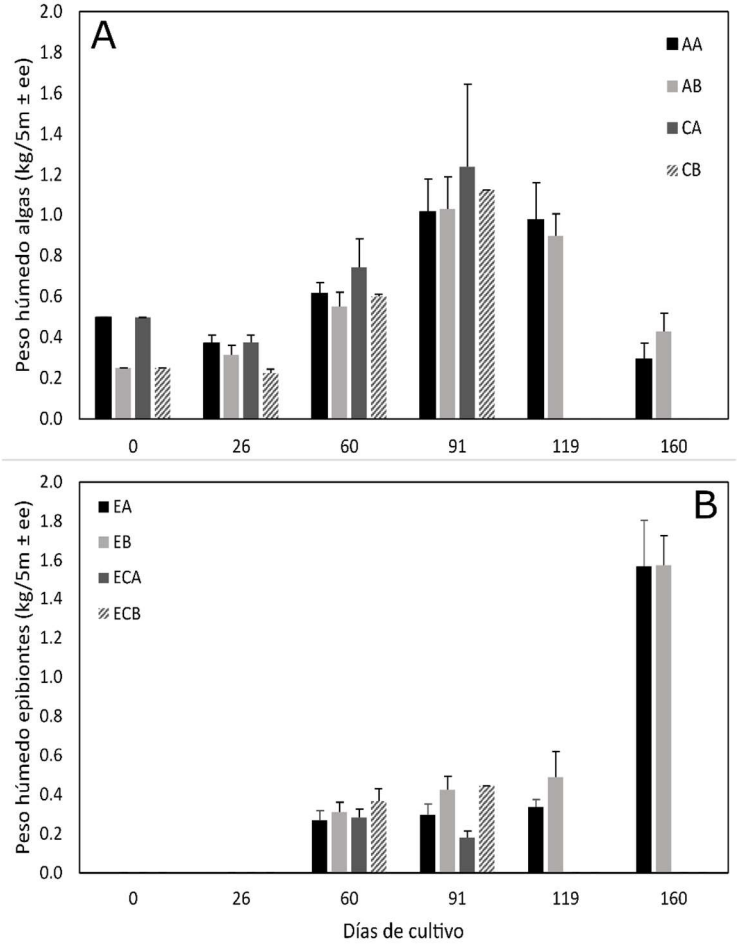

Figura 55. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg / 5m ± EE) de cultivo de chicoria (*C. chamissoi*) en unidades de plansa (N= 10 segmentos de 5 metros en alta y baja densidad) y controles (N=5 segmentos de 5 metros en alta y baja densidad), en el sitio de cultivo Hueihue. A) Algas en alta y baja densidad y respectivos controles. (AA = Peso húmedo alga alta densidad, AB = Peso húmedo alga baja densidad, CA = Peso húmedo control alta densidad, CB = Peso húmedo control baja densidad). B) Epibiontes en alta y baja densidad y respectivos controles. (EA = Peso húmedo epibiontes alta densidad, EB = Peso húmedo epibiontes baja densidad, ECA = Peso húmedo epibiontes control alta densidad, ECB = Peso húmedo epibiontes control baja densidad).

Pelillo (*A. chilensis*)

El cultivo se mantuvo por 198 días. Durante el mes de septiembre 2022 (día 60), el sistema de cultivo sufrió un corte en la línea madre lo que generó problemas y enredos de las líneas de cultivo, las que, para el caso de pelillo, tuvieron una pérdida total, lo que no permitió salvar el cultivo de este recurso y tomar la decisión agregar nuevas líneas con biomasa desde el siguiente monitoreo (octubre 2022). Posterior a la incorporación de las nuevas líneas de cultivo se procedió a realizar la poda sugerida para el cultivo de pelillo. La segunda poda sugerida en el periodo de cultivo no se realizó, debido al poco crecimiento observado. 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 5 metros). Durante el último monitoreo en diciembre del 2022, se observó una gran pérdida de líneas de cultivo y enredos en el sistema de cultivo. En la **Tabla 32**, se presentan resultados de biomasa húmeda en 5 metros (alta y baja densidad) junto con los resultados de los controles en 5 metros (alta y baja densidad), y en la **Tabla 33**, el peso húmedo de los epibiontes (alta y baja densidad) junto con los epibiontes de los controles (alta y baja densidad), respectivamente.

Tabla 32.

Peso húmedo promedio del alga *A. chilensis* en unidades de plansa (N= 10 segmentos de 5 metros), alta y baja densidad y controles (N=5 segmentos de 5 metros), en sitio Hueihue. AA = Peso húmedo alga alta densidad, AB = Peso húmedo alga baja densidad, CA = Peso húmedo control alta densidad, CB = Peso húmedo control baja densidad, DS = Desviación estándar, EE = Error estándar, SGR = Tasa de crecimiento estándar relativa.

Pelillo									
Peso húmedo alga									
	Fecha	AA (kg/5m)	DE	EE	SGR	AB (kg/5m)	DE	EE	SGR
Siembra	07-06-2022	1.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	14-07-2022	0.51	0.22	0.07	-1.75	0.50	0.31	0.10	0.00
2°Monitoreo	09-08-2022	0.56	0.34	0.12	0.14	0.58	0.34	0.11	0.23
3°Monitoreo	12-09-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4°Monitoreo	13-10-2022	0.59	0.16	0.05	0.00	0.55	0.11	0.04	0.00
5°Monitoreo	10-11-2022	1.23	0.36	0.15	0.47	1.30	0.39	0.12	0.55
6°Monitoreo	21-12-2022	4.71	1.54	0.69	0.68	3.53	2.69	1.20	0.50
Peso húmedo Controles									
	Fecha	CA (kg/5m)	DE	EE	SGR	CB (kg/5m)	DE	EE	SGR
Siembra	07-06-2022	1.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	14-07-2022	0.79	0.14	0.06	-0.62	0.55	0.21	0.09	0.24
2°Monitoreo	09-08-2022	0.71	0.21	0.09	-0.17	0.63	0.23	0.12	0.22
3°Monitoreo	12-09-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4°Monitoreo	13-10-2022	1.52	1.09	0.49	0.00	1.87	1.16	0.52	0.00
5°Monitoreo	10-11-2022	3.27	1.84	0.92	0.49	2.44	1.56	0.78	0.17
6°Monitoreo	21-12-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 33.
Peso húmedo promedio de epibiontes (N= 10 segmentos de 5 metros), alta y baja densidad y controles (N=5 segmentos de 5 metros), en sitio Hueihue. EA = Peso húmedo alta densidad, EB = Peso húmedo baja densidad, ECA = Peso húmedo control alta densidad, ECB = Peso húmedo control baja densidad, DS = Desviación estándar, EE = Error estándar.

Peso húmedo epibiontes							
	Fecha	EA (kg/5m)	DE	EE	EB (kg/5m)	DE	EE
Siembra	07-06-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	14-07-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2°Monitoreo	09-08-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3°Monitoreo	12-09-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4°Monitoreo	13-10-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5°Monitoreo	10-11-2022	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00
6°Monitoreo	21-12-2022	0.10	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
Peso húmedo epibiontes control							
	Fecha	ECA (kg/5m)	DE	EE	ECB (kg/5m)	DE	EE
Siembra	07-06-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1°Monitoreo	14-07-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2°Monitoreo	09-08-2022	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3°Monitoreo	12-09-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4°Monitoreo	13-10-2022	0.72	0.28	0.20	0.85	0.07	0.05
5°Monitoreo	10-11-2022	0.46	0.30	0.17	0.00	0.00	0.00
6°Monitoreo	21-12-2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

La mayor acumulación de biomasa, en una primera instancia, se obtuvo luego de 64 días de cultivo, durante el mes de agosto 2022, (alta densidad: 0.56 Kg; baja densidad: 0.58 Kg) y en una segunda instancia luego de los 198 días, al final de ciclo de cultivo (alta densidad: 4.71 Kg; baja densidad: 3.53 Kg). Para los controles, la mayor acumulación de biomasa en primera instancia se registró durante julio y agosto 2022 respectivamente, 0.79 Kg para alta densidad y 0.63 Kg para baja densidad. En segunda instancia, durante el mes de noviembre 2022 se observó otro incremento en la biomasa de alta y baja densidad, alcanzado 3.27 y 2.44 Kg respectivamente (**Figura 56A**). La aparición de organismos epibiontes se observó principalmente en los tratamientos de algas control (alta y baja densidad), desde octubre 2022 (día 129 de cultivo) (**Figura 56B**).

Los valores máximos de SGR para ambas densidades, se observaron durante el sexto y quinto monitoreo para las algas de alta y baja densidad respectivamente (SGR alta= 0.68; SGR baja= 0.55). En el caso de los controles de ambas densidades también se observaron valores máximos durante el quinto y segundo monitoreo, respectivamente (SGR control alta= 0.49; SGR control baja=0.24). Se realizó la poda al cuarto monitoreo (día 129 de cultivo), en la cual se obtuvo un peso total de 11.38 Kg para este recurso, obtenido desde las 20 líneas podadas.

Al comparar la biomasa máxima obtenida, al quinto monitoreo, se observaron diferencias significativas entre densidades y controles, dadas principalmente por el tratamiento control de alta densidad (Tukey HSD. F=5.051; g.l.=3; p=0.009).

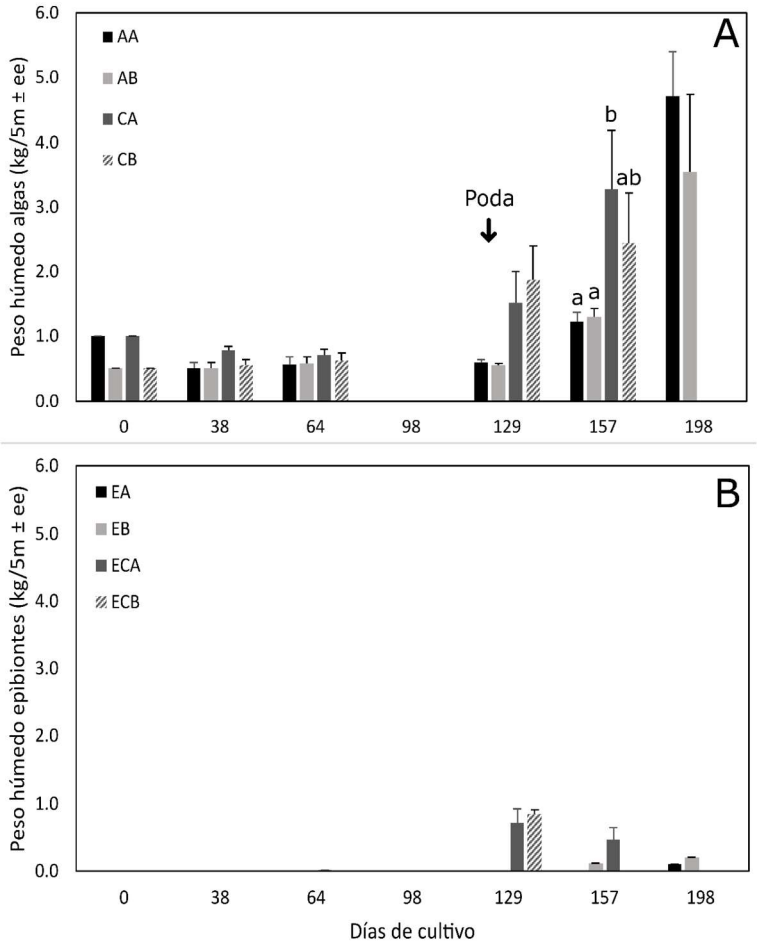

Figura 56. Crecimiento promedio en peso húmedo (kg / 5m ± EE) de cultivo de *A. chilensis* en unidades de plansa (N= 10 segmentos de 5 metros en alta y baja densidad) y controles (N=5 segmentos de 5 metros en alta y baja densidad), en el sitio de cultivo Hueihue. A) Algas en alta y baja densidad y respectivos controles. (AA = Peso húmedo alga alta densidad, AB = Peso húmedo alga baja densidad, CA = Peso húmedo control alta densidad, CB = Peso húmedo control baja densidad). B) Epibiontes en alta y baja densidad y respectivos controles. (EA = Peso húmedo epibiontes alta densidad, EB = Peso húmedo epibiontes baja densidad, ECA = Peso húmedo epibiontes control alta densidad, ECB = Peso húmedo epibiontes control baja densidad). Letras minúsculas indican diferencias entre las medias de los tratamientos.

5.4.3. Monitoreo ambiental cultivos. Variables físicas

5.4.3.1. Sitio Chungungo

Para la variable temperatura (°C) del agua de mar, se registró un promedio de 13.9°C con un rango entre 10.06°C a 19,06 °C. Se registró un aumento de temperatura a partir de la segunda quincena de noviembre que llegó a la temperatura máxima registrada a fines de diciembre de 2022 **(Figura 57A).**

La intensidad lumínica (lux) muestra un promedio de 251.83 lux, con un máximo de 6544.5 lux. Los valores registrados muestran un periodo de tiempo limitado debido al aumento de fouling y pérdida de funcionalidad del equipo **(Figura 57B).**

La salinidad (ppm) registro un rango de 20.3 a 21.8 ppm. Esta variable se mantuvo constante en el tiempo de registro. Los datos que se presentan en el grafico fuera de rango corresponde a fechas de mantención del equipo **(Figura 57C).**

Para el oxígeno disuelto (mg/L) muestra un promedio de 7.68 mg/L, con un rango de 0.76 a 18.06 mg/L. Se registra un aumento de rango a partir de octubre de 2022 hasta diciembre del mismo año **(Figura 57D).**

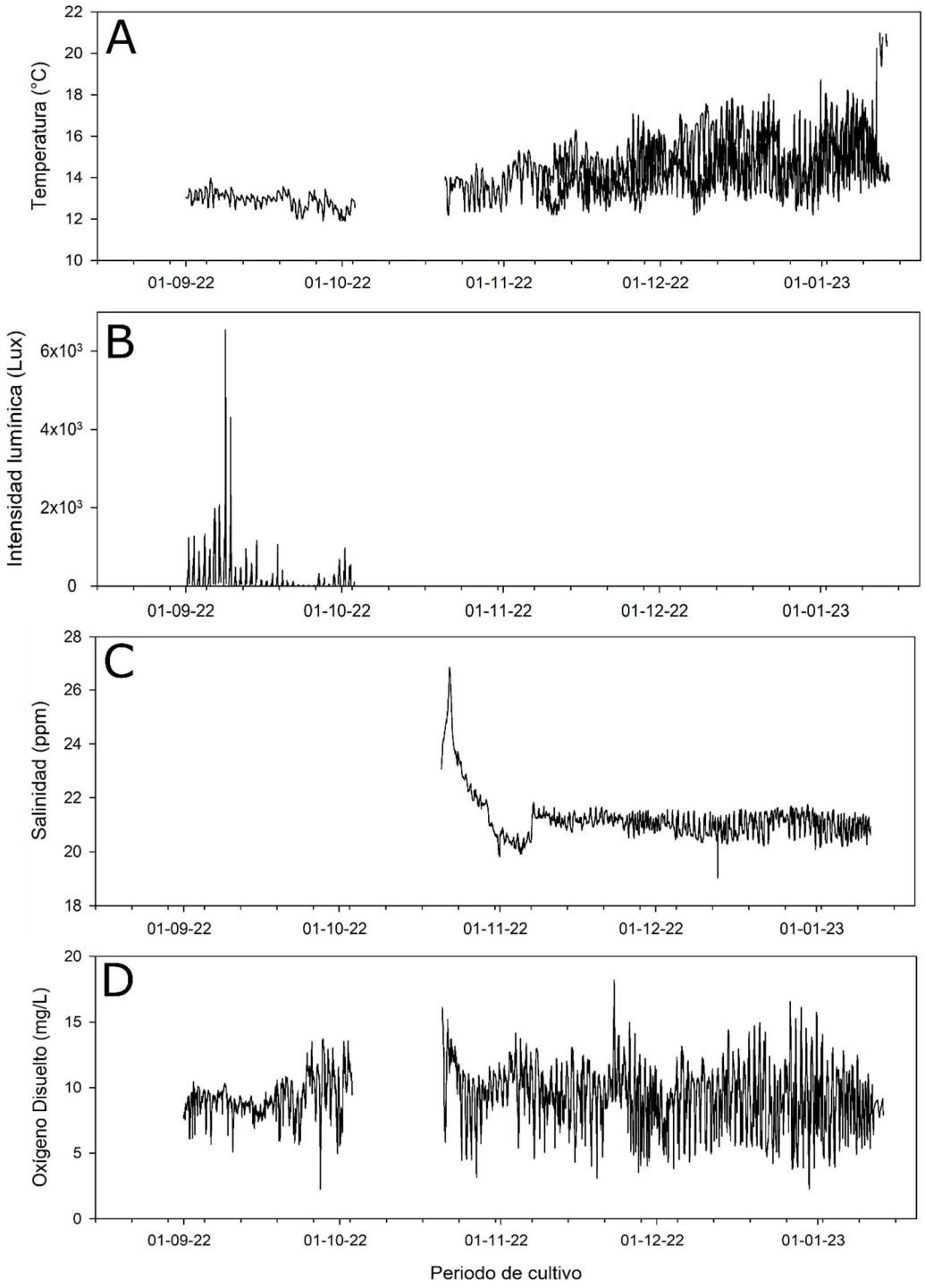

Figura 57. Gráfico de A) Temperatura (°C), B) Intensidad lumínica (Lux), C) Salinidad (ppm) y D) Oxígeno disuelto (mg/L) en sitio de cultivo Chungungo B.

5.4.3.2. Sitio Quinchao

La variable temperatura (°C) del agua de mar a 2.5 metros de profundidad, presentó una tendencia al aumento durante el periodo de cultivo. Se observan algunos aumentos marcados desde el mes de noviembre 2022 hasta el enero 2023. El rango de esta variable estuvo entre los 8.1 a 17.6 °C (**Figura 58A**).

La intensidad lumínica (lux) muestra una tendencia a valores bajo los 25.000 lux durante los primeros meses del cultivo (julio a octubre 2022). Desde noviembre 2022 a enero 2023 se observan algunas alzas en los valores, exceptuando el mes de diciembre, donde por motivos asociados a la aparición de fouling o algas a la deriva, los valores observados fueron bajos. El rango de esta variable estuvo entre los 50 a 85.000 lux (**Figura 58B**).

La salinidad (ppm) muestra una tendencia a la baja desde el inicio del cultivo hasta enero 2023. Con algunas bajas marcadas durante agosto y septiembre, lo que se podría deber a la aparición de organismos epibiontes en los sensores que pueden alterar la toma de datos. Se observa un aumento en la salinidad a comienzos de diciembre 2022 la que luego comienza a descender nuevamente. El rango de esta variable estuvo entre los 22 a 25.1 ppm (**Figura 58C**).

Para el oxígeno disuelto (mg/l) la tendencia de esta variable se observó constante entre julio a fines de noviembre 2022. Durante diciembre 2022 se observó una disminución en los valores en comparación a los meses anteriores, con un aumento marcado a fines del mismo mes. El rango de esta variable estuvo entre los 4 a 18.3 mg/L (**Figura 58D**).

Cabe destacar que la aparición de organismos epibiontes en los medidores continuos, junto con algas que flotan a la deriva y se enredan en las líneas de cultivo, puede influenciar la obtención de los datos, lo que puede generar vacíos de información o datos fuera de lugar para determinados periodos. Los sensores fueron limpiados cada dos meses para asegurar la efectividad de la obtención de datos.

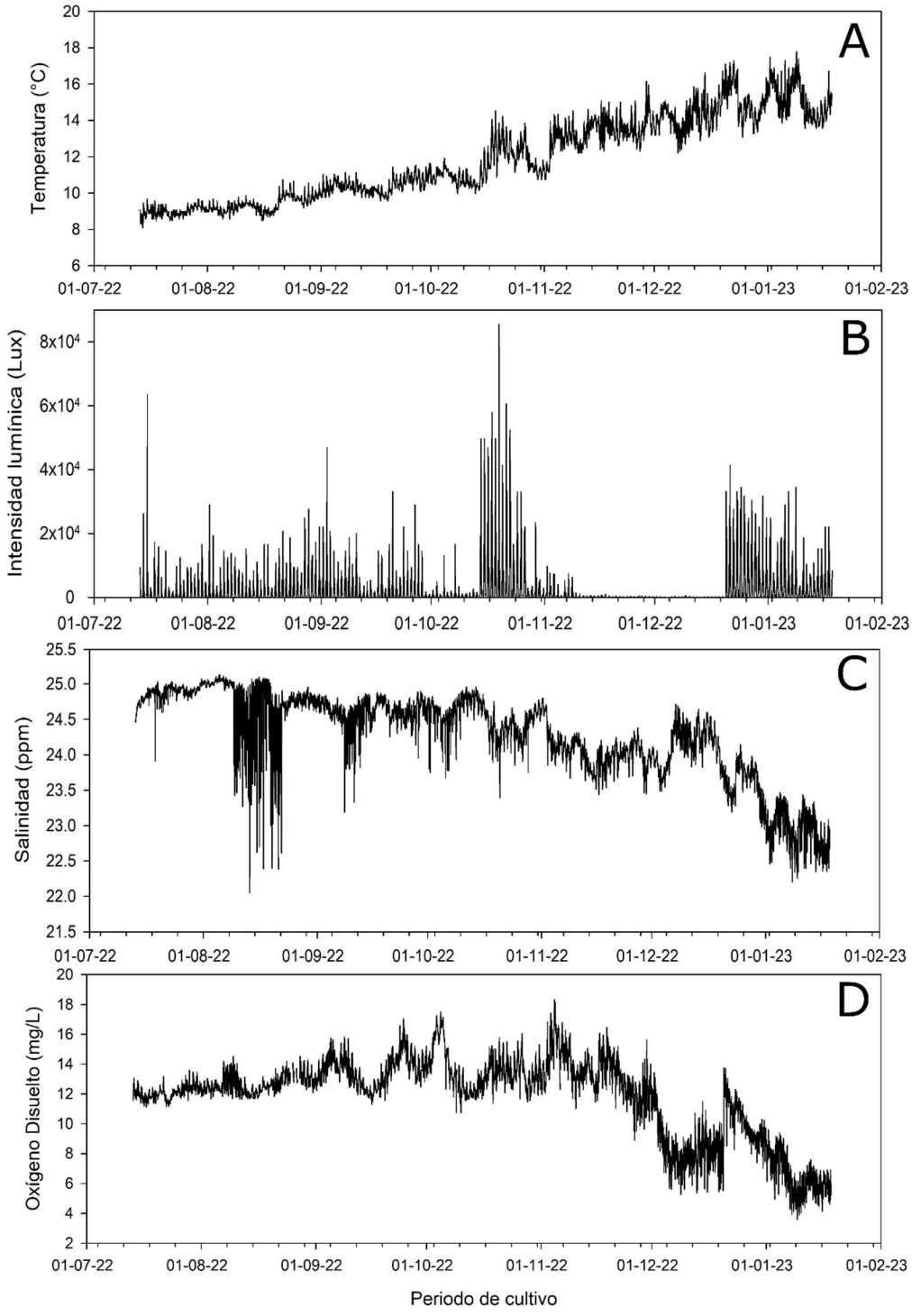

Figura 58. Gráfico de A) Temperatura (°C), B) Intensidad lumínica (Lux), C) Salinidad (ppm) y D) Oxígeno disuelto (mg/L) en sitio de cultivo Quinchao.

5.4.3.3. Sitio Pudeto

La variable temperatura (°C) del agua de mar a 2.5 metros de profundidad presento una tendencia al aumento en la temperatura desde el inicio del cultivo durante julio 2022 y desde el mes de octubre 2022 hasta enero 2023 presento un aumento mayor con aumentos más notorios que los meses anteriores. Esto puede estar influenciado por la influencia mareal presente en el estuario y el cambio de estaciones. El rango de esta variable estuvo entre los 5 a 23 °C (**Figura 59A**).

La intensidad lumínica (Lux), entre le inicio del cultivo (julio 2022) hasta mediados de octubre, presentó valores menores a los 20.000 lux. Posterior a esto se comienzan a observar aumentos marcados en la intensidad lumínica llegando algunos cercanos a los 80.000 lux. El rango de esta variable estuvo entre los 100 a 85.000 Lux (**Figura 59B**).

La Salinidad (ppm) presentó una tendencia variable desde julio a mediados de septiembre 2022, donde se observa el cambio influenciado por los ciclos mareales asociados al estuario. Desde mediados de septiembre hasta mediados de noviembre se evidencia una disminución de los valores, los que luego vuelven a aumentar, mostrando una variabilidad similar a los primeros meses desde iniciado el cultivo. El rango de esta variable estuvo entre los 5 a 32 ppm (**Figura 59C).**

La tendencia del oxígeno disuelto (mg/L) durante los primeros meses de cultivo se mantuvo estable hasta el mes de octubre 2022, sobre los 10 mg/L, con algunos valores bajos. A comienzos del mes de octubre hasta noviembre 2022 se observan valores más altos llegando sobre los 20 mg/L. desde noviembre en adelante se observa una disminución en los valores de oxígeno disuelto, con alzas marcadas por la influencia mareal. Desde comienzos de diciembre hasta mediados de enero 2023 se observa un aumento en los valores con alzas marcadas, pero bajo los 10 mg/L. El rango de esta variable estuvo entre los 1.5 a los 22 mg/L (**Figura 59D**).

.

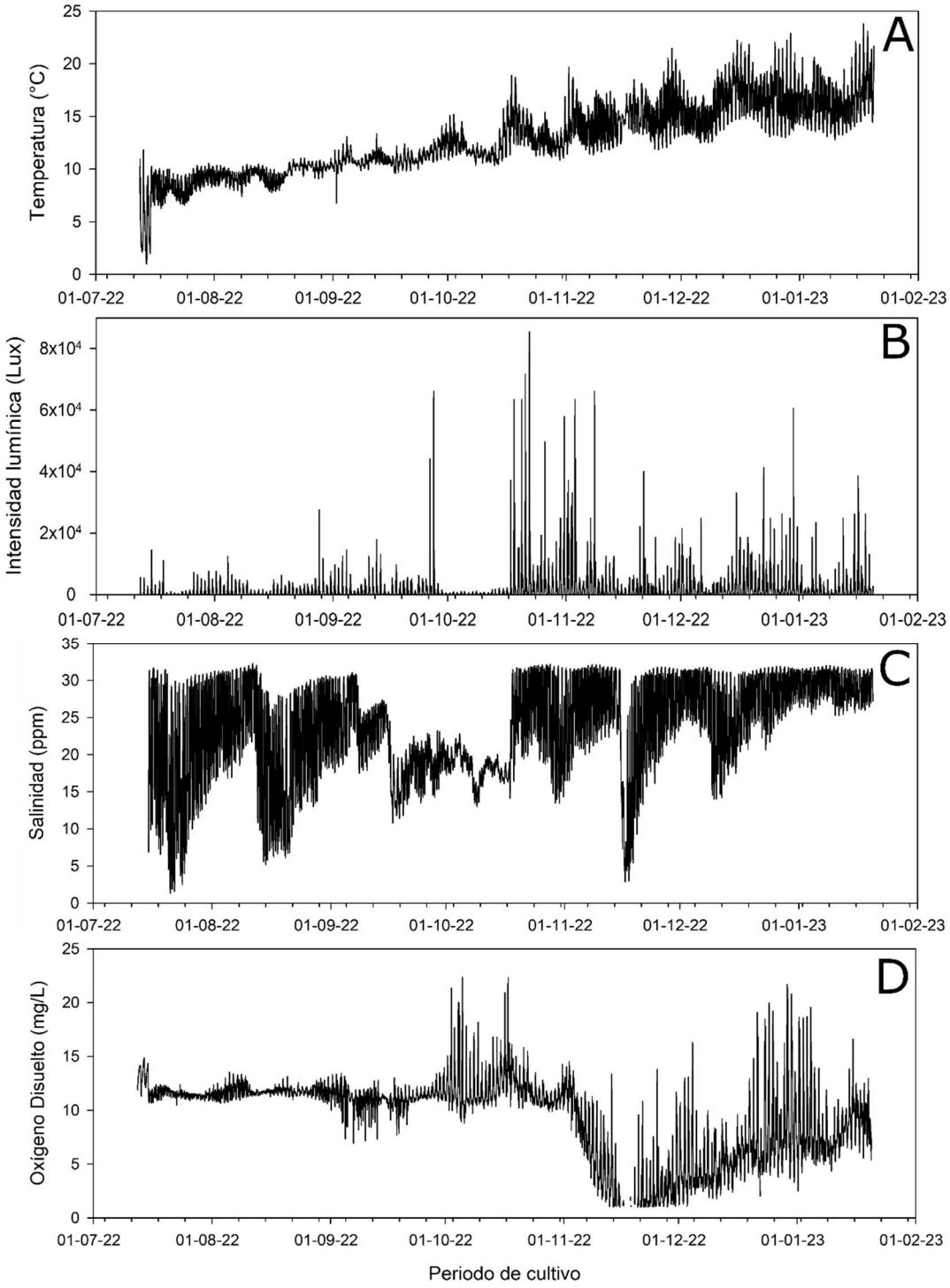

Figura 59. Gráfico de A) Temperatura (°C), B) Intensidad lumínica (Lux), C) Salinidad (ppm) y D) Oxígeno disuelto (mg/L), en sitio de cultivo Pudeto.

5.4.3.4. Sitio Hueihue

La variable temperatura (°C) del agua de mar a 2.5 metros de profundidad, tuvo un comportamiento sostenido desde el inicio del cultivo en junio hasta principios de octubre 2022 que se mantuvo entre los 10 a 12 °C. Posterior a esto se comienza a observar un incremento en la temperatura con oscilaciones que se mantienen hasta enero 2023. El rango de esta variable estuvo entre los 9 a 17.9 °C (**Figura 60A**).

La intensidad lumínica (Lux) presentó valores bajo los 20.000 Lux, desde el inicio del cultivo hasta principios de octubre 2022, los que luego comienzan a aumentar hasta enero 2023, observando algunos valores entre los 40.000 a 86.000 lux. El rango de esta variable estuvo entre los 10 a 86.000 Lux (**Figura 60B**).

La Salinidad (ppm) presentó una tendencia sostenida desde el mes de junio hasta fines de noviembre del 2022, entre los 30 a 35 ppm. Posterior a esto se comienzan a observar bajas en los valores de salinidad hasta enero de 2023. El rango de esta variable estuvo entre los 15 a 33.5 ppm (**Figura 60C**).

La tendencia del oxígeno disuelto (mg/L) presentó valores con una tendencia al alza, entre junio a septiembre 2022, posterior a esto se observó una baja en los valores, que desde inicios de octubre vuelve a aumentar, mostrando alzas y bajas hasta el final del ciclo de medición (enero 2023). El rango de esta variable estuvo entre los 1 a los 16.4 mg/l (**Figura 60D**).

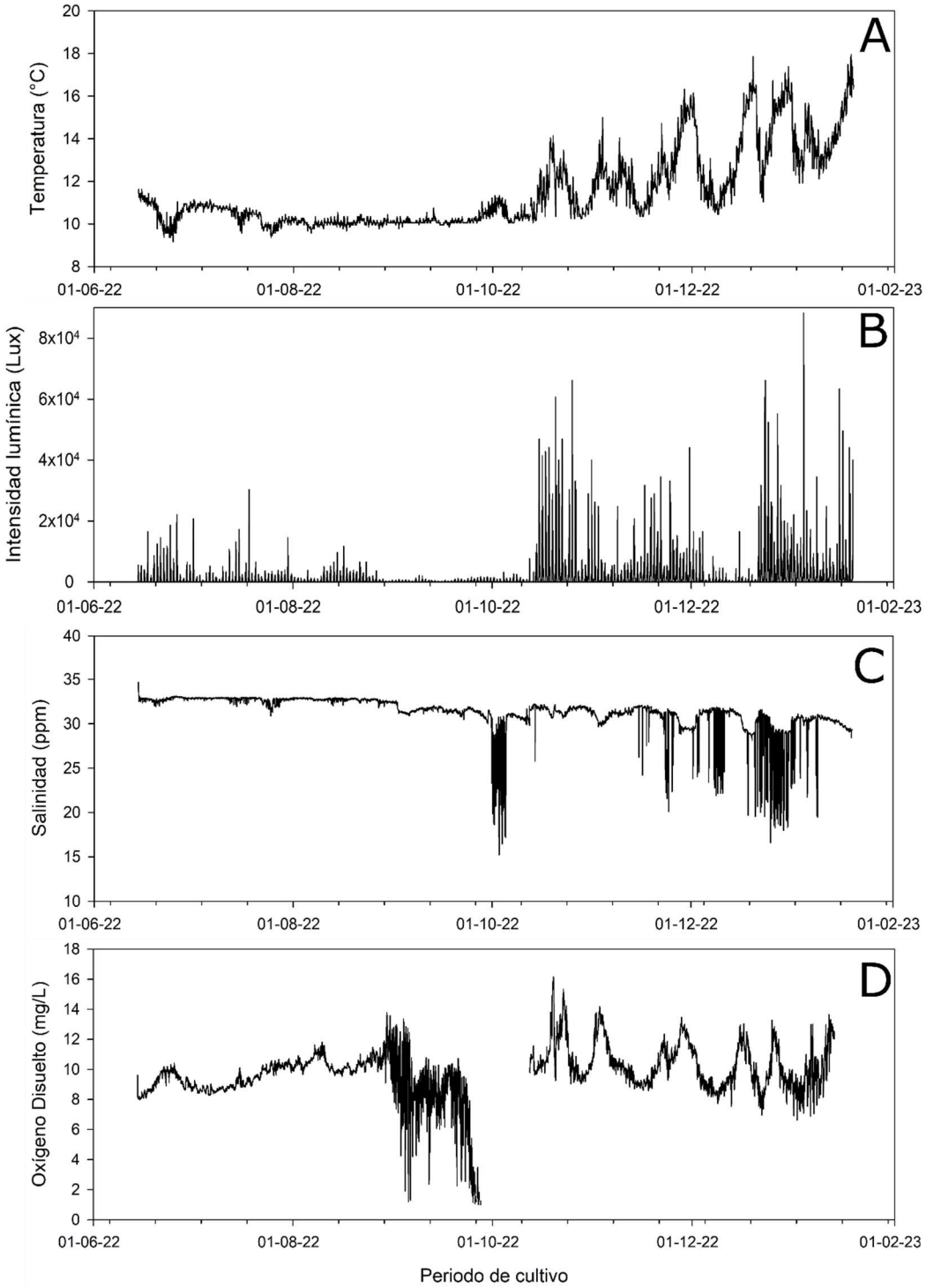

Figura 60. Gráfico de A) Temperatura (°C), B) Intensidad lumínica (Lux), C) Salinidad (ppm) y D) Oxígeno disuelto (mg/L), en sitio de cultivo Hueihue.

5.4.4. Monitoreo ambiental cultivos. Nutrientes

La concentración promedio de nitratos totales (NO_2^- + NO_3^-) se mantuvo entre los 0.07 a 0.29 mg L^{-1}. Para Quinchao los valores comenzaron cercanos a los 0.30 mg L^{-1}, para disminuir en los meses siguientes. Durante octubre 2022 se observó un leve aumento en el promedio de nitratos totales, los que hacia el final del ciclo de cultivo vuelven a disminuir y mantenerse bajo los 0.15 mg L^{-1} . En Pudeto los valores observados fueron variables, con alzas y bajas durante el ciclo de cultivo. Los valores promedio no sobrepasaron los 0.20 mg L^{-1}. Para el caso de Hueihue, los valores observados comenzaron el ciclo cercano a los 0.30 mg L^{-1}, para luego disminuir durante el mes de agosto 2022 y volver a aumentar hasta noviembre. Durante el mes de diciembre se observó una baja en el valor promedio de nitratos totales para este sitio de cultivo (**Figura 61**). Las diferencias estadísticas fueron dependientes de los meses de cultivo (F=2.367; g.l=10; p=0.03), estas diferencias fueron dadas por los valores observados en el mes de julio en la localidad de Quinchao y el mes de diciembre en la localidad de Pudeto.

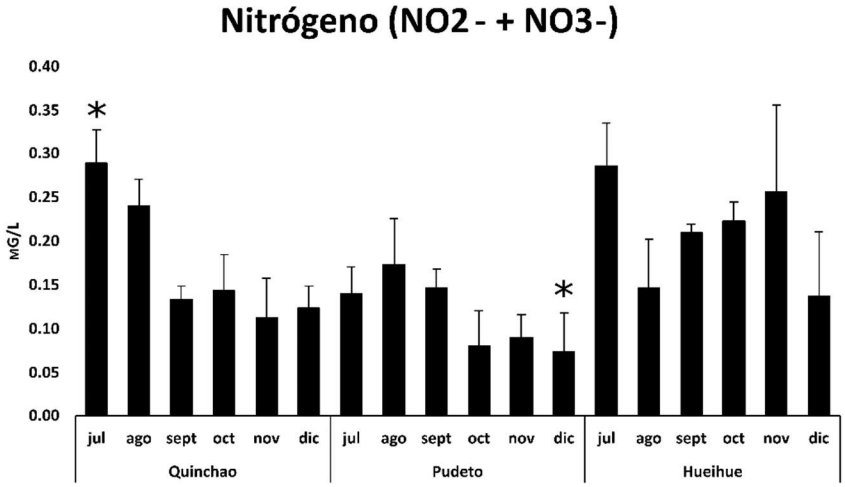

Figura 61. Concentración de nitratos totales (Media ± DE) en el agua durante el período de cultivo para cada sitio de estudio.

La concentración promedio de fosfatos (PO_4^-) se mantuvo entre los 0.02 a 0.25 mg L^{-1}. Para el sitio de cultivo Quinchao, se observó un promedio mayor a los demás durante octubre 2022 (0.25 mg L^{-1}), el resto de los valores promedios no superaron los 0.12 mg L^{-1} . En Pudeto solo se observó un valor promedio máximo al resto durante el monitoreo del mes de diciembre 2022 (0.13 mg L^{-1}). Durante los otros meses de monitoreo los valores fluctuaron entre los 0.02 a 0.08 mg L^{-1}, sin una tendencia marcada. En el sitio de cultivo Hueihue, se observaron dos alzas en los valores promedio para la concentración de fosfatos, durante el mes de septiembre y noviembre 2022 (0.17 y 0.25 0.08 mg L^{-1}, respectivamente). Para los demás monitoreos los valores promedio fluctuaron entre los 0.04 a 0.12 mg L^{-1}. No se observó una tendencia marcada para este sitio de cultivo (**Figura 62**). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los sitios (F=1.112; g.l=17; p= 0.381).

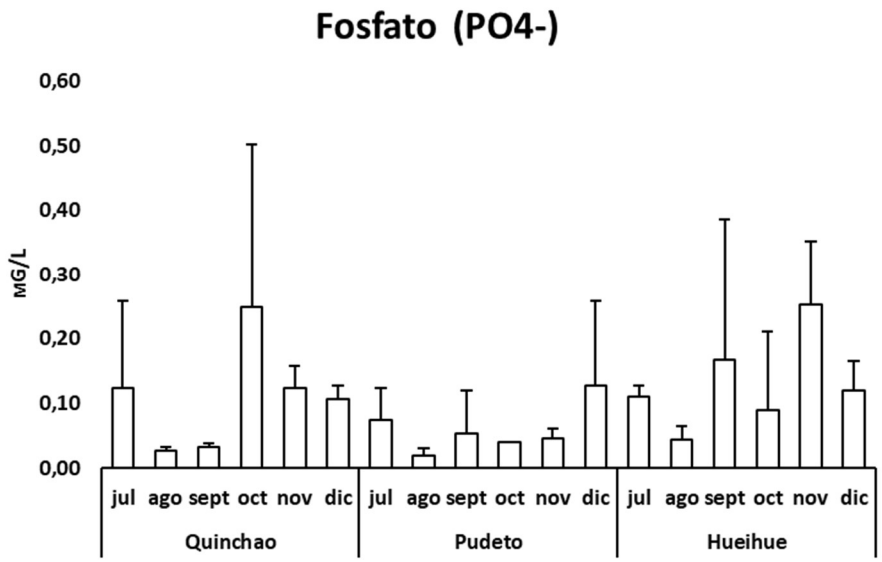

Figura 62. Concentración de fosfato total (Media ± DE) en el agua durante el período de cultivo para cada sitio de estudio.

5.4.5. Monitoreo productivo y ambiental cultivos. Análisis multivariado

Se realizo un análisis de Modelamiento Lineal Basado en Distancia (DISTLM) y un modelo de redundancia basado en la distancia multivariada (dbRDA, **Figura 63**), para describir los patrones de crecimiento algal (biomasa de cultivo y carga de epifitos) usando los datos ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, intensidad lumínica, fosfato, nitrito, nitrato) registrados durante el periodo de cultivo. El análisis marginal DISTLM evidenció que la T° y el O_2 disuelto son las únicas variables que conservaron correlaciones significativas con el set de datos de biomasa (T°: *pseudo-F* = 11,6; *p* <0,01; O_2: *pseudo-F* = 23,3; *p* = <0,01). Sin embargo, ambas variables explican sólo un 9% y 16% de las variaciones registrada en biomasa respectivamente (las variables restantes explican el 7%). Entre los sitios de cultivo, T° y el O_2 explican de mejor manera de los patrones de crecimiento en el cultivo en Pudeto, no existiendo una relación clara con el crecimiento en Quinchao y Hueihue.

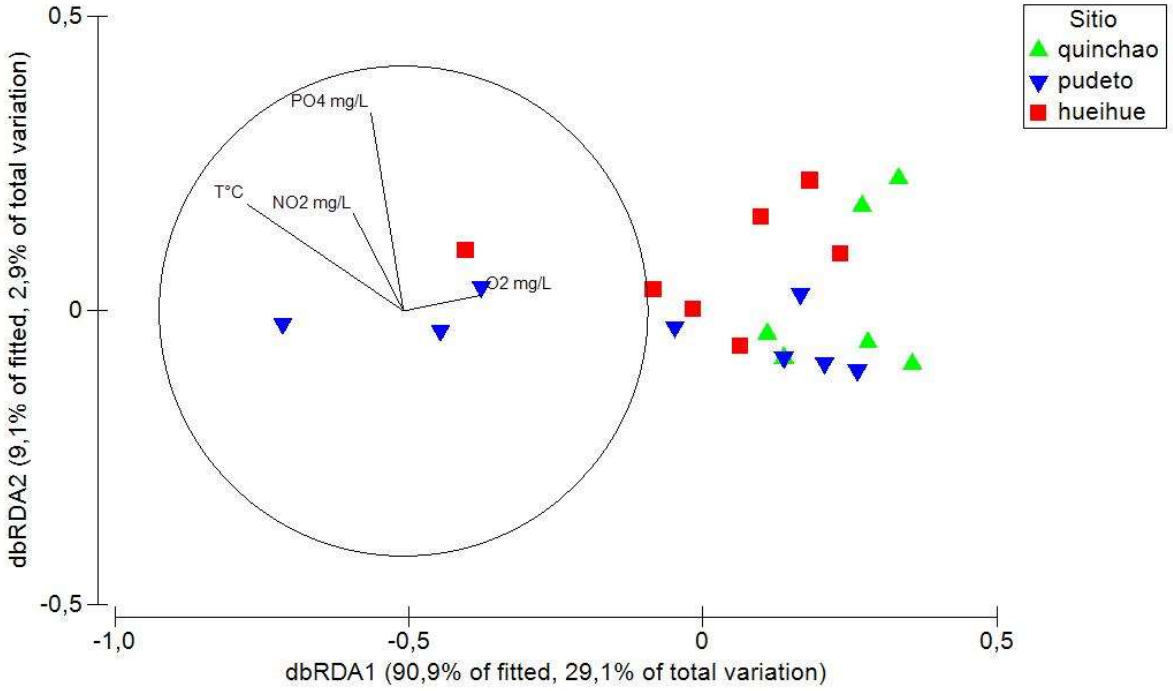

Figura 63. Análisis gráfico de redundancia basado en distancias (dbRDA) para biomasa de cultivo y las variables ambientales de cada sitio de cultivo. Vectores indican correlaciones con los datos de biomasa (*Pearson*, *p* = 0.5). El círculo indica un r = 1.0.

5.4.6. Monitoreo de cultivo de fondo de macroalgas pardas

Durante el año 2021 y 2022 se realizaron monitoreos del cultivo de fondo de huiro palo *L. trabeculata* en AMERB Chungungo B. Cinco días después de la siembra se monitoreo la presencia de las plántulas en los sectores de adhesión con una persistencia del 57%. Para el monitoreo del día 39, hubo una sobrevivencia del 11,4%, principalmente en los sitios 1 y 3 (**Figura 64**). En los monitoreos realizados no hubo evidencia de aumento de longitud, inclusive hubo una pérdida foliar en plántulas del sitio 3 (**Figura 65**). Posteriormente se realizaron diversas búsquedas en el área, sin embargo, no fue posible encontrar individuos. En el monitoreo posterior del día 60 ya no se encontraban plántulas adheridas. Probablemente producto de las marejadas de los días anteriores al monitoreo.

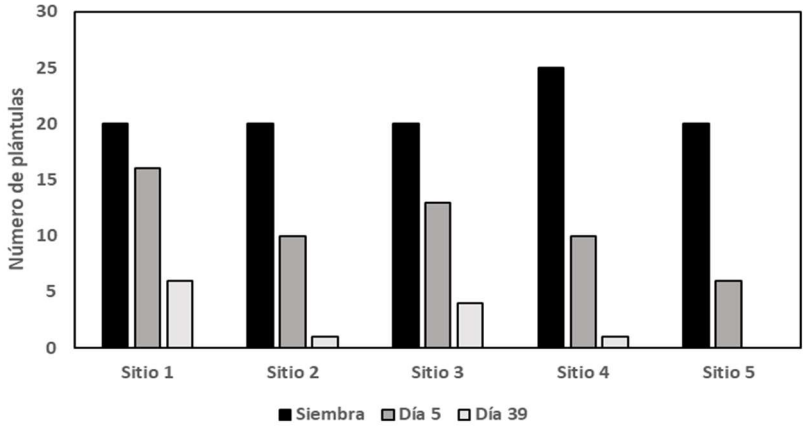

Figura 64. Número de las plántulas de *L. trabeculata* al momento de la siembra, al día 5 y 39 desde la adhesión en los distintos sitios seleccionados en AMERB Chungungo B.

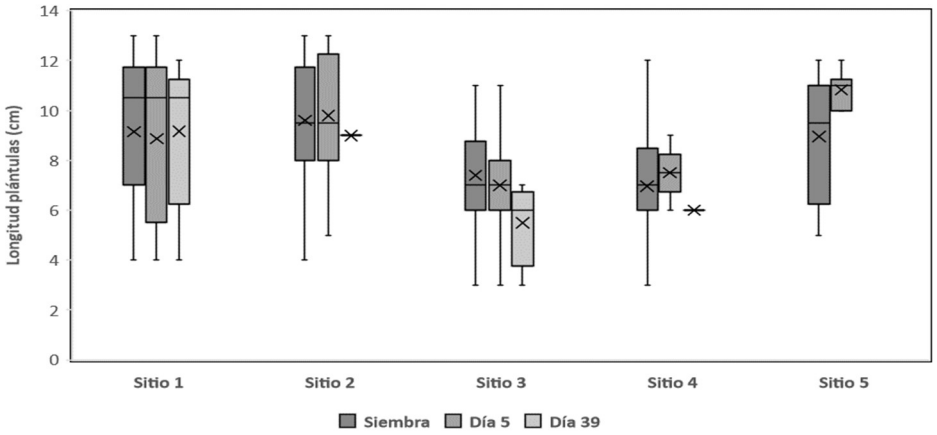

Figura 65. Diámetro de disco (cm) (Media ± DS) de las plántulas de *L. trabeculata* al momento de la siembra, al día 5 y 39 desde la adhesión en los distintos sitios seleccionados en AMERB Chungungo B.

5.5. Validación de modelo de gestión y productivo para APE en base a portafolio multi-especies propuesto para la zona sur (Fase 2)

Esta actividad reporta el desempeño en crecimiento del cultivo suspendido de 4 moluscos filtradores, los cuales fueron instalados en sistema de long-line en octubre de 2021. Los recursos monitoreados bajo un esquema de cultivo tipo portafolio son los siguientes: chorito (*M. chilensis*), choro zapato (*C. chorus*), ostión del norte (*A. purpuratus*) y ostra japonesa (*C. gigas*). Desde el momento de la siembra, se realizaron controles trimestrales para verificar el crecimiento en talla y peso.

En el caso del recurso chorito, en octubre de 2021 se sembraron individuos con una talla promedio (expresada como largo total) de 2,9 ± 0,6 cm. Luego de 3 meses de cultivo (enero 2022), los individuos alcanzaron una talla promedio de 4,4 ± 0,5 cm y un peso promedio de 7,3 ± 2,3 g. En el siguiente control (mayo 2022) los individuos alcanzaron una talla promedio de 5,4 ± 0,5 cm y un peso promedio de 13,6 ± 3,3 g (**Tabla 34, Figura 66**). Durante este control se verificó que este recurso alcanzó una condición óptima para su comercialización, por lo que se finalizó el monitoreo de este recurso.

Tabla 34.
Variación del crecimiento (talla y peso promedio ± DE) de los recursos cultivados bajo modalidad de portafolio.

Recurso	Variable	Instalación (octubre 2021)	Control 1 (enero 2022)	Control 2 (mayo 2022)
Chorito	Talla promedio	2,9 ± 0,6 cm	4,4 ± 0,5 cm	5,4 ± 0,5 cm
	Peso promedio	--	7,3 ± 2,3 g	13,6 ± 3,3 g
Choro zapato	Talla promedio	2,4 ± 0,3 cm	4,5 ± 0,5 cm	5,7 ± 0,7 cm
	Peso promedio	--	8,2 ± 2,3 g	15,9 ± 4,7 g
Ostión del norte	Talla promedio	0,5 ± 0,1 cm	3,0 ± 0,4 cm	5,2 ± 0,4 cm
	Peso promedio	--	5,2 ± 1,7 g	27,6 ± 7,1 g
Ostra japonesa	Talla promedio	1,0 ± 0,2 cm	4,2 ± 0,9 cm	7,5 ± 5,9 cm
	Peso promedio	--	5,3 ± 2,1 g	25,4 ± 12,1 g

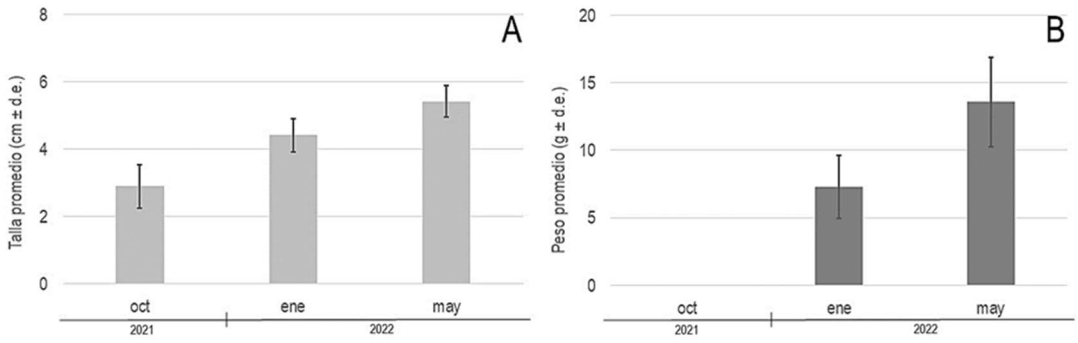

Figura 66. Variación del crecimiento en talla (A) y peso (B) (Promedio ± DE) del recurso chorito cultivado en sistema suspendido.

Para el recurso choro zapato, en octubre de 2021 se sembraron individuos con una talla promedio (largo total) de 2,4 ± 0,3 cm. Transcurridos 3 meses de cultivo (enero 2022), los individuos alcanzaron una talla promedio de 4,5 ± 0,5 cm y un peso promedio de 8,2 ± 2,3 g. En el control efectuado en mayo de 2022, los individuos alcanzaron una talla promedio de 5,7 ± 0,7 cm y un peso promedio de 15,9 ± 4,7 g (**Tabla 34, Figura 67**). Durante este control se verificó que este recurso alcanzó una condición óptima para su comercialización, por lo que se finalizó el monitoreo de este recurso.

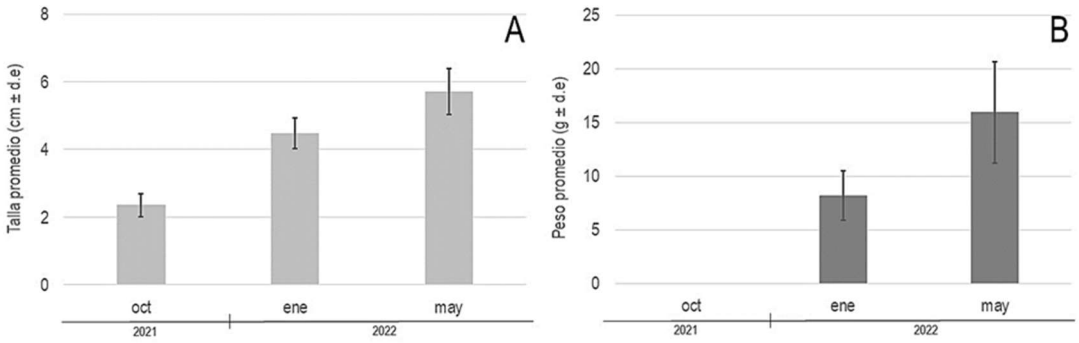

Figura 67. Variación del crecimiento en talla (A) y peso (B) (Promedio ± DE) del recurso choro zapato cultivado en sistema suspendido.

En el caso del ostión del norte, en octubre de 2021 se sembraron individuos con una talla promedio (expresada como alto valvar) de 0,5 ± 0,1 cm. Pasados 3 meses de cultivo (enero 2022), los individuos alcanzaron una talla promedio de 3,0 ± 0,4 cm y un peso promedio de 5,2 ± 1,7 g. Al siguiente control (mayo 2022), alcanzaron una talla promedio de 5,2 ± 0,4 cm y un peso promedio de 27,6 ± 7,1 g (**Tabla 34, Figura 68**). Dado que este recurso aún no alcanzaba características deseadas para su comercialización, fue necesario realizar una acción de manejo consistente en el cambio de las estructuras de cultivo, pasando los ejemplares desde pearl-nets a linternas, manteniendo en esta nueva etapa una densidad de 20-25 individuos por piso. Se espera que logren una talla y peso que permitan su comercialización en la primavera.

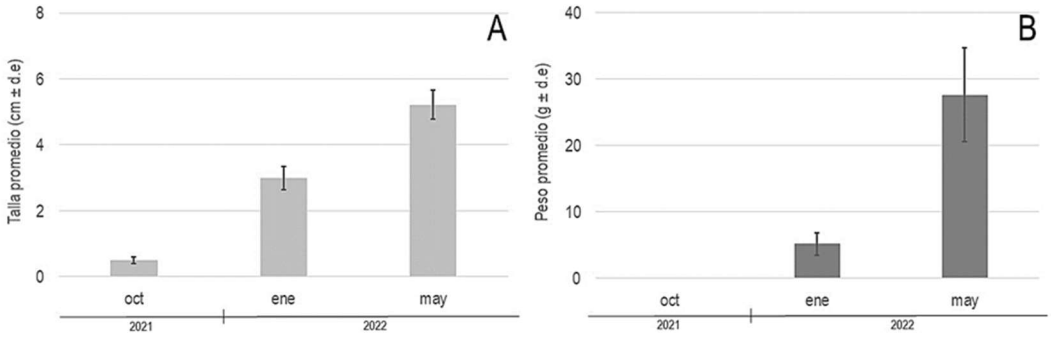

Figura 68. Variación del crecimiento en talla (A) y peso (B) (Promedio ± DE) del recurso ostión del norte cultivado en sistema suspendido.

Finalmente, para ostra japonesa, en octubre de 2021 se sembraron individuos con una talla promedio (expresada como largo total) de 1,0 ± 0,2 cm. Transcurridos 3 meses de crecimiento en cultivo suspendido (enero 2022) los individuos alcanzaron una talla promedio de 4,2 ± 0,9 cm y un peso promedio de 5,3 ± 2,1 g. En el control realizado en mayo de 2022, los individuos alcanzaron una talla promedio de 7,5 ± 5,9 cm y un peso promedio de 25,4 ± 12,1 g (**Tabla 34, Figura 69**). Dado que este recurso aún no alcanzaba características deseadas para su comercialización, fue necesario realizar una acción de manejo similar a la realizada con el recurso ostión del norte, la que consistió en el cambio de las estructuras de cultivo, pasando los ejemplares desde pearl-nets a linternas, manteniendo en esta nueva etapa una densidad de 20 a 25 individuos por piso. Se espera que logren una talla y peso que permitan su comercialización en la primavera.

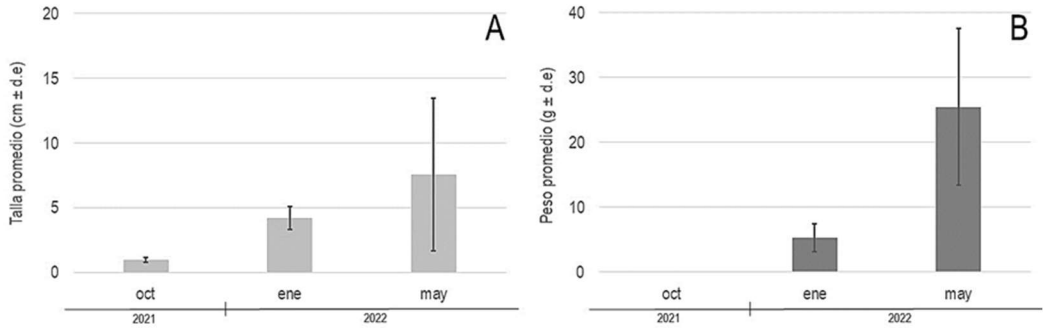

Figura 69. Variación del crecimiento en talla (A) y peso (B) (Promedio ± DE) del recurso ostra japonesa cultivado en sistema suspendido.

Objetivo específico 3: *Evaluar el efecto del origen y condiciones de cultivo sobre el desempeño fisiológico-productivo de especies claves para el desarrollo de APE.*

5.6. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de macroalgas y bivalvos co-cultivados (Fase 4)

En la primera etapa del experimento de co-cultivo de reemplazo, luego de 20 días, la tasa de crecimiento de *G. chilensis* varió entre proporciones (**Tabla 35**), con valores entre 4,59 y 5,86 % día^{-1} en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua lento, y entre 5,20 y 5,76 % día^{-1} en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua rápido (**Figura 70A**). Para *M. chilensis*, la tasa de crecimiento varió debido a la interacción entre proporción de co-cultivo y recambio de agua, con valores entre 0,49 y 1,36 % día^{-1} en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua lento, y entre 0,54 y 0,84 % día^{-1} en 0:1 y 1:1, respectivamente, bajo recambio de agua rápido.

En la segunda etapa del experimento de co-cultivo de reemplazo, luego de 20 días, la tasa de crecimiento de *C. chamissoi* varió debido a la interacción entre proporción de co-cultivo y recambio de agua (**Tabla 35**), con valores entre 3,37 y 4,59 % día^{-1} en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua lento, y entre 2,85 y 3,74 % día^{-1} en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua rápido (**Figura 70B**). Para *M. chilensis*, la tasa de crecimiento no mostró respuestas significativas a los tratamientos, con valores entre 0,28 y 1,02 % día^{-1}.

En la tercera etapa del experimento de co-cultivo de reemplazo, luego de 20 días, la tasa de crecimiento de *C. chamissoi* varió debido a la interacción entre proporción de co-cultivo y recambio de agua (**Tabla 35**), con valores entre 0,41 y 3,32 % día^{-1} en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua lento, y entre 1,61 y 2,10 % día^{-1} en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua rápido (**Figura 70C**). Para *M. chilensis*, la tasa de crecimiento varió debido a la interacción entre proporción de co-cultivo y recambio de agua, con valores entre 0,50 y 3,13 % día^{-1} 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua lento, y entre 0,93 y 2,83 % día^{-1} en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua rápido.

Luego de 60 días de co-cultivo de reemplazo, el IC del bivalvo varió debido al efecto independiente del recambio de agua y proporciones (**Tabla 35**), con valores entre 56,7 y 70,5 % en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua lento, y entre 71,7 y 85,6 % en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua rápido (**Figura 71**). El IRP del bivalvo varió debido al efecto independiente del recambio de agua y proporciones, con valores entre 36,0 y 41,2 % en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua lento, y entre 41,7 y 45,2 % en 1:1 y 0:1, respectivamente, bajo recambio de agua rápido.

En la primera etapa del experimento de co-cultivo de reemplazo *G. chilensis* – *M. chilensis*, luego de 20 días, el rendimiento relativo De Wit varió debido a la interacción de factores recambio de agua, proporciones y rendimiento relativo (**Tabla 35**). En general, RRT fue significativamente mayor en el recambio de agua rápido en comparación al lento y en co-cultivos que en mono-cultivos, con valores de RRT > 1,0 en la proporción 1:1 (**Figura 72**), indicando una relación sinérgica entre las especies co-cultivadas. RRGC y RRMC no mostraron grandes diferencias entre proporciones iniciales de cultivo. RRT fue 1,62 y 1,91 para 1:1 en recambio de agua lento y rápido, respectivamente.

En la segunda etapa del experimento de co-cultivo de reemplazo *C. chamissoi* – *M. chilensis*, luego de 20 días, el rendimiento relativo De Wit varió debido a la interacción de factores, proporciones y rendimiento relativo (**Tabla 35**). En general, RRT mostró diferencias significativas entre el recambio de agua y fue significativamente mayor en co-cultivos que en mono-cultivos, con valores de RRT > 1,0 en la proporción 1:1 (**Figura 73**), indicando una relación sinérgica entre las especies co-cultivadas. RRGC y RRMC no mostraron grandes diferencias entre proporciones iniciales de cultivo.
En la tercera etapa del experimento de co-cultivo de reemplazo *M. pyrifera* – *M. chilensis*, luego de 20 días, el rendimiento relativo De Wit varió debido a la interacción de factores recambio de agua, proporciones y rendimiento relativo (**Tabla 35**). En general, RRT fue significativamente mayor en el recambio de agua rápido en comparación al lento y en co-cultivos que en mono-cultivos, con valores de RRT > 1,0 en la proporción 1:1 (**Figura 74**), indicando una relación sinérgica entre las especies co-cultivadas. RRGC y RRMC no mostraron grandes diferencias entre proporciones iniciales de cultivo.

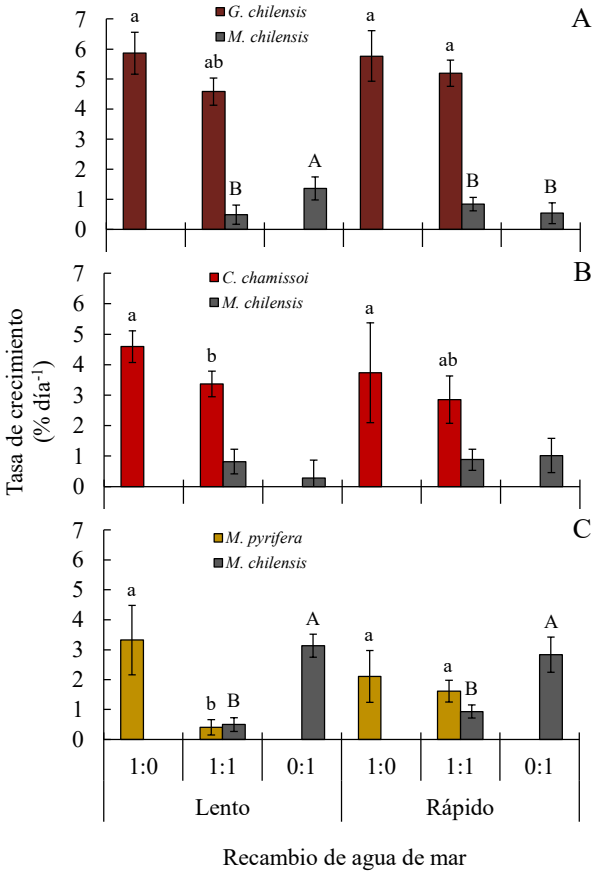

Figura 70. Tasa de crecimiento para cada combinación de especies en co-cultivo de reemplazo en tres proporciones de biomasa inicial después de 20 días. Los co-cultivos correspondieron a A) *G. chilensis* y *M. chilensis,* B) *C. chamissoi* y *M. chilensis,* y C) *M. pyrifera* y *M. chilensis*. Barras representan promedio ± DE (n = 6). Subgrupos estadísticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$) son agrupados por minúsculas para macroalgas (a > b) y mayúsculas para bivalvo (A > B).

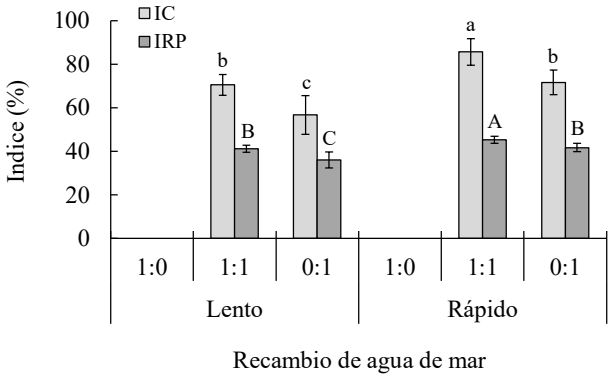

Figura 71. Índice de condición (IC) e índice relativo de producción (IRP) para *M. chilensis* después de 60 días de co-cultivo en tres proporciones de biomasa inicial. Barras representan promedio ± DE (n = 6). Subgrupos estadísticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$) son agrupados por letras minúsculas para el IC (a > b) y mayúsculas para el IRP (A > B).

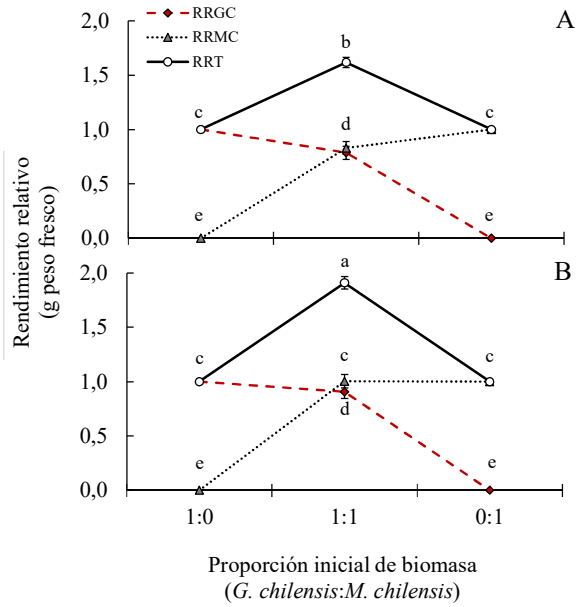

Figura 72. Rendimiento relativo de *G. chilensis* y *M. chilensis* después de 20 días de co-cultivo en tres proporciones de biomasa inicial en experimento de reemplazo bajo recambio de agua lento (A) y rápido (B). RRGC, rendimiento relativo de *G. chilensis*; RRMC, rendimiento relativo de *M. chilensis*; y RRT, rendimiento relativo total. Puntos representan promedio ± DE (n = 6). Subgrupos estadísticamente diferentes son agrupados por letras minúsculas como a > b > c > d > e (Tukey, P < 0.05).

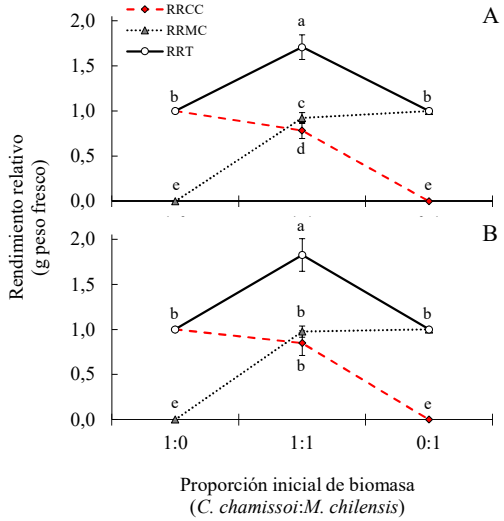

Figura 73. Rendimiento relativo de *C. chamissoi* y *M. chilensis* después de 20 días de co-cultivo en tres proporciones de biomasa inicial en experimento de reemplazo bajo recambio de agua lento (A) y rápido (B). RRCC, rendimiento relativo de *C. chamissoi*; RRMC, rendimiento relativo de *M. chilensis*; y RRT, rendimiento relativo total. Puntos representan promedio ± DE (n = 6). Subgrupos estadísticamente diferentes son agrupados por letras minúsculas como a > b > c > d > e (Tukey, P < 0.05).

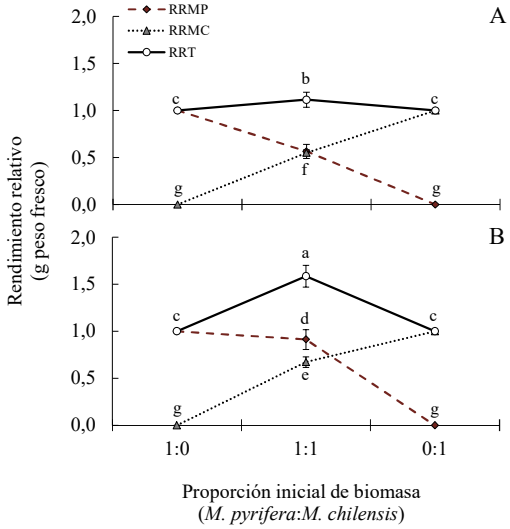

Figura 74. Rendimiento relativo de *M. pyrifera* y *M. chilensis* después de 20 días de co-cultivo en tres proporciones de biomasa inicial en experimento de reemplazo bajo recambio de agua lento (A) y rápido (B). RRMP, rendimiento relativo de *M. pyrifera*; RRMC, rendimiento relativo de *M. chilensis*; y RRT, rendimiento relativo total. Puntos representan promedio ± DE (n = 6). Subgrupos estadísticamente diferentes son agrupados por letras minúsculas como a > b > c > d > e (Tukey, P < 0.05).

Tabla 35.
Resultados de significancia de ANOVA para la tasa de crecimiento de cada especie, IC, IRP y rendimiento relativo De Wit para cada combinación de co-cultivo de reemplazo.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	*F*	*P*
Tasa de crecimiento *G. chilensis* (*G. chilensis* - *M. chilensis*)	Recambio de agua de mar	1	0,402	0,402	0,664	0,425
	Proporción de biomasa inicial	1	5,08	5,08	8,402	0,009
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial	1	0,761	0,761	1,259	0,275
	Residual	20	12,093	0,605		
	Total	23	18,335	0,797		
Tasa de crecimiento *M. chilensis* (*G. chilensis* - *M. chilensis*)	Recambio de agua de mar	1	0,327	0,327	3,122	0,092
	Proporción de biomasa inicial	1	0,486	0,486	4,642	0,044
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial	1	2,074	2,074	19,829	< 0,001
	Residual	20	2,092	0,105		
	Total	23	4,979	0,216		
Tasa de crecimiento *C. chamissoi* (*C. chamissoi* - *M. chilensis*)	Recambio de agua de mar	1	0,000253	0,000253	0,000233	0,988
	Proporción de biomasa inicial	1	17,368	17,368	16,049	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial	1	8,848	8,848	8,176	0,01
	Residual	20	21,643	1,082		
	Total	23	47,859	2,081		
Tasa de crecimiento *M. chilensis* (*C. chamissoi* - *M. chilensis*)	Recambio de agua de mar	1	0,948	0,948	4,054	0,058
	Proporción de biomasa inicial	1	0,239	0,239	1,023	0,324
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial	1	0,679	0,679	2,904	0,104
	Residual	20	4,678	0,234		
	Total	23	6,544	0,285		
Tasa de crecimiento *M. pyrifera* (*M. pyrifera* - *M. chilensis*)	Recambio de agua de mar	1	0,000253	0,000253	0,000233	0,988
	Proporción de biomasa inicial	1	17,368	17,368	16,049	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial	1	8,848	8,848	8,176	0,01

	Residual	20	21,643	1,082		
	Total	23	47,859	2,081		
Tasa de crecimiento *M. chilensis* (*M. pyrifera* - *M. chilensis*)	Recambio de agua de mar	1	0,0277	0,0277	0,185	0,671
	Proporción de biomasa inicial	1	30,905	30,905	206,981	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial	1	0,807	0,807	5,406	0,031
	Residual	20	2,986	0,149		
	Total	23	34,726	1,51		
Índice de condición	Recambio de agua de mar	1	1117,043	1117,043	30,218	< 0,001
	Proporción de biomasa inicial	1	1406,894	1406,894	38,059	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial	1	21,248	21,248	0,575	0,457
	Residual	20	739,317	36,966		
	Total	23	3284,503	142,804		
Índice relativo de producción	Recambio de agua de mar	1	119,534	119,534	24,345	< 0,001
	Proporción de biomasa inicial	1	146,099	146,099	29,756	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial	1	0,00625	0,00625	0,00127	0,972
	Residual	20	98,2	4,91		
	Total	23	363,839	15,819		
Rendimiento relativo De Wit (*G. chilensis* - *M. chilensis*)	Recambio de agua de mar	1	1160,333	1160,333	24,932	< 0,001
	Proporción de biomasa inicial	2	4704	2352	50,537	< 0,001
	Rendimiento relativo	2	35517,125	17758,563	381,578	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial	2	2320,667	1160,333	24,932	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Rendimiento relativo	2	852,514	426,257	9,159	< 0,001
	Proporción × Rendimiento relativo	4	44154,25	11038,563	237,185	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial × rendimiento relativo	4	1705,028	426,257	9,159	< 0,001
	Residual	90	4188,583	46,54		
	Total	107	94602,5	884,136		
Rendimiento relativo De Wit (*C. chamissoi* - *M. chilensis*)	Recambio de agua de mar	1	186,704	186,704	2,284	0,134
	Proporción de biomasa inicial	2	4056	2028	24,814	< 0,001
	Rendimiento relativo	2	36512,889	18256,444	223,376	< 0,001

	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial	2	373,407	186,704	2,284	0,108
	Recambio de agua de mar × Rendimiento relativo	2	99,685	49,843	0,61	0,546
	Proporción × Rendimiento relativo	4	45227,778	11306,944	138,346	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial × rendimiento relativo	4	199,37	49,843	0,61	0,657
	Residual	90	7355,667	81,73		
	Total	107	94011,5	878,612		
Rendimiento relativo De Wit (*M. pyrifera - M. chilensis*)	Recambio de agua de mar	1	436,009	436,009	15,555	< 0,001
	Proporción de biomasa inicial	2	1536	768	27,4	< 0,001
	Rendimiento relativo	2	40437,764	20218,882	721,34	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial	2	872,019	436,009	15,555	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Rendimiento relativo	2	143,505	71,752	2,56	0,083
	Proporción × Rendimiento relativo	4	48366,528	12091,632	431,388	< 0,001
	Recambio de agua de mar × Proporción de biomasa inicial × rendimiento relativo	4	287,009	71,752	2,56	0,044
	Residual	90	2522,667	28,03		
	Total	107	94601,5	884,126		

5.7. Determinación del efecto del origen o fuente de semillas sobre la calidad del pelillo *G. chilensis*

5.7.1. Fuerza de ruptura

En las mediciones en terreno, la fuerza de ruptura varió entre 1,44 y 3,47 N en otoño y entre 1,30 y 2,62 N en primavera (**Figura 75A**). En las mediciones en el laboratorio, la fuerza de ruptura varió entre 1,35 y 2,43 N en otoño y entre 1,06 y 1,32 N en primavera (**Figura 75B**). En ambos casos, la fuerza de ruptura para pelillo proveniente de Pudeto y Amortajado fue significativamente mayor en otoño comparada a la de primavera, mientras que los individuos de Putemún mostraron la menor fuerza de ruptura aplicada en comparación a los de Pudeto y Amortajado en otoño y primavera (**Tabla 36**).

5.7.2. Diámetro de filamento

En las mediciones en terreno, el diámetro del filamento varió entre 0,95 y 1,22 cm en otoño y entre 0,88 y 1,14 en primavera (**Figura 76A**). El diámetro del filamento del pelillo de Putemún fue significativamente menor en comparación a los de Pudeto y Amortajado, y no se observaron diferencias estadísticas entre estaciones (**Tabla 36**). En las mediciones en el laboratorio, el diámetro del filamento varió entre 1,10 y 1,50 cm en otoño y entre 0,93 y 1,50 cm en primavera (**Figura 76B**) y no se observaron diferencias significativas entre sitios ni entre estaciones (**Tabla 36**).

5.7.3. Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento de pelillo varió entre 1,6 y 3,6 % día^{-1} en otoño y entre 5,5 y 6,4 % día^{-1} en primavera (**Figura 77**). Durante otoño, el pelillo proveniente de Amortajado mostró las tasas de crecimiento más bajas en comparación a Pudeto y Putemún. Durante primavera, no se observaron diferencias significativas en la tasa de crecimiento entre sitios de origen del pelillo. Las tasas de crecimiento de pelillo evaluado en primavera fueron significativamente mayores que lo observado en otoño para los tres sitios (**Tabla 36**).

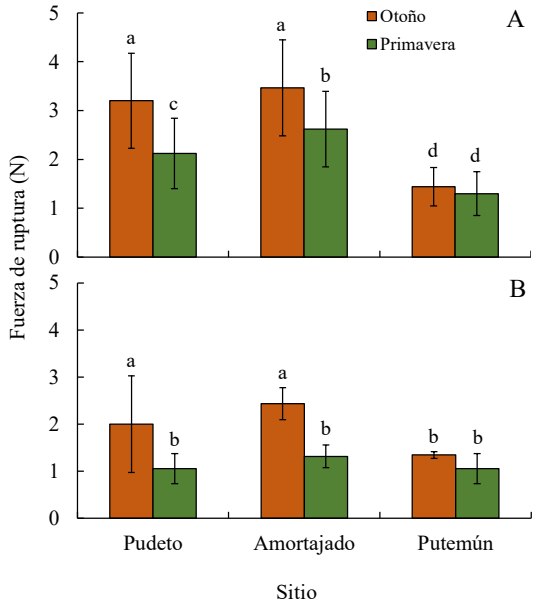

Figura 75. Fuerza de ruptura (N) para *G. chilensis* proveniente de Pudeto, Amortajado y Putemún. La fuerza de ruptura fue determinada en (A) individuos in situ (n = 30) y en (B) individuos cultivados en laboratorio (n = 4). Letras minúsculas sobre las barras indican subgrupos (a > b > c) determinados por la prueba de Tukey (P < 0,05).

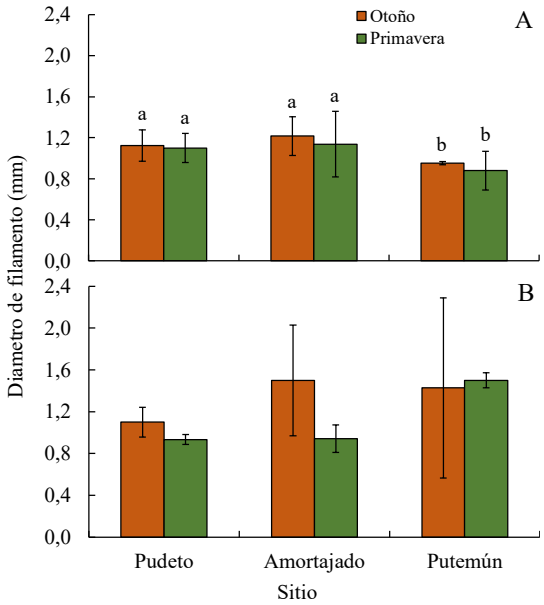

Figura 76. Diámetro (cm) de filamento usado para determinar la fuerza de ruptura en *G. chilensis* proveniente de Pudeto, Amortajado y Putemún. El diámetro fue determinado en (A) individuos in situ (n = 30) y en (B) individuos cultivados en laboratorio (n = 4). Letras minúsculas sobre las barras indican subgrupos (a > b > c > d) determinados por la prueba de Tukey (*P* < 0,05).

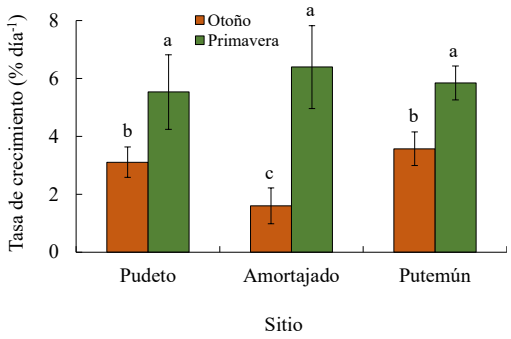

Figura 77. Tasa de crecimiento (% día^{-1}) de *G. chilensis* proveniente de Pudeto, Amortajado y Putemún, cultivada en laboratorio por 15 días (n = 4). Letras minúsculas sobre las barras indican subgrupos (a > b > c) determinados por la prueba de Tukey (P < 0,05).

Tabla 36.
Resultados de significancia de ANOVA de dos vías para la fuerza de ruptura (terreno y laboratorio), diámetro de filamento (terreno y laboratorio) y tasa de crecimiento de *G. chilensis* proveniente de Pudeto, Amortajado y Putemún.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	*F*	*P*
Fuerza de ruptura (terreno)	Estación	1	3579,756	3579,756	31,237	< 0,001
	Sitio	2	235354,358	117677,179	100,49	< 0,001
	Estación × Sitio	2	9460,836	4730,418	4,04	0,019
	Residual	174	203759,050	1171,029		
	Total	179	485154,000	2710,358		
Fuerza de ruptura (laboratorio)	Estación	1	7523,556	7523,556	25,432	< 0,001
	Sitio	2	3612,771	1806,385	6,106	0,004
	Estación × Sitio	2	317,965	158,983	0,537	0,587
	Residual	66	19524,708	295,829		
	Total	71	30979,000	436,324		
Diámetro de filamento (terreno)	Estación	1	364500,000	364500,000	779,306	< 0,001
	Sitio	2	28848,225	14424,113	30,839	< 0,001
	Estación × Sitio	2	1357,808	678,904	1,452	0,237
	Residual	174	81383,967	467,724		
	Total	179	476090,000	2659,721		
Diámetro de filamento (laboratorio)	Estación	1	5,704	5,704	1191,499	< 0,001
	Sitio	2	0,519	0,26	54,21	< 0,001
	Estación × Sitio	2	0,338	0,169	35,27	< 0,001
	Residual	18	0,086	0,00479		
	Total	23	6,647	0,289		
Tasa de crecimiento	Estación	1	60,020	60,020	71,448	< 0,001
	Sitio	2	2,006	1,003	1,194	0,326
	Estación × Sitio	2	7,937	3,968	4,724	0,022
	Residual	18	15,121	0,84		
	Total	23	85,083	3,699		

Objetivo específico 4: *Evaluar interacciones ambientales de la acuicultura de pequeña escala.*

5.8. Monitoreo del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas

5.8.1. Movimiento de agua

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 Chalihué (Isla Lemuy) mostró una velocidad promedio entre 5 – 6 cm s^{-1}, mientras que en Molulco (Estero Compu) mostró ~ 5 cm s^{-1}. Lingue y La estancia (Sector de Rilán) mostraron una velocidad promedio entre y 4 – 5 cm s^{-1}.

5.8.2. Sustratos

El sustrato biogénico estuvo compuesto por individuos de *M. chilensis*, *A. atra* y *C. chorus*, los cuales formaron parches de tamaño variable (decenas de metros), o bien, conglomerados de menor tamaño (centímetros) dominados mayoritariamente por *A. atra* y *M. chilensis*. El mayor % de cobertura de mitílidos fue consistentemente registrado en sitios de cultivo de macro-escala en la península de Rilán (**Figura 78**), mientras que la menor, en los sitios de meso-escala que corresponden a cultivos ubicados en Molulco (estero Compu, Chiloé) y Chalihué (isla Puqueldón, Chiloé). Otros sustratos biogénicos de menor cobertura fueron *Ostrea chilensis* y la lapa *Crepipatella* sp. Por su parte, alrededor del 68 % del sustrato no biogénico del total de sitios estuvo compuesto por fondo blando (arena, y sedimentos), el cual correspondió al 71% del fondo en los sitios de referencia (e.g., **Figura 79**), mientras que ~22% fue sustrato mixto (i.e., restos calcáreos de bivalvos, gastrópodos, guijarros y arena).

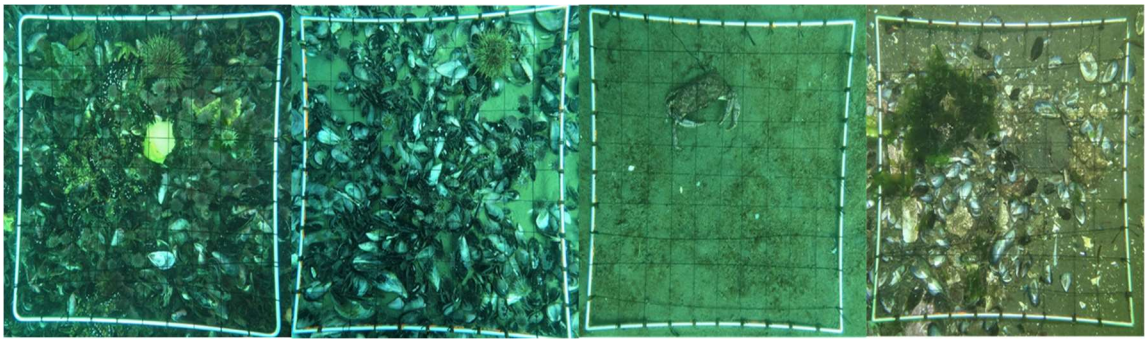

Figura 78. Foto-cuadrantes bajo cultivo APE de mitílidos en bahía Hueihue, Chiloé (Fotos 1 y 2, izquierda a derecha), y foto-cuadrantes en sitios de referencia en Hueihue y Chalihué (Fotos 3 y 4). La alta resolución de las fotografías permite la identificación precisa de gran número de invertebrados, estimación del porcentaje de sustrato presente (Fondo blando, rocoso, mixto o "conchilla") y bivalvos vivos formadores de hábitat (Banco emergente) o muertos, que junto a restos calcáreos de otras especies forman acumulaciones de "Conchilla". Se observa el efecto estructurador contrastante de los mitílidos vivos bajo los cultivos y la ausencia de este efecto en sitios de referencia aledaños (Fotografías: Luis Henríquez-Antipa).

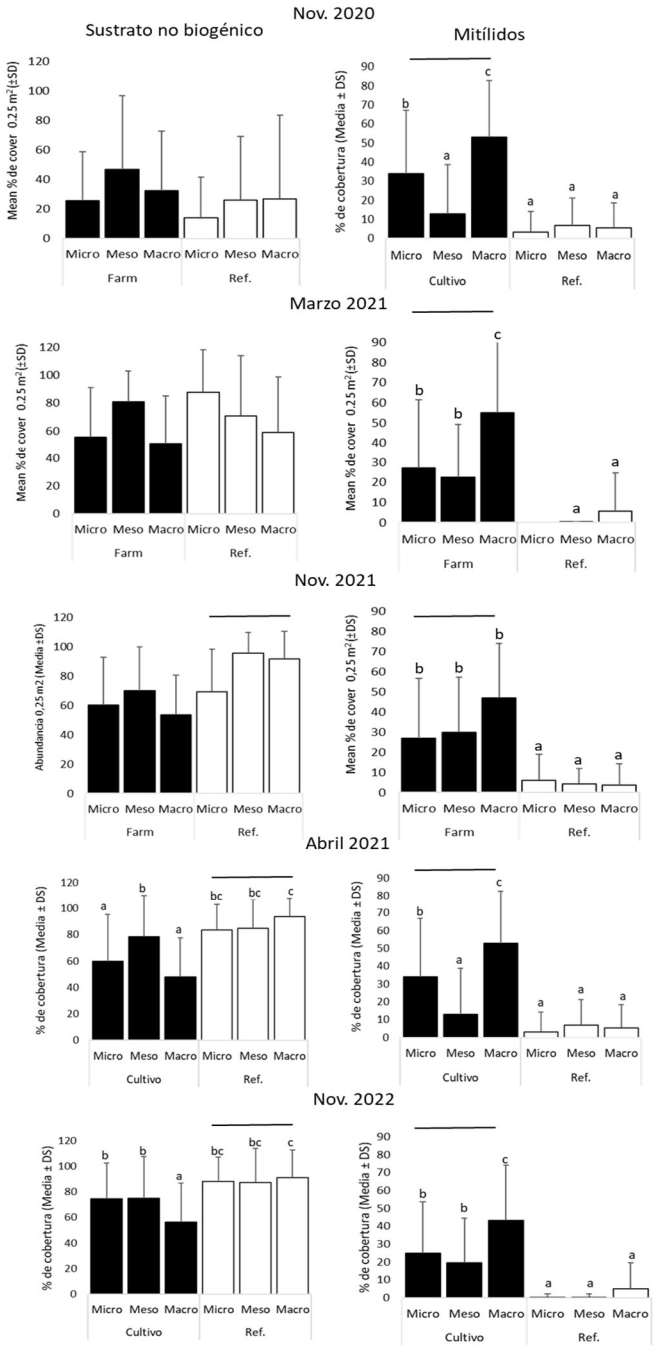

Figura 79. Porcentaje de cobertura del sustrato no biogénico y biogénico (i.e., Mitílidos) bajo cultivos y sitios de referencia en cinco campañas: primavera del 2020, otoño y primavera 2021 y 2022. Las barras (---) indican diferencias significativas de la varianza total entre cultivo y referencia ($p < 0,05$). Letras muestran diferencias en la cobertura promedio de mitílidos entre sitios (HSD Tukey).

5.8.3. Análisis Multivariado

5.8.3.1. Estructura comunitaria

Invertebrados móviles

La evaluación del efecto del cultivo de mitílidos sobre el hábitat bentónico se caracterizó por amplias variaciones en el ensamble de especies entre sitios de estudio. Estas variaciones son el resultado del diverso y complejo gradiente comunitario/ambiental observado en hábitats de bahías (Hueihue), esteros (Compu), canales (Quihua), islas (Puqueldón) y costas peninsulares (Rilán), donde se estimó el efecto de la acuicultura de *M. chilensis*. La separación de los distintos ensambles de especies entre sitios de estudio (i.e., seis sitios bajo cultivos y seis sitios de referencia), se pueden observar en la Ordenación de Componentes Principales (PCO) de la **Figura 80**, la cual incluye todos los datos ecológicos obtenidos durante las cinco campañas de muestreo. La **Figura 80A** muestra de forma simple el grado de separación (Disimilaridad) de la composición del ensamble de especies en cada muestra que cohabita con el banco y/o agregación de mitílidos bajo cada cultivo y sus respectivos sitios de referencia. Cada sitio de cultivo mostró distintos niveles de disimilaridad respecto de su sitio de referencia evidenciado gráficamente por la dispersión de muestras de cada sitio de muestreo. Por ejemplo, los triángulos azules y verdes en el gráfico (sitios de Cultivo y referencia en el canal Quihua, Calbuco) evidencian una mayor similitud entre ellos que los mismos sitios en la Bahía de Hueihue (Círculos en **Figura 80A**), los cuales muestran una separación más significativa. Esto evidencia que el efecto de un cultivo sobre la comunidad bentónica fue dependiente de las condiciones predominantes en el hábitat donde éste se desarrolla. Esta tendencia se puede observar con el resto de los sitios (dispersión de símbolos). Por lo tanto, al comparar las estructuras comunitarias de todos los sitios de cultivo con los sitios de referencia (**Figura 80B**) no existió diferencia estadística entre estructuras comunitarias (**Tabla 37**). Por el contrario, al agrupar las comunidades por sus diferentes escalas de cultivo (**Figura 80C**) se evidenciaron patrones significativos (**Tabla 37**). La comparación de la disimilaridad media entre escalas de cultivo indicó que, en promedio, la mayor disimilaridad multivariada se encontró entre las comunidades bajo cultivos de macro-escala y su ambiente de referencia (Media multivariada = 35,5) seguido por meso-escalas (Media multivariada = 20,9), contrastando con la respuesta en hábitats bajo cultivos de micro-escala (Media multivariada = 8,8). Este análisis ubicó a la mayor diferencia de estructuras comunitarias bajo cultivos de escala media (~800 ton año) y gran escala (1.800 toneladas año). Esto refleja el efecto del cultivo de mitílidos en la estructura de las comunidades, sugiriendo un gradiente asociado al volumen de cultivo. La comunidad de organismos sésiles/ coloniales mostró una tendencia similar (**Figura 81A, B** y **C**), y aunque la dispersión de muestras sugiere que la comunidad presentó menores valores de disimilaridad con respecto a sus sitios de referencia, también existieron diferencias significativas entre estructuras comunitarias al comparar efectos de las escalas de producción (**Tabla 37**). Las amplias variaciones ambientales entre sitios se evidencian por la baja porción de la variación total explicada por los dos primeros ejes de los modelos multivariados descritos en las **Figuras 80** y **81** (i.e., PCO = 27%. Stress en MDS = 0,14). Sin embargo, el análisis más detallado de los componentes de las comunidades

evaluadas y las variables físico-químicas de cada sitio, permite confirmar la premisa que indica el modelo multivariado.

El análisis del porcentaje de similaridad, el cual permite identificar aquellas especies más importantes en la creación de los patrones de disimilaridad (o similaridad) observados, indicó tendencias consistentes durante las campañas de muestreo. En sitios de cultivo de meso y macro-escala, así como, en sus respectivos sitios de referencia dominó el camarón omnívoro-carroñero *Munida gregaria* y el erizo omnívoro *Arbacia dufresnii,* los cuales, contribuyeron con más del 87% de la abundancia total durante el período de estudio (Tablas 2 y 3, **Anexo 2**). Además, *M. gregaria* y *A. dufresnii* también aparecen como parte importante del ensamble en sitios de cultivo de micro-escala contribuyendo con un 32,2 y un 11% a la abundancia total, respectivamente, junto a *Pseudechinus magellanicus* (23,6%) y la anémona circumboreal *Metridium senile* (17%) constituyeron el 84% de la abundancia total en estos sitios durante el período de estudio. En sitios de referencia de micro-escala, el ensamble de especies mostró un mayor número de especies con contribuciones significativas (la estrella de mar *Ganeria flaklandica* con 18,7%; el briozoo *Bugula flabellata* con 7,81%; la anémona *Anthothoe chilensis* con 5,13%; y el erizo rojo *Loxechinus albus* con 3,8%), aunque *M. gregaria* y *A. dufresnii* también dominaron con abundancias significativas (20% 14,7%, respectivamente).
Por su parte, el ensamble de organismos sésiles/ coloniales estuvo significativamente dominado por macroalgas. En los sitios de micro-escala como en sus sitios de referencia, *Ulva* spp. alcanzó poco más del 43% de la abundancia total de organismos sésiles durante todo el período de estudio. Además, en sitios de micro-escala, esponjas marinas como *Micale doellojuradoi* y Porifera spp. (especie no identificada) fueron contribuyentes importantes a la abundancia total con el 30,5 % del periodo 2020-2022. En el ensamble de referencia, *M. pyrifera* contribuyó con un 25% y las esponjas *Halichondria prostata*, *M. doellojuradoi*, *Leucatis nuda* y Porifera spp. con 14,7%. En contraste, el ensamble en sitios de cultivo de mayor escala estuvo casi totalmente dominado por *Ulva* spp., la cual alcanzó el 94 % de la abundancia total del período en sitios de cultivo de meso-escala, aunque alcanzó un 76% de contribución en los respectivos sitios de referencia junto a *M. pyrifera* (14%). En sitios de cultivo de macro-escala, dos especies de esponjas (*H. prostata* y Porifera spp.) contribuyeron con un 44 % y *Ulva* spp. alcanzó un 27%, *M. pyrifera* contribuyó con un 14% y las algas crustosas rosadas con un 8 % del total. En los respectivos sitios de referencia el ensamble de especies estuvo dominado en un 51% por algas crustosas rosadas y *Ulva* spp. (35,2%). Los valores acumulados del período completo aparecen resumidos en la **Tabla 38** (Para ver la información en detalle ver Tablas 4, 5 y 6 del **Anexo 2**).

Tabla 37.

Resumen estadístico del análisis de ANOVA permutacional (PERMANOVA) de la comunidad de invertebrados móviles y sésiles entre sitios de cultivo y de referencia (Condición) y el efecto de la escala de cultivo: micro, meso o macro-escala (Escala (Condición)).

Fuente de variación	g.l.	Pseudo-F	*p*	g.l.	Pseudo-F	*p*
Condición	1	1,49	0,13	1	0,80	0.59
Escala (Condición)	4	14,6	**<0.01**	4	9,75	**<0.01**

Tabla 38.

Resumen del análisis de porcentajes de contribución de cada especie a la de similaridad/disimilaridad observada entre muestras. Se indica el % de contribución a la similaridad/disimilaridad total en sitios de cultivo y referencia de diferente escala y el % de contribución acumulado a la comunidad completa durante las cinco campañas del período de muestreo 2020-2022 (para detalles, ver Tablas SIMPER en **Anexo 2**).

Grupo	Móviles/ indiv.	Contribución (%)	Acumulado (%)	Sésiles/ coloniales	Contribución (%)	Acumulado (%)
Cultivo micro-escala (Quihua y Hueihue)	*M. gregaria*	32.2		*Ulva* spp.	43,6	
	P. magellanicus	23.58		Porifera sp.	23,17	
	Metridium senile	17,02		*M. pyrifera*	8,37	
	A. dufresnii	11,41	84.2	M. doellojuradoi	7,31	82,45
Ref. micro-escala (Quihua y Hueihue)	*M. gregaria*	20.3		*Ulva* spp.	43.49	
	Ganeria flaklandica	18,7		*M. pyrifera*	25,11	
	A. dufresnii	14.76		Halichondria prostata	8,01	
	Bugula flabellata	7,81		M. doellojuradoi	2,69	
	P. magellanicus	7,01		*Leucatis nuda*	2,82	82,12
	Anthothoe chilensis	5,13				
	L. albus	3,8	77,51			
Cultivo Meso-escala (Molulco y Chalihué)	*A. dufresnii*	42,63		*Ulva* spp.	94,39	94,39
	M. gregaria	44,62	87,25			
Ref. Meso-escala (Molulco y Chalihué)	*A. dufresnii*	49,46		*Ulva* spp.	72,42	
	M. gregaria	35,3		*M. pyrifera*	14	86,42
	Nassarius gayii	5,12	89,88			
Cultivo Macro-escala (Lingue y La Estancia)	*A. dufresnii*	42,63		*H. prostata*	33,6	
	M. gregaria	44,62	87,25	*Ulva* spp.	27,25	
				Porifera sp.	10,5	
				Algas Crustosas Rosadas	7,98	
				M. pyrifera	6,34	85,67
Ref. Macro-escala (Lingue y La Estancia)	*A. dufresnii*	73,33		Algas Crustosas Rosadas	51,08	
	M. gregaria	16,84	90,17	*Ulva* spp.	35,26	86,34

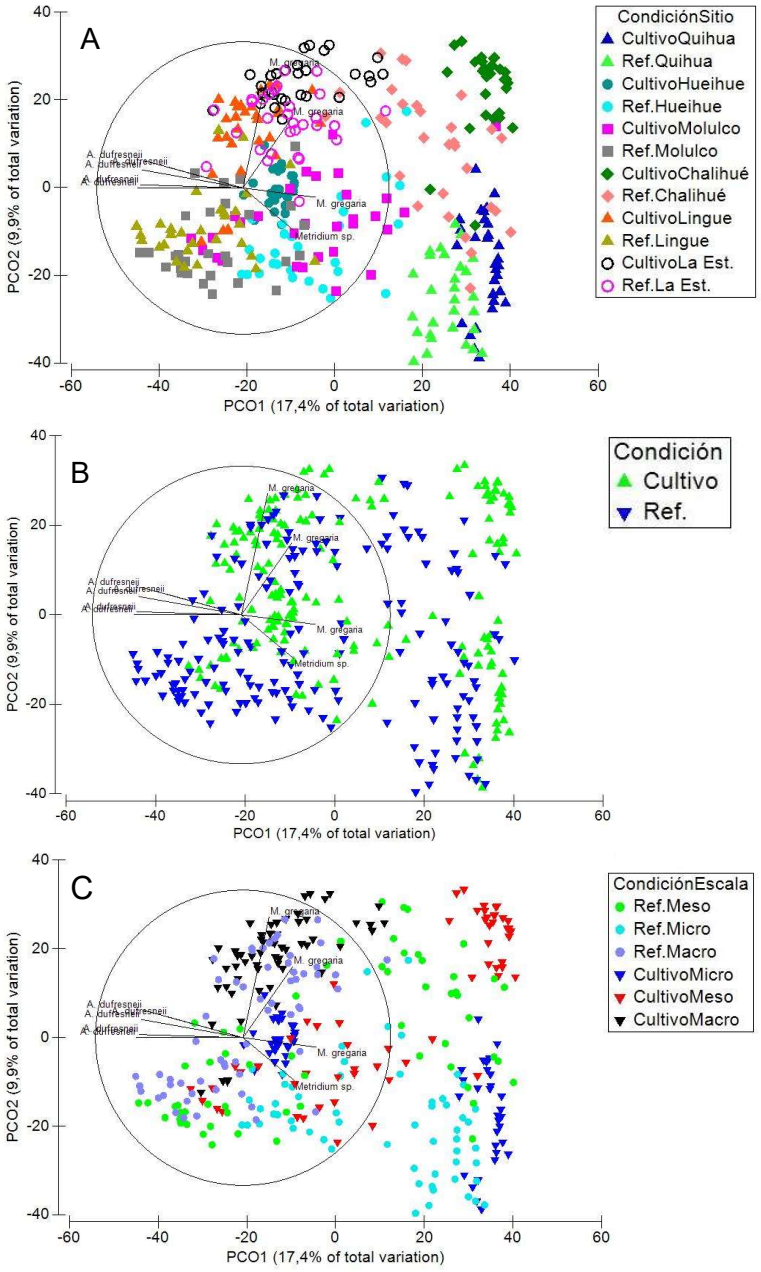

Figura 80. Ordenación de Componentes Principales (PCO) de muestras comunitarias de invertebrados móviles del período 2020-2022 bajo cultivos de mitílidos de distinta escala (micro, meso y macroescala) y su comunidad de referencia. Los grupos de símbolos representan las muestras comunitarias agrupadas según su Condición (= cultivo o referencia) y localidad (A), Condición (B) y según su Escala y condición de Cultivo o Referencia (C). Los vectores indican correlaciones de Spearman (r = 0,45) de las especies que explican mejor la ordenación de la estructura comunitaria. El círculo indica una correlación r = 1.

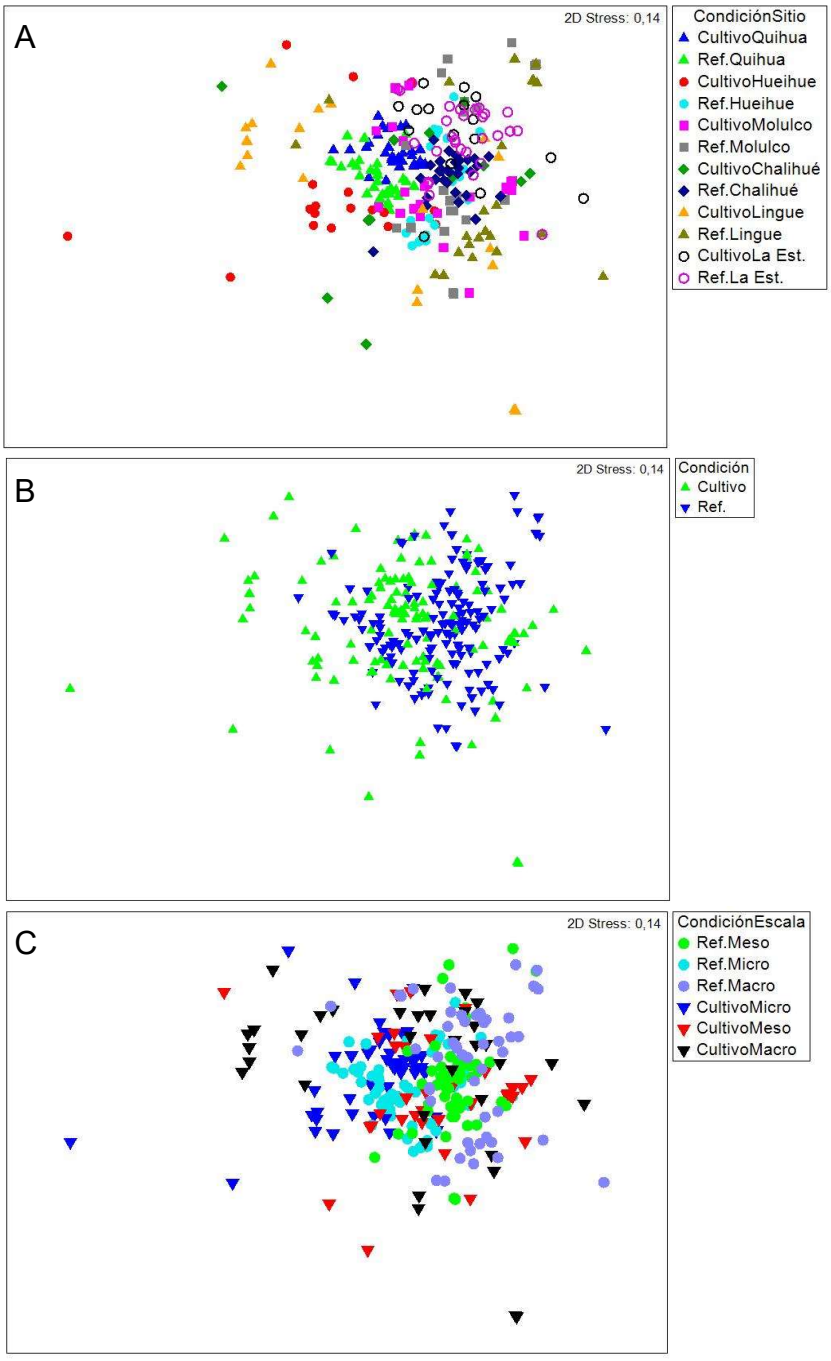

Figura 81. Gráfico del escalamiento multidimensional (nMDS) de las muestras comunitarias de invertebrados sésiles/ coloniales del período 2020-2022 bajo cultivos de mitílidos de distinta escala (micro, meso y macroescala) y su comunidad de referencia. Los grupos de símbolos representan las muestras comunitarias agrupadas según su Condición (= cultivo o referencia) y localidad (A), sólo Condición (B), y según su Escala y Condición (Cultivo o Referencia) (C).

5.8.4. Análisis univariado

5.8.4.1. Diversidad

Considerando los datos acumulados durante el período de estudio completo, tanto la riqueza como la uniformidad total de especies mostraron diferencias dependientes de la escala de cultivo (**Tabla 39**), donde los posibles efectos de cada escala de cultivo son contrastados con la de sus sitios de referencia. De acuerdo a esto, la riqueza, en todos los casos, fue significativamente mayor en los sitios de cultivo de pequeña escala comparado con sus hábitats de referencia (**Figura 82**). El análisis *a posteriori* de los datos agrupados según el factor Condición (i.e., Cultivo o referencia) × Escala (Micro, Meso o Macro), reveló que el número de especies promedio en sitios de cultivo de micro-escala fue al menos un 30 % mayor (Media = 5.8 ± 2,8 especies 0,25 m^2) que sus sitios de referencia (Media = 3.8 ± 2,8 especies 0,25 m^2), mientras que bajo cultivos de meso y macro-escala no existieron diferencias concluyentes comparadas con sus comunidades de referencia (**Figura 82**). De manera similar, la uniformidad o igualdad numérica de la comunidad (dónde J´ = 1.0, mismo número de individuos de cada especie en cada muestra) también mostró valores ~ 25 % más altos en sitios de cultivo de micro-escala (**Figura 82**, panel derecho). Esto implica, por ejemplo, que en tales sitios las especies poseen una densidad de especies similar dentro de la comunidad. Por el contrario, índices de uniformidad más bajos corresponderían a sitios en donde las condiciones del hábitat son propicias para la aglomeración de invertebrados como erizos, estrellas de mar, jaibas y cangrejos, etc., algunos de los cuales pueden ser indicadores de efectos asociados a la escala de cultivo. La uniformidad de las comunidades estudiadas osciló entre 0,5 - 0.66 (J´ Pielou's) y aunque ésta en promedio fue ligeramente más alta en todos los sitios de cultivo, no existió diferencia estadística que evidencie un efecto generalizado de la condición de cultivo sobre la uniformidad, exceptuando a los sitios de micro-escala. Los análisis detallados de riqueza y uniformidad entre sitios de cultivo y referencia por escalas de cada campaña de muestreo se pueden consultar en la Tabla 7 y Figura 1 del **Anexo 2**.

Tabla 39.
Resumen estadístico del análisis de ANOVA de la Riqueza (N° de especies) y la Uniformidad (abundancia relativa por especie) de invertebrados móviles y sésiles entre sitios de cultivo y de referencia (Condición) y el efecto de la escala de cultivo, micro, meso o macro-escala (Escala (Condición)).

		Riqueza			**J´ Pielou's Uniformidad**	
Condición (Cultivo vs. referencia)	1	1,15	0,34	1	4,77	0,09
Escala (Condición)	4	37,8	**<0,01**	4	8,63	**<0,01**

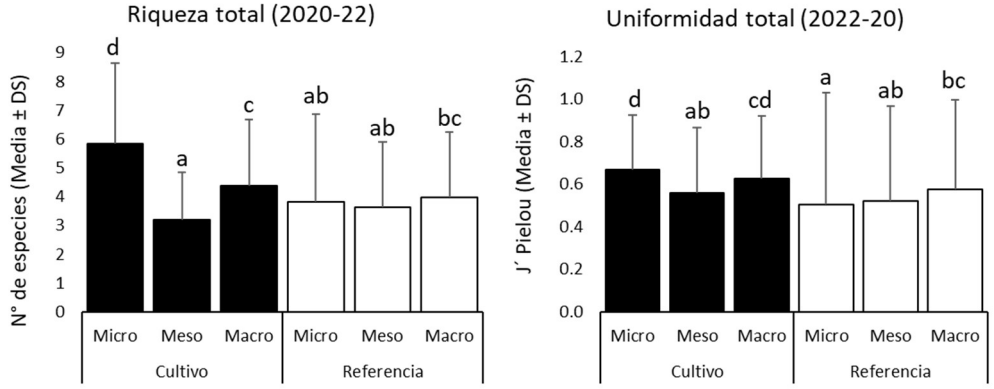

Figura 82. Riqueza (Panel Izquierdo) y uniformidad (Panel Derecho) promedio de especies (± DS) bajo sitios de acuicultura de micro, meso y macro escala y respectivos sitios de referencia durante el período 2020-2022. Letras indican diferencias entre las medias de sitios para cada escala de cultivo y referencia (HSD Tukey).

5.8.4.2. Abundancia de grupos funcionales de la megafauna epibentónica

El efecto de la función y la abundancia particular de una especie en un sitio dado puede influenciar como opera un ecosistema a nivel local (e.g, bosques de algas pardas, bancos de mitílidos), por esto, diferencias relativas entre grupos de especies con funciones específicas pueden revelar aspectos clave del funcionamiento del hábitat en que existen.

El número de diferentes funciones de los organismos dentro de una comunidad (Riqueza funcional, RF) mostró ser significativamente mayor bajo condiciones de cultivo en tres de las campañas de muestreo (**Figura 83**, fila superior). En términos generales, la comunidad bajo los cultivos mostró un ensamble con un promedio de alrededor de 4 funciones ecológicas, frente a un promedio de alrededor de 2 – 3 funciones en sitios de referencia. Sin embargo, en todos los casos, tales diferencias estuvieron moduladas por la escala del cultivo (**Tabla 40**, Factor: Escala (Condición)). El análisis *a posteriori*, evidenció, que existió una mayor RF bajo cultivos de micro-escala. En estos casos se registró un promedio de alrededor de dos funciones más en las comunidades de APE comparado con cultivos de mayor volumen y sitios de referencia (**Figura 83**). Excepcionalmente, existieron hasta 2 funciones más en las comunidades bajo cultivos de macro-escala en noviembre del 2021 comparado con sus sitios de referencia, aunque en general, los sitios de meso y macro-escala mostraron valores de RF estadísticamente similares a la de sus respectivos sitios de referencia.

Tabla 40.
Resumen análisis de ANOVA anidado (Escala (Condición)) del número de grupos funcionales (riqueza de función trófica) entre comunidades de megafauna epibentónica en tres escalas de cultivo de mitílidos y sus sitios de referencia.

		Riqueza Funcional		
	Fuente de variación	**g.l.**	**F**	***p***
Nov. 2020	Condición	1	7,68	**<0,01**
	Escala (Condición)	4	5,56	**<0,01**
Marzo 2021	Condición	1	16,17	**<0,01**
	Escala (Condición)	4	8,26	**<0,01**
Nov. 2021	Condición	1	4,98	**0,02**
	Escala (Condición)	4	16,88	**<0,01**
Abril 2022	Condición	1	1,25	0,32
	Escala (Condición)	4	17,23	**<0,01**
Nov. 2022	Condición	1	0,44	0,54
	Escala (Condición)	4	12,2	**<0,01**

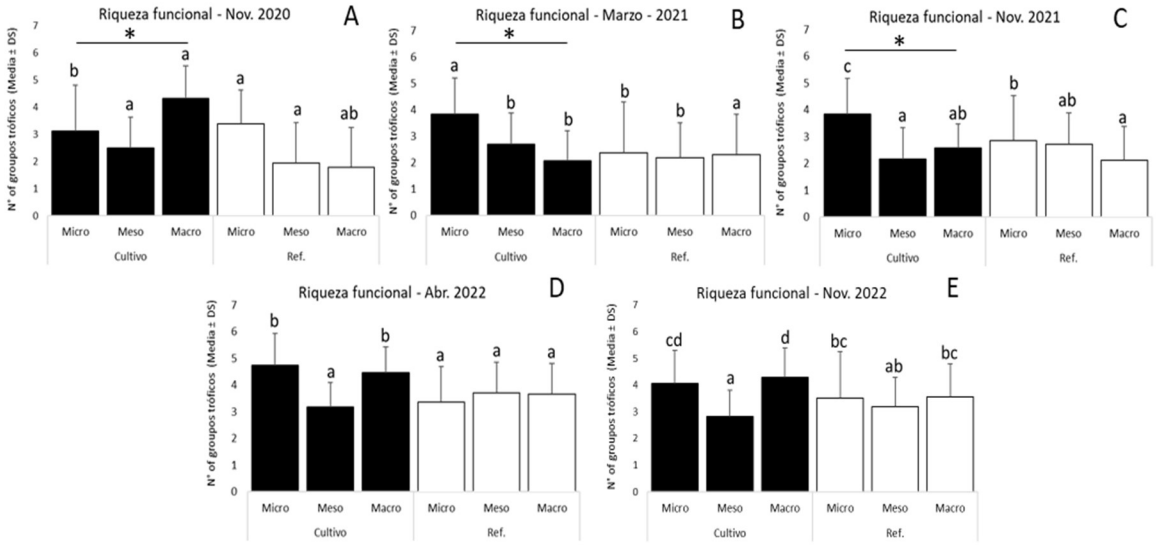

Figura 83. Número de funciones tróficas (Riqueza funcional) promedio (± DS) bajo mitiliculturas de micro, meso y macro escala y sitios de referencia. (*) indica diferencias significativas totales entre el grupo cultivo y referencia. Letras minúsculas indican diferencias entre las medias de cada escala de cultivo y sus sitios de referencia (HSD Tukey).

5.8.4.3. Abundancia funcional

El efecto de la presencia de cultivos de mitílidos sobre la abundancia relativa de las especies de un mismo grupo funcional considerando el período de estudio completo se muestra en la **Figura 84**. Del total de 103 especies identificadas, ocho grupos tróficos fueron determinados (detalles de asociación trófica y análisis de contenido estomacal ver **Sección 5.11.1.**). Todos los grupos de especies mostraron efectos significativos de la escala de cultivo (Factor: Escala (Condición), **Tabla 41**). Echinoideos (*A. dufresnii P. magellanicus* y *L. albus*), carnívoros misceláneos, suspensívoros, y macroalgas presentaron abundancias significativamente mayores bajo cultivos de micro-escala (**Figura 84A, D, F, H**). En el caso de los erizos (Echinoideos), el resultado estuvo fuertemente afectado por aglomeraciones de erizos en sitios de APE con un promedio de hasta 24 (DS ± 32) individuos de *P. magellanicus,* A*rbacia dufresnii* y/ o *L. albus* en 0,25 m^2. Esta abundancia contrastó con la de sitios de referencia, en donde el promedio alcanzó cuatro erizos (DS ± 4,12) en 0,25 m^2. De forma similar, la alta abundancia de carnívoros misceláneos estuvo modulada localmente por la anémona invasiva *M. senile* asociada a la comunidad bajo el cultivo. Por otro lado, la abundancia de suspensívoros/ filtradores (en su mayoría poríferos) reflejó la tendencia de la biodiversidad local, ya que la alta abundancia en sitios de APE fue análoga en los sitios de referencia de micro-escala (~17 – 20% de cobertura 0,25 m^2). El grupo de macroalgas (principalmente *Ulva* spp. y *M.s pyrifera*) también estuvo asociada a sitios de APE, sin embargo, en promedio estos hábitats se encuentran entre ≤12 m, lo cual puede favorecer la abundancia de productores primarios si se compara con la profundidad máxima en otros sitios de estudio (≥10 m). Los detritívoros (**Figura 84E**), principalmente, promovidos por carroñeros como el cangrejo *M. gregaria*, y el gastrópodo *Nassarius gayi* mostraron abundancias significativas y consistentemente más altas en hábitats de cultivo con un promedio de 4 detritívoros en 0,25 m^2, mientras que el sitio de referencia que más se acercó mostró un promedio no mayor a 3,5 (DS ± 7,8) detritívoros en 0,25 m^2 (Sitio Molulco, meso-escala). Las jaibas de hábitos omnívoros con tendencia a la carnivoría, particularmente (**Figura 84B**), *Metacarcinus edwardsii (Jaiba peluda), Cancer plebejus (Jaiba reina), Taliepus dentatus* (Panchote) *Eurypodius latreilllei (Araña de mar),* mostraron una tendencia general a concentrarse en sitios de cultivo de meso y macro-escala, superando en la mayoría de los casos, las abundancias observadas en sitios de referencia (ver Figura 3, **Anexo 2**). En términos totales el promedio de jaibas depredadoras, fue de 0,6 (DS ± 0,9) jaibas en 0,25 m^2 (i.e., ~2,4 jaibas en 1 m^2) mientras que en sitios de referencia éstas no superaron una jaiba en 1 m^2. Considerando las grandes variaciones registradas en terreno, los sitios de meso-escala, mostraron consistentemente la mayor abundancia de especies de jaibas depredadoras. Los moluscos carnívoros (gastrópodos volútidos y murícidos como *Adelomellon ancilla*, *Trophon plicatus*, *Chorus giganteus,* y nudibranquios como: *Gargamela immacuata, Phidiana lottini* y *Archiodoris fontaini*) fueron el grupo que mostró menos efectos asociados a condiciones de cultivo (Tabla 8, **Anexo 2**), sin embargo, estas especies mostraron baja abundancia en todos los sitios y durante todo el período de estudio (**Figura 84C**). Las diferencias estadísticas estuvieron dadas por máximos de abundancia en sitios de cultivo y referencia de meso-escala durante noviembre del 2021 (Figura 3 y Tabla 7, **Anexo 2**). Por su parte, los herbívoros ramoneadores (e.g., *Tegula atra*, *Fissurella* spp.) mostraron no más de un individuo promedio en 0,25 m^2, sin diferencias notables en términos generales entre sitios de cultivo y referencia (**Figura 84**), salvo aumentos excepcionales en sitios de meso-escala debido a

aglomeraciones puntuales de individuos en abril y noviembre del 2022 asociado a posturas de ovicápsulas.

Finalmente, el análisis PCO del ensamble total de invertebrados móviles del período 2020-2022 muestra una clara tendencia de asociación, primero, de echinoideos (**Figura 85A**) con la mayoría de las abundancias asociadas a sitios de meso y macro-escala, mientras que los carnívoros misceláneos aparecen mayormente asociados a muestras provenientes de sitios de referencia y de micro-escala. Además, para apreciar mejor el efecto de los cultivos sobre otros grupos funcionales, los datos de erizos fueron removidos del análisis (**Figura 85B**), mostrando la tendencia de asociación de detritívoros a sitios de cultivo de meso y macro-escala durante todos los períodos de estudio. El mismo análisis en invertebrados sésiles y coloniales muestra la tendencia de asociación de macroalgas y suspensívoros particularmente con sitios referencia.

Tabla 41.
Resumen análisis de ANOVA anidado (Escala (Condición)) de la abundancia de grupos funcionales entre comunidades de megafauna epibentónica en tres escalas de cultivo de mitílidos y sus sitios de referencia.

Grupos funcionales		**g.l.**	**F**	***p***
Echinoidea	Condición	1	0,7	0,43
	Escala (Condición)	4	104	<0,01
Jaibas depredadoras	Condición	1	2,29	0,2
	Escala (Condición)	4	20	<0,01
Moluscos Carnívoros	Condición	1	0,41	0,55
	Escala (Condición)	4	7,39	<0,01
Carnívoros misceláneos	Condición	1	0,61	0,07
	Escala (Condición)	4	91,6	<0,01
Detritívoros	Condición	1	8,74	0,04
	Escala (Condición)	4	7,63	<0,01
Suspensívoros	Condición	1	0,45	0,53
	Escala (Condición)	4	64,1	<0,01
Herbívoros	Condición	1	0,54	0,5
	Escala (Condición)	4	11,5	<0,01

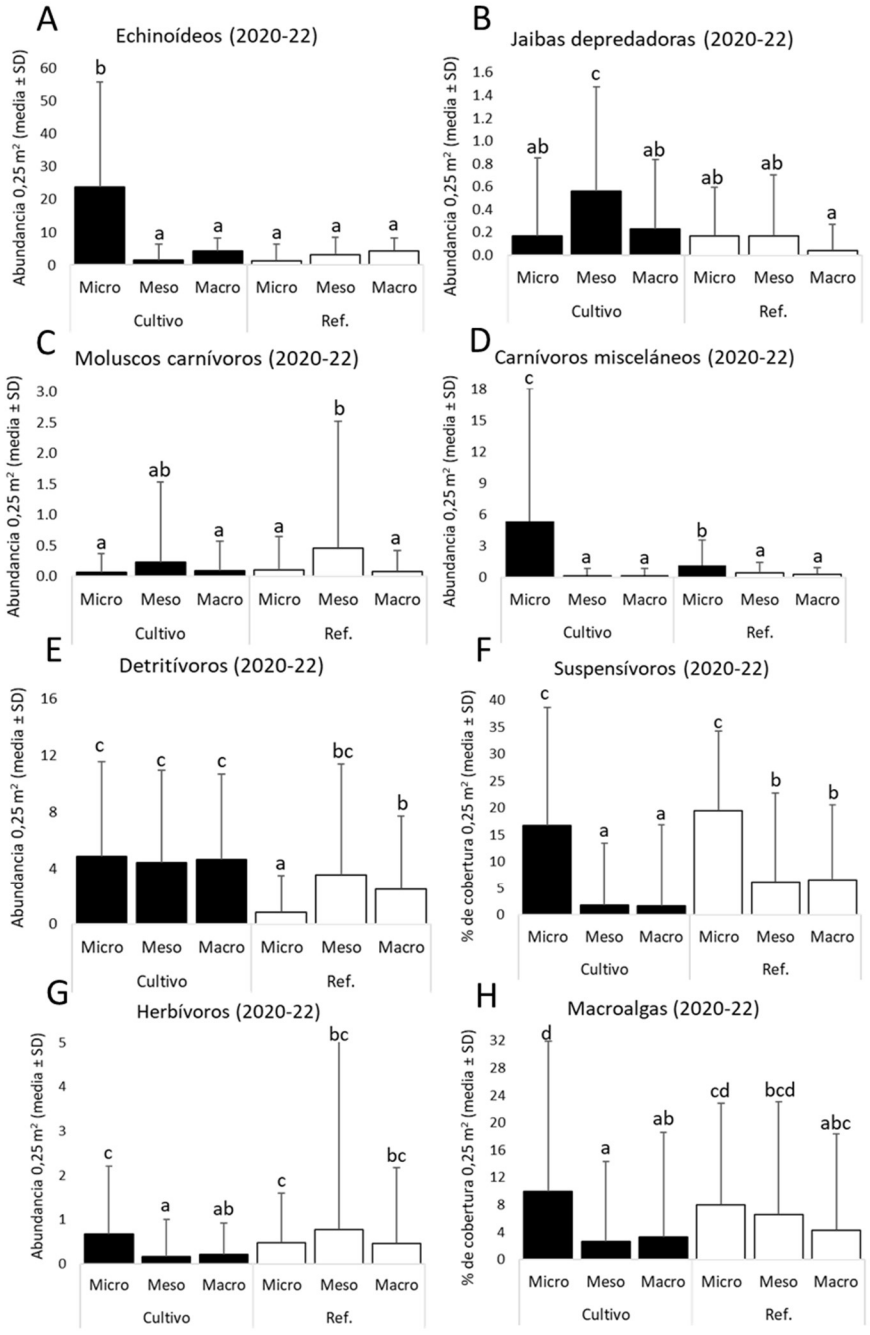

Figura 84. Abundancia total promedio (±DS) de grupos funcionales durante las campañas 2020-2022 en sitios de cultivo de micro, meso y macro escala (N muestreal = 300) y sus respectivos sitios de referencia. Letras minúsculas indican diferencias significativas de las medias entre sitios de cultivo de diferentes escala y sitios de referencia (HSD Tukey).

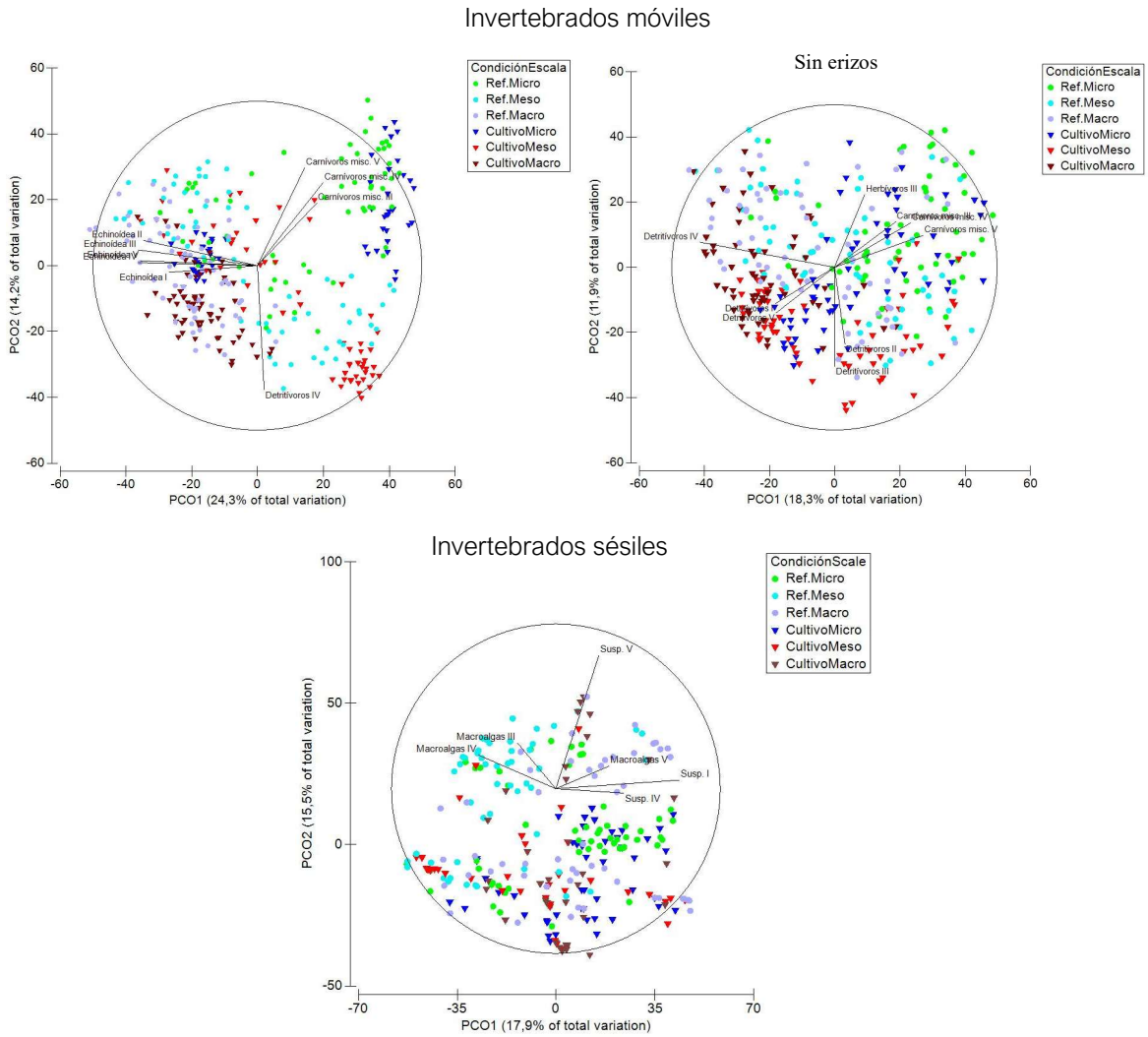

Figura 85. Ordenación de Componentes Principales (PCO) de la estructura comunitaria de grupos funcionales de invertebrados móviles (Fila superior) y sésiles (Fila inferior) del período 2020-2022 bajo cultivos de mitílidos de distinta escala (micro, meso y macro-escala) y sitios de referencia. Los grupos de símbolos separan las muestras comunitarias según su Condición (cultivo o referencia). Los vectores de especies separados por campaña de muestreo (I, II, III, IV o V) indican correlaciones de Spearman (r = 0,5) con los grupos que explican mejor la ordenación de la estructura comunitaria. El círculo indica una correlación r = 1.

5.8.5. Parámetros químicos del sedimento

El porcentaje de contenido de materia orgánica total (**Figura 86**) en los sedimentos de los sitios de estudio, mostró efectos significativos del cultivo de meso y macro-escala (**Tabla 42**). En promedio, los sitios de micro-escala y de referencia no superaron un promedio de 5% de materia orgánica, mientras que se observó un gradiente de enriquecimiento orgánico al aumentar la escala de cultivo (**Figura 86**), en donde cultivos de meso-escala mostraron valores promedio entre 5 y 8% y de macro-escala, valores entre 7 y 13%. Excepcionalmente existió un alza significativa en un sitio de referencia de meso-escala, el cual alcanzó un promedio de 15,2 % (DS ± 27) en noviembre del 2022.
El comportamiento de las variables físico-químicas adicionales que explican el estado ecológico del sedimento como Redox, Sulfuro y pH se muestran en la **Figura 87**. El parámetro que mostró mayores diferencias fue el potencial Redox, el cual, evidenció efectos significativos del cultivo y las escalas de producción similares a la observada para materia orgánica total (**Tabla 42**). Los valores promedio en sitios de referencia estuvieron entre ~200 – 350 mV, lo cual indica sedimentos oxigenados, característicos de comunidades no perturbadas (i.e., > 100 mV = estado aceptable, según normativa chilena). Bajo sitios de cultivo, valores cercanos a sitios de referencia fueron observados particularmente en los sitios de micro-escala. Promedios ~50 mV, en sitios de meso y macro-escala (y alcanzando valores negativos en algunas muestras) indicaron sedimentos en estado de transición (hipoxia leve – ligeramente perturbados) evidenciando el efecto del volumen productivo sobre el bentos.

Tabla 42.
Resumen análisis de ANOVA anidado (Escala (Condición)) del porcentaje de materia orgánica total del sedimento en mitiliculturas de micro, meso y macro-escala y sitios de referencia.

		Materia Orgánica		
	Fuente de variación	g.l.	F	*p*
Nov. 2020	Condición	1	3,94	0,19
	Escala (Condición)	4	3,69	0,01
Marzo 2021	Condición	1	1,79	0,25
	Escala (Condición)	4	12,7	<0,01
Nov. 2021	Condición	1	1,95	0,23
	Escala (Condición)	4	4,88	<0,01
Abril 2022	Condición	1	1,54	0,28
	Escala (Condición)	4	9,48	<0,01
Nov. 2022	Condición	1	0,96	0,38
	Escala (Condición)	4	3	0,026

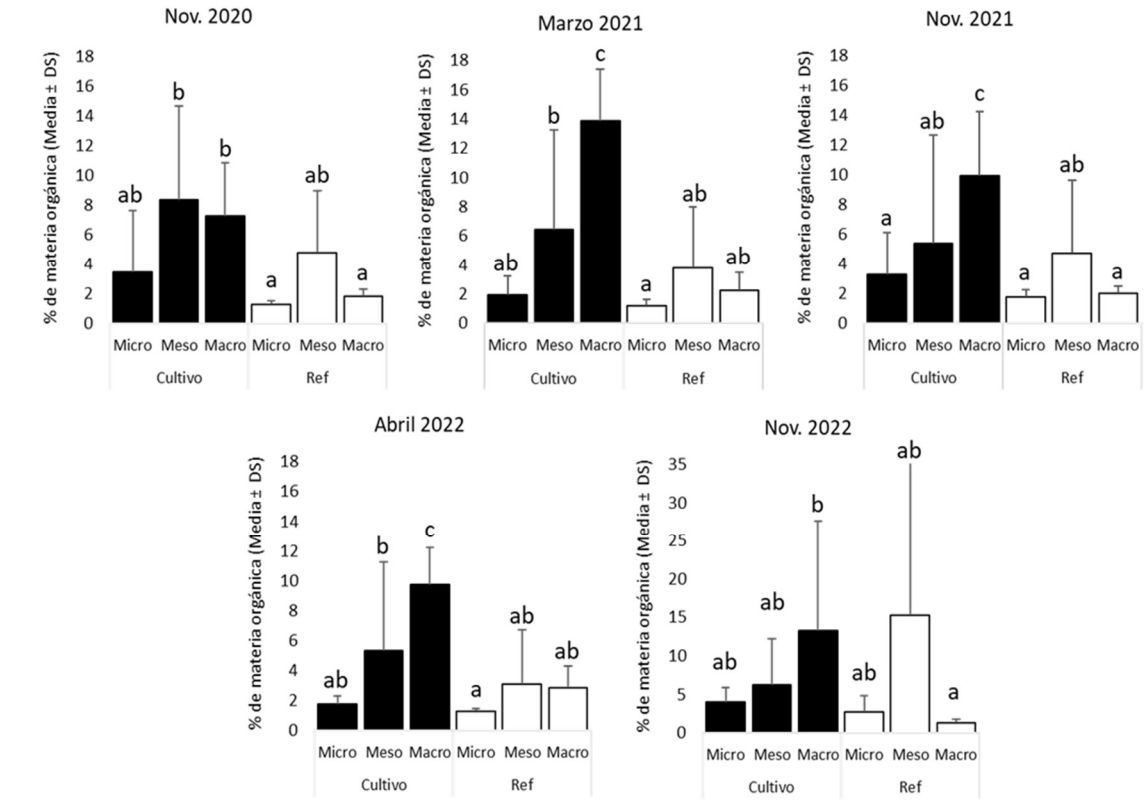

Figura 86. Porcentaje de materia orgánica total (MOT) promedio (± DS) bajo cultivos de mitílidos de diferente escala y en respectivos sitios de referencia. Campañas noviembre 2020-noviembre del 2022. Letras muestran diferencias significativas entre medias (HSD Tukey).

A pesar de mostrar una marcada tendencia a obtener concentraciones más altas bajo cultivos, los sulfuros, con máximos ~ 1400 µM (cultivos) y ~ 200 – 300 µM (referencias) todos los sitios permanecieron dentro de rangos aceptables (< 1500 µM S^{-2}) hasta noviembre del 2022 donde los valores en cultivo de macro-escala sobrepasaron rangos de aceptabilidad. En el resto de los casos no existió diferencias significativas entre sitios de cultivo y sus respectivas referencias (**Tabla 43**). El pH tampoco varió significativamente (**Tabla 43**) con niveles promedio, generalmente, aceptables (i.e., -Log $_H$ > 7,5). Sitios de macro-escala mostraron valores < 7,5, lo que indica sedimentos en estado de transición. En general el pH no fue menor a 7, que indica el límite para sedimentos impactados negativamente. Para referencias sobre niveles de aceptabilidad ambiental de todos los parámetros ver "Estudio del desempeño ambiental de la acuicultura en Chile y su efecto en los ecosistemas de emplazamiento" (IFOP, agosto 2021).

Tabla 43.
Resumen análisis de ANOVA anidado (Escala (Condición)) para Redox, Sulfuros totales y pH del sedimento en mitiliculturas de micro, meso y macro-escala y sitios de referencia, período noviembre 2021-noviembre 2022.

		Nov. 2021			Abr. 2022			Nov. 2022		
		g.l.	F	*p*	g.l.	F	*p*	g.l.	F	*p*
Redox	Condición	1	21,25	**<0,01**	1	**4,23**	**0,048**	**1**		
	Escala (Condición)	4	8,9	**<0,01**	4	**4,25**	**<0,01**	**4**		
Sulfuros	Condición	1	2,5	0,12	1	1,65	0,2	1	0,5	0,51
	Escala (Condición)	4	1,8	1,7	4	2,99	**0,03**	4	3,18	**0,03**
pH	Condición	1	0,15	0,69	1	1,44	0,23	1		
	Escala (Condición)	4	3,55	**0,09**	4	4,59	**<0,01**	4		

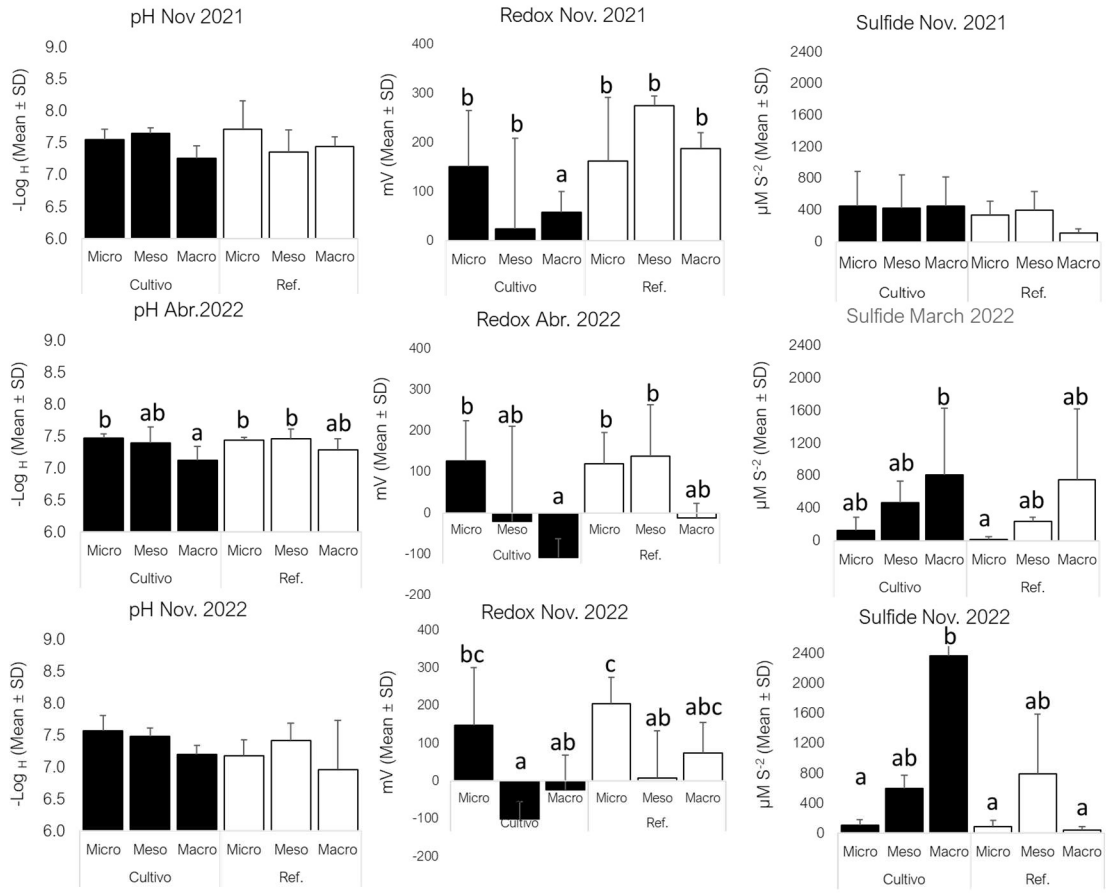

Figura 87. Potencial Redox (mV), Sulfuros (µm) y pH promedio (± DS) del sedimento en sitios de cultivo y referencia, entre noviembre 2021, abril y noviembre 2022. Letras muestran diferencias entre medias (HSD Tukey).

Finalmente, el análisis de Modelamiento Lineal Basado en Distancia (DISTLM) y un modelo de redundancia basado en la distancia multivariada (dbRDA), describe los patrones comunitarios de los grupos funcionales en todas las campañas de muestreo usando los parámetros físico-químicos del sedimento (**Figura 88**). Los resultados mostraron que tanto jaibas depredadoras como los detritívoros en prácticamente todas las campañas mostraron correlaciones significativas ($p < 0,05$) con los patrones físico-químicos particularmente de sitios de meso y macro-escala (Pearson $p \leq 0,5$). Aunque las asociaciones multivariadas en el modelo explican una porción pequeña de la variación total observada (25 %), el modelo captura los patrones observados con análisis univariado de los factores físico-químicos.

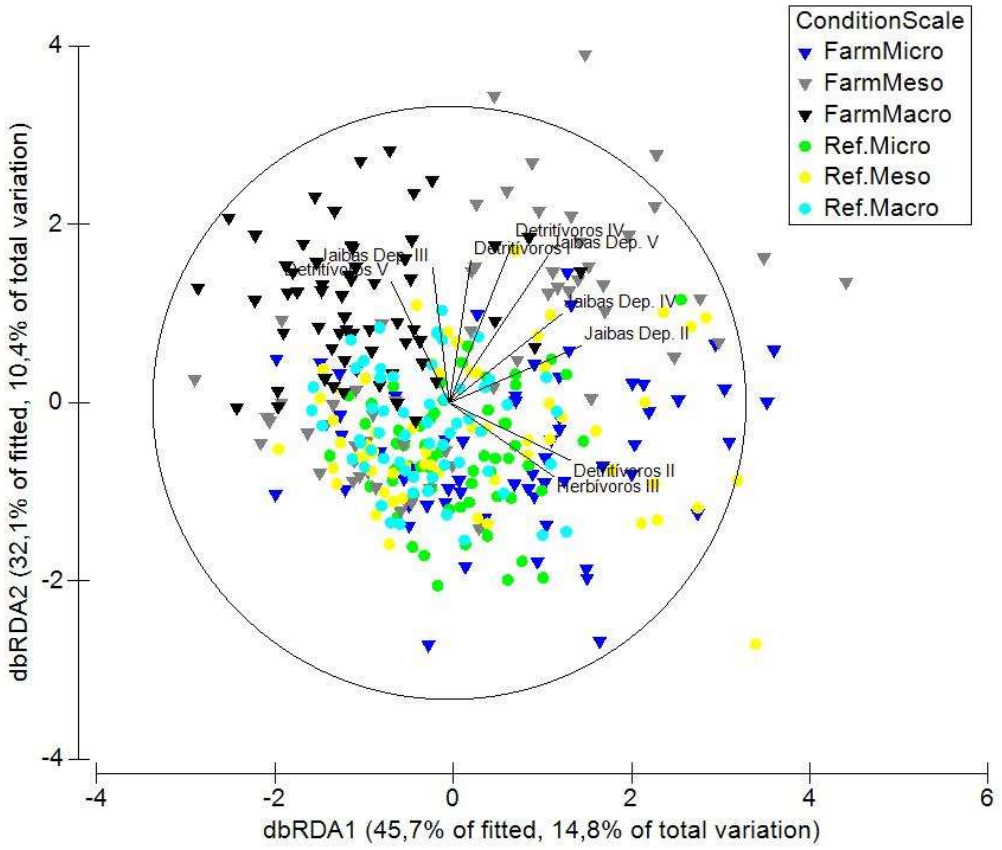

Figura 88. Análisis de redundancia basado en distancia multivariada (dbRDA) entre grupos funcionales móviles de epifauna bentónica en sitios de micro, meso y macro-escala de acuicultura de mitílidos y parámetros físico-químicos del fondo durante todo el período de estudio (Número romanos correlativos indican las diferentes campañas). Vectores indican una correlación de Pearson ($r \leq 0,5$). El círculo indica una correlación $r = 1$.

5.8.6. Infauna

La estructura comunitaria de la Infauna bajo cultivo de mitílidos se diferenció de la de sitios de referencia (**Figura 89**, panel derecho). Sin embargo, las diferencias fueron promovidas por efectos sitio-específicos de la escala de cultivo (**Figura 89**, panel izquierdo). Esta tendencia fue consistente en todas las temporadas (**Tabla 44**). Además, existió gran variación comunitaria intra-escala de cultivo, lo cual se evidencia en los modelos de ordenación de componentes principales (**Figura 89A, B** y **C**), los cuáles explicaron sólo el 23%, 35 % y 30 % de la variabilidad total, respectivamente. El análisis de similaridad indicó que, en promedio, la comunidad en sitios de micro y meso-escala fue más parecida entre sí, lo que sugiere efectos más pronunciados sobre la comunidad en sitios sometidos a cultivos de macro-escala. Las especies que explicaron mejor la estructura comunitaria entre sitios de cultivo y referencia en noviembre del 2021 (*Spearman*, r > 0,5), fueron oligoquetos de la familia Tubiphicidae asociados a sitios de micro y meso-escala, así como, juveniles (< 1mm) de *Semimytilus algosus, A. atra y M. chilensis* (**Figura 89A**), asociados a sitios de cultivo. En marzo del 2021 similarmente, juveniles de *M. chilensis* (~ 1mm) aparecieron frecuentemente asociados a las comunidades de sitios bajo los cultivos de todas las escalas, pero incluyendo el sitio de referencia de esta última (**Figura 89B**). En noviembre del 2021 las especies más conspicuas entre sitios de cultivo fueron los poliquetos *Paradoneis lyra* y A*glaophamus peruana*, ambos asociados a cultivod de meso y macro-escala. Los sitios de referencia aparecen asociados a poliquetos como *Polygordius* sp., capitélidos del orden Maldanidae, *Lumbrineris* sp. y poliquetos del orden Syllidae (**Figura 89C**).

Tabla 44.
Resumen análisis de ANOVA permutacional de las comunidades de infauna bajo cultivos y sus sitios de referencia bajo tres escalas de cultivo

	Fuente de variación	g.l.	F	*p*
Nov. 2020	Condición	1	7	**<0.01**
	Escala (Condición)	4	2.76	**<0.01**
Marzo 2021	Condición	1	8.5	**<0.01**
	Escala (Condición)	4	2.9	**<0.01**
Nov. 2021	Condición	1	2.6	**<0.01**
	Escala (Condición)	4	1.55	**0.01**

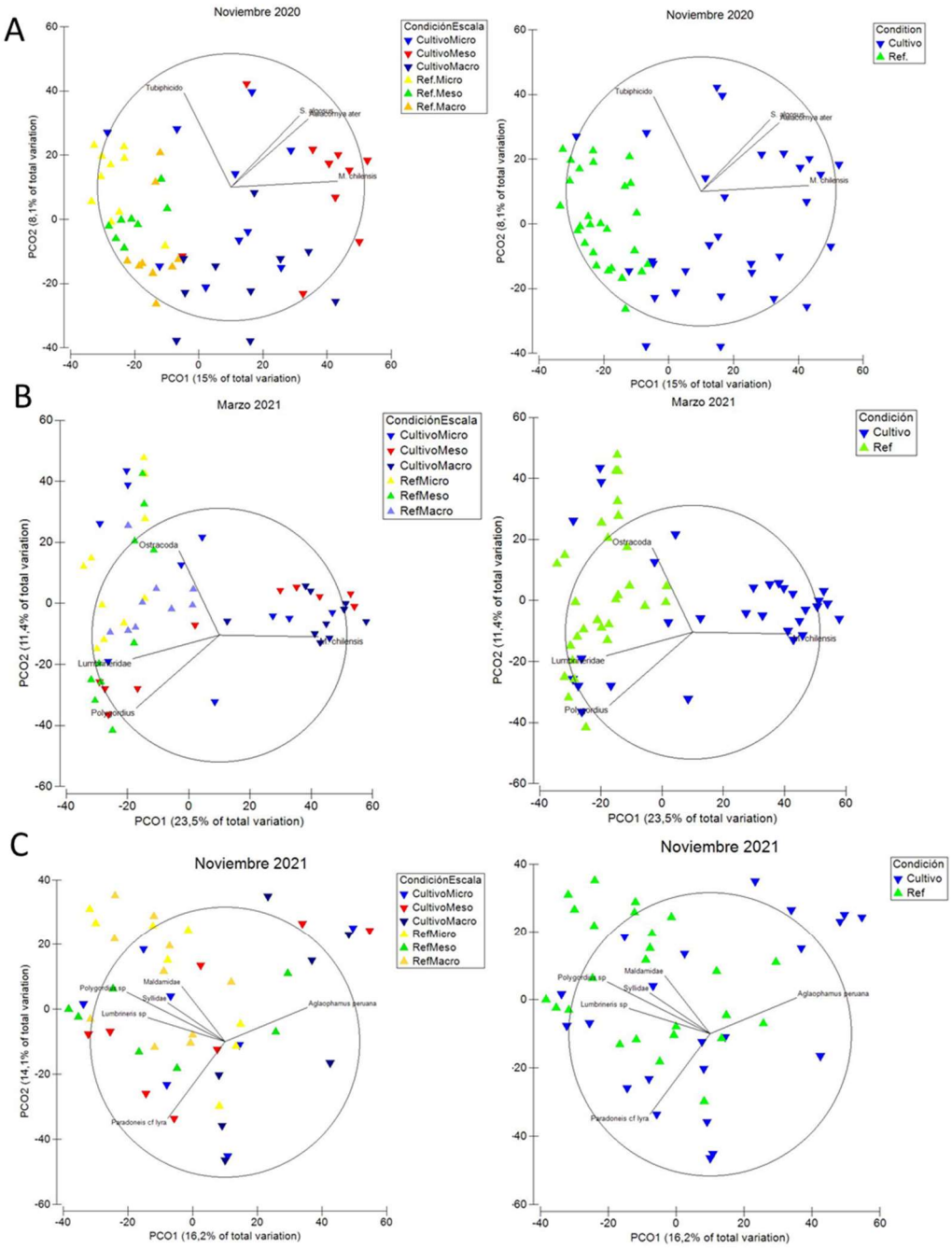

Figura 89. Ordenación de Componentes Principales (PCO) de la comunidad de infauna en sitios de cultivo de mitílidos de micro, meso y macro-escala. (A) nov. 2020, (B) marzo 2021 (C) nov. 2021. Panel izquierdo indica variaciones entre escalas, el panel derecho, el efecto total del cultivo de mitílidos. Vectores indican una correlación de Spearman (r = 0,5) con la abundancia de especies que explican mejor la ordenación espacial de datos. El círculo indica una correlación r = 1.

5.8.6.1. Diversidad infauna

El número de especies (Riqueza) mostró diferencias estacionales, alcanzando valores máximos en noviembre del 2020, donde los sitios de referencia mostraron un número significativamente mayor de especies (**Tabla 45**). De acuerdo a esto, la riqueza de especies en los sitios de cultivo de macro y meso-escala fue en promedio ~40% menor que los sitios de referencia correspondientes (HDS Tukey, Factor Condición×Escala). Entre las escalas de cultivo, micro-escala mostró la mayor riqueza (**Figura 90A**, panel izquierdo). En marzo del 2021, no hubo diferencias significativas en la riqueza de especies, mientras que, en noviembre del 2021, ésta fue significativamente menor en todos los sitios de cultivo (**Tabla 45, Figura 90C**). Además, no se detectó efectos significativos sobre la equitatividad o proporción de individuos de cada especie (J Pielou's) en cada temporada (**Tabla 45**).

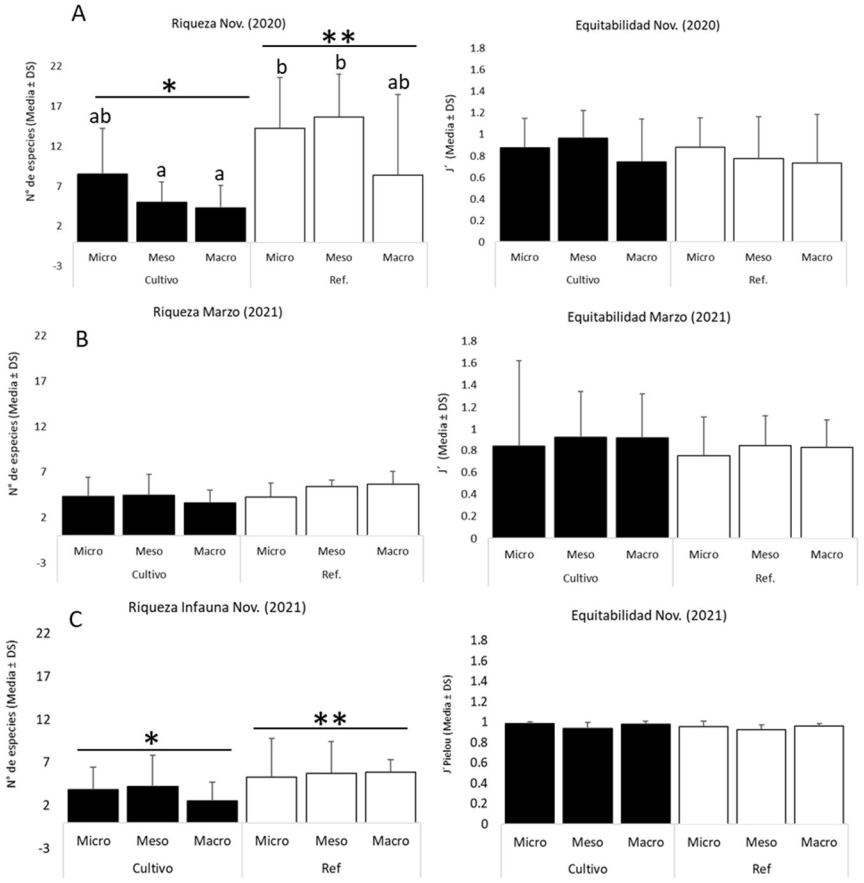

Figura 90. Indicadores de diversidad de comunidades de infauna bajo mitiliculturas de micro, meso y macro-escala y sitios de referencia. (*) indican efectos significativos sobre el número de especies (izquierda) y Equitatividad (derecha) entre los sitios de cultivo y referencia. Letras minúsculas indican diferencias significativas promedio (HSD Tukey) de las escalas de cultivo entre sitios de cultivo y referencia.

Tabla 45.
Resumen análisis de ANOVA anidado sobre la riqueza (N° de especies) y equitatividad (J Pielou's) entre comunidades de infauna en tres escalas de cultivo de mitílidos y sus sitios de referencia.

		Riqueza			Equitatividad (J Pielou's)		
	Fuente de variación	g.l.	F	*p*	g.l.	F	*p*
Nov. 2020	Condición	1	18.24	**<0.01**	1	0.01	0,9
	Escala (Condición)	4	2.5	**0.04**	4	1.3	0.09
Marzo 2021	Condición	1	2.7	0.07	1	2.5	0.1
	Escala (Condición)	4	1.1	0,33	4	0.3	0.8
Nov. 2021	Condición	1	4.42	**0.04**	1	2.8	0.1
	Escala (Condición)	4	1.32	0.27	4	0.04	0.9

5.9. Caracterización de juveniles de invertebrados epibentónicos en bancos emergentes de APE

El objetivo de este estudio fue comparar la estructura de tallas de organismos epibentónicos, entre la comunidad de banco emergente bajo un cultivo APE en Bahía Hueihue y sitios de referencia. La lista completa de especies registradas tanto en los sitios de cultivo como de referencia se muestra en la **Tabla 46**.

La comunidad del banco emergente estuvo caracterizada por una marcada dominancia de bivalvos filtradores facilitadores de hábitat (**Figura 91A**), principalmente *Aulacomya atra*, tres especies de erizos omnívoros con tendencia a la herbivoría (i.e., *Loxechinus albus*, *Arbacia dufresnii* y *Pseudechinus magellanicus*) y suspensívoros generalistas como el holotúrido *Heterocucumis godeffroyi*. Entre otros grupos representativos que sólo fueron observados bajo el cultivo estuvieron crustáceos omnívoros con tendencia a la carnivoría (León & Stotz 2004) como *Halicarcinus edwardsii* (Jaiba marmola) y *Munida gregaria* como el carroñero más abundante.

Lo sitios de referencia, correspondieron principalmente a hábitats monótonos de fondo bando, de baja estructuración biogénica y con baja abundancia de especies estructuradoras de hábitat (**Figura 91B**). Los invertebrados presentaron menores abundancias, en donde, aglomeraciones de macroalgas, principalmente *Ulva* spp., mostraron capacidad de proveer refugio transitorio para herbívoros locales como *Fisurrella* sp., y carroñeros detritívoros (*M. gregaria*, *Nassarius gayii*), estadios tempranos de decápodos y peces crípticos (*Leptonotus blainvilleanus*, *Helcogrammoides cunninghami*).

La mayoría de las especies presentes mostró una abundancia relativamente baja para la realización de histogramas de frecuencias. De acuerdo a esto, los resultados ilustran la estructura de talla (mm) y/o tamaño (g peso húmedo) de las nueve especies más abundantes en las comunidades bajo estudio.

Tabla 46.
Grupos funcionales de especies presentes en bancos emergentes de sitios APE y sitios de referencia.

Sitio Cultivo	Grupo funcional	Especies
Móviles	Echinoideos	*Arbacia dufresnii, Loxechinus albus, Pseudechinus magellanicus*
	Decápodos depredadores	*Halicarcinus edwarsii, Peltarion spinulosum, Munida gregaria*
	Carnívoros misceláneos	*Anasterias antartica, Comasterias lurida, Meyenaster gelatinosus, Anthothoe chilensis, Nereidae, Nemertinos*
	Moluscos carnívoros	*Anisodoris fontaini, Nassarius gayii*
	Detritívoros/ carroñeros	*Heterocucumis godeffroyi*
	Herbívoros	*Crepipatella sp., Fisurella spp., Tegula atra, Chiton sp.*
	Peces crípticos pequeños	*Leptonotus blainvilleanus, Blennius sordidus*
Sésiles	Bivalvos filtradores	*Aulacomya atra, Mytilus chilensis, Chorus chorus, Crassostrea gigas*
	Porífera	*N/I*
	Macroalgas	*Ulva* spp., *Macrocystis pyrifera,* Rhodophyta
Sitio Referencia		
Móviles	Echinoideos	*Arbacia dufresnii, Loxechinus albus, Pseudechinus magellanicus*
	Decápodos depredadores	*Halicarcinus edwardsii, Pisoides edwardsii, Munida gregaria*
	Carnívoros misceláneos	*Meyenaster gelatinosus, Anasterias antartica, Enteroctopus megalocyathus, Polichaeta*
	Detritívoros/ carroñeros	*Munida gregaria, Nassarius gayii, Urechis chilensis,*
	Peces crípticos pequeños	*Leptonotus blainvilleanus*
	Herbívoros	*Fisurella sp.*
Sésiles	Bivalvos filtradores	*Aulacomya atra, Venus antiqua*
	Macroalgas	*Ulva spp.*

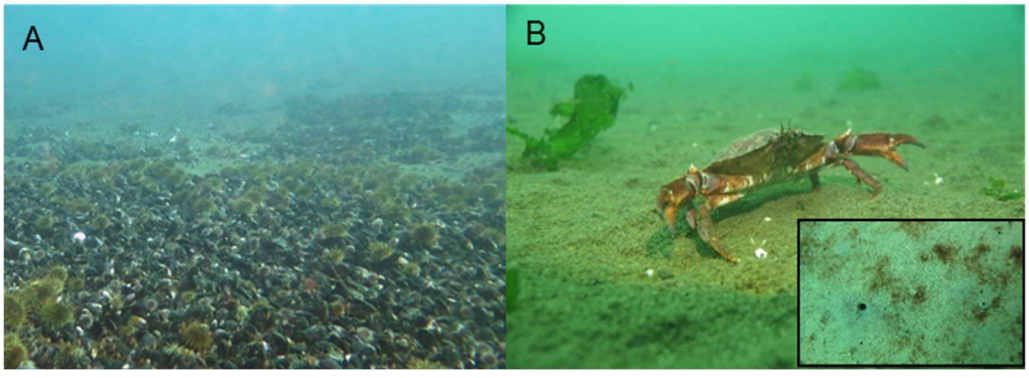

Figura 91. Borde exterior y matriz biogénica de bivalvos de un banco emergente bajo un cultivo APE (A) en Bahía Hueihue. (B) *Cancer plebejus* (Jaiba reina) en un hábitat de fondo blando de baja estructuración biogénica en sitio de referencia aledaño al cultivo (~200 m).

5.9.1. Estructura de tallas

Los organismos con mayor abundancia en todos los sitios correspondieron a erizos y bivalvos. Sin embargo, los erizos mostraron una abundancia, cuatro veces mayor en el hábitat emergente, mientras que los bivalvos fueron al menos cinco veces mayores que en sitios de referencia. La comunidad de erizos dentro del banco emergente tiende a mostrar rangos mínimos y máximos más amplios que en sitios de referencia (**Figura 92**). Los individuos juveniles de *L. albus, A. dufresnii* y *P. magellanicus*, alcanzaron un tamaño mínimo de ~10, 8 y 1.5 mm y máximos de alrededor de 90, 74 y 25.5 mm, respectivamente (**Figura 92**). Mientras que en sitios de referencia las tallas mínimas alcanzaron alrededor de 30, 21 y 2.5 mm y máximos de ~84, 39.1 y 21.5 mm respectivamente (**Figura 92**).

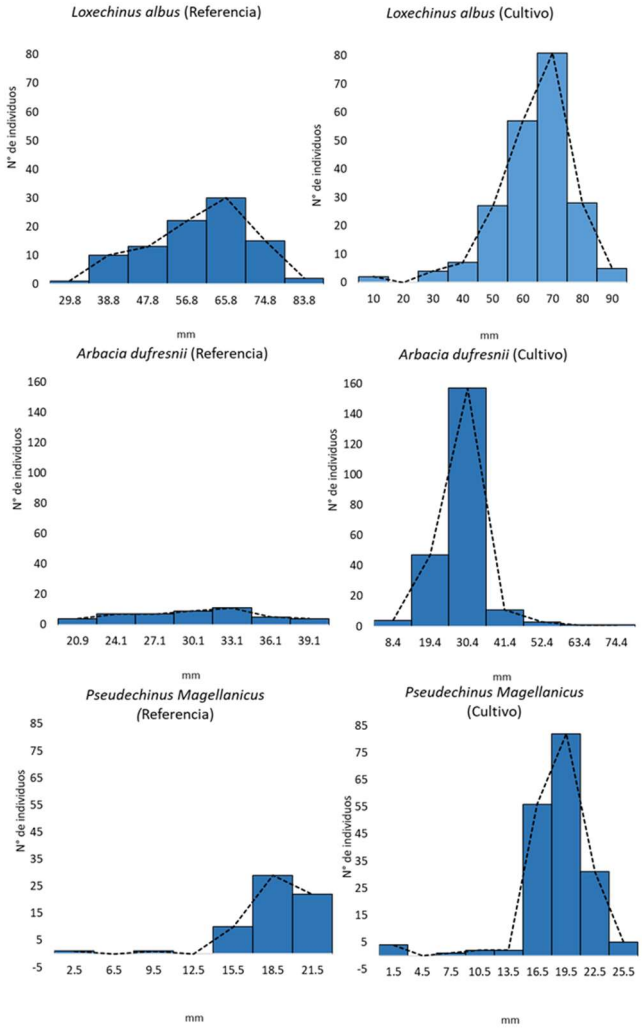

Figura 92. Frecuencia de tallas (mm) de los erizos *L. albus*, *A. dufresnii* y *P. magellanicus* en sitios de referencia (izquierda) y banco emergente de APE (derecha).

El estructurador principal del banco emergente fue el bivalvo *A. atra* (Cholga), el cual, también mostró un rango de tallas más amplio, especialmente en los individuos bajo el cultivo con tamaños de entre 6.5 y 120 mm (**Figura 93**). Los individuos de sitios de referencia oscilaron entre los 22 y 93 mm. Igualmente, el rango fue mayor en el banco emergente (108-120 mm vs. 81-93 mm en sitios de referencia). La misma tendencia fue observada con poliquetos errantes de la familia Nereidae (**Figura 94**), sin embargo, este fue el único invertebrado que mostró menor tamaño en sitios de referencia.

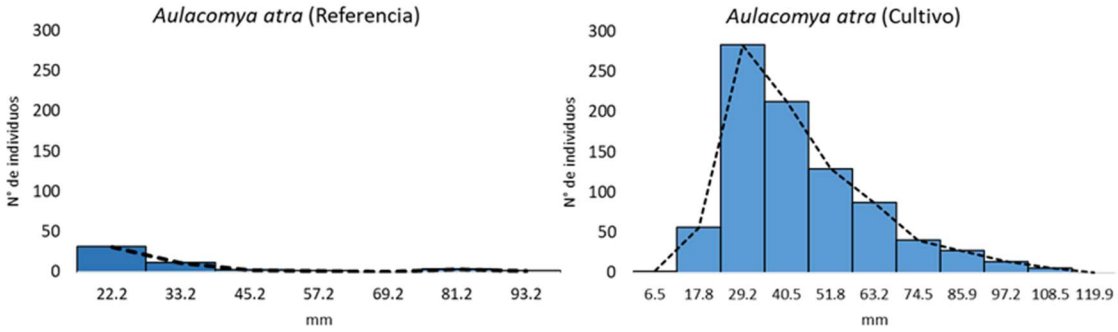

Figura 93. Frecuencia de tallas (mm) de *Aulacomya atra* en sitios de referencia (izquierda) y banco emergente (derecha).

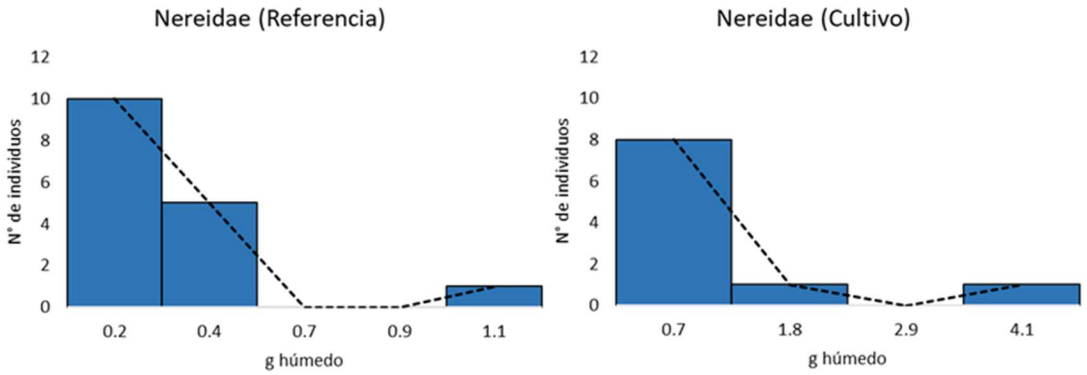

Figura 94. Frecuencia de tallas (mm) de poliquetos errantes (Nereidae) en sitios de referencia (izquierda) y banco emergente (derecha).

Adicionalmente, algunas especies fueron conspicuas sólo en bancos emergentes. *H. edwardsii* (Jaiba marmola) mostró una frecuencia de tamaño (g peso húmedo) ente los 40 y los 364 g, mientras que los individuos del carroñero *M. gregaria* (Langostino de los canales) mostraron mayor frecuencia de individuos pequeños, entre 0.6 y 4.6 mm (**Figura 95**). Cabe señalar que la recolección de esta última especie desde los transectos, se dificulta por su gran capacidad natatoria y será necesario considerar estrategias de recolección que permitan atrapar mayor cantidad de individuos adultos. Por otro lado,

el holotúrido (pepino de mar) *Heterocucumis godeffroyi* mostró tamaños entre los 2.6 y 10.6 g, mientras que el bivalvo *C. chorus* mostró individuos entre 25 y los 88 mm (**Figura 95**).

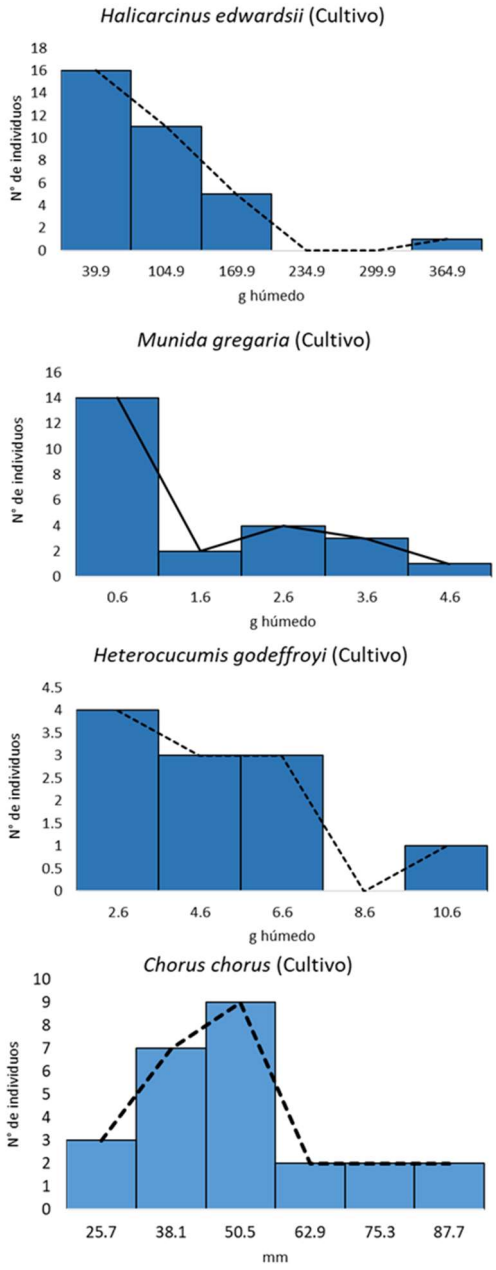

Figura 95. Frecuencia de tamaño (g peso húmedo) de *H. edwardsii, M gregaria, H. godeffroyi* y talla de *C. Chorus* en un banco emergente. No se encontraron especímenes de estas especies para construir histogramas de sitios de referencia.

5.10. Desarrollo de modelos cualitativos APE para mitilicultura y abastecimiento de larvas y semillas

La estimación de equilibrios para los tres modelos de interacciones de cultivo arrojó un total de 27, 84 y 243 escenarios respectivamente, donde sólo en el 1.9 % del total de casos (1, 2 y 4 escenarios estables respectivamente, **Tabla 47**) obtuvieron equilibrios locales bajo los tres criterios de estabilidad de Routh-Hurwitz (RH1 y RH 2) y Levins (**Tabla 47, Figura 96**). Los resultados del modelo 1 (**Tabla 48, Figura 96A**) mostró que el cultivo de mitílidos practicado en la actualidad podría ser sostenible, si y sólo si, la *Demanda del mercado* y el *Acuicultor* se someten a procesos que autorregulen (1) el estímulo al cultivo por la demanda y (2) la limitación del esfuerzo/inversión del acuicultor (i.e., Auto-retroalimentación negativa). Así mismo, el *Pool larval natural*, piedra angular para el cultivo, debe mantener una dinámica de crecimiento entre K y K/2 (K = capacidad de carga de la ecuación logística). En el cultivo tradicional, por ejemplo, los resultados muestran que el cambio hacia una dinámica estática tanto en la *Demanda* como en el *Acuicultor* (i.e., auto-retroacción = 0), puede llevar a escenarios de estabilidad, aunque oscilatoria, los cuales cumplen con sólo dos criterios (RH1 y Levins). En contraste, 23 escenarios ecológicos (85% de los resultados) fueron insostenibles debido a la dominancia de retroalimentaciones positivas (i.e., crecimiento no denso-independiente o ilimitado) en las tres variables analizadas. El Modelo 2, que introduce el efecto estructurador o la formación de un banco emergente (**Tabla 48, Figura 96B**), arrojó 81 equilibrios locales con sólo dos escenarios (2.47%) mostrando estabilidad local. La sustentabilidad esta mediada nuevamente por dinámicas autolimitantes en la *Demanda*, el *Acuicultor*, y oscilaciones de crecimiento entre K y K/2 para el *Pool larval natural* y el *Banco emergente*. La adición de la variable BEm en este escenario permite que la variable *Acuicultor* muestre un estado adicional de sustentabilidad si presenta auto-retroalimentación = 0 (estado estático). Adicionalmente, tres escenarios fueron estables pero oscilatorios (i.e., RH1 y Levins), los cuáles evidenciaron que cambios a un estado estático (auto-retroacción = 0) en la *Demanda* o el efecto del *Acuicultor* promueven insostenibilidad. El tercer modelo mostró cuatro escenarios de interacciones equilibradas localmente (1.65% del total) (**Tabla 48, Figura 96C**). En este escenario con la adición de la variable *Pool larval artificial* al sistema, la *Demanda*, el *Pool larval natural*, el *Banco emergente* deben mostrar dinámicas de crecimiento autolimitantes (entre K y K/2). Además, el crecimiento denso-dependiente del *Pool larval artificial* permite que la variable BEm alcance, además, un estado estático de crecimiento (Auto-retroalimentación = 0), y la variable *Acuicultor* pueda funcionar bajo una dinámica de crecimiento no denso-dependiente, lo cual significa que puede incrementar su esfuerzo/ inversión sin perturbar la sustentabilidad del sistema.

Tabla 47.

Modelos socio-ecológicos para la acuicultura de mitílidos. Las matrices comunitarias de Jacob-Levins muestran el efecto semicuantitativo de la variable *j* sobre la variable *i*. 1) Escenario cultivo tradicional, 2) representa el escenario 1 más el efecto de un banco emergente (BEm) y 3) escenarios 1 y 2 más la adición de un cultivo artificial de M. chilensis o "subsidio" para producción de larvas (Pool larval artificial).

1. Matriz comunitaria de Jacob-Levins

	j					
i	Demanda	Acuicultor	Cultivo	Pool Larval	Banco Natural	Func.Eco.
Demanda	-1	-1	1	0	0	0
Acuicultor	1	-1	1	0	0	0
Cultivo	0	1	-1	1	0	1
Pool Larval	0	0	-1	-1	1	1
Banco Natural	0	0	0	1	-1	1
Func.Eco.	0	0	-1	-1	1	0

2. Matriz comunitaria de Jacob-Levins

	j						
i	Demanda	Acuicultor	Cultivo	Pool Larval	Banco Natural	Func.Eco.	BEm
Demanda	-1	-1	1	0	0	0	1
Acuicultor	1	(-1)/(0)	1	0	0	0	1
Cultivo	0	1	-1	1	0	1	0
Pool Larval	0	0	-1	-1	1	1	0
Banco Natural	0	0	0	1	-1	1	0
Func.Eco	0	0	-1	-1	1	0	1
BEm	0	-1	1	0	0	1	-1

3. Matriz comunitaria de Jacob-Levins

	j							
i	Demanda	Acuicultor	Cultivo	Pool Larval	Banco Natural	Func.Eco.	BEm	Pool Larval Art.
Demanda	-1	-1	1	0	0	0	1	0
Acuicultor	1	(1)/(0)	1	0	0	0	1	0
Cultivo	0	1	-1	1	0	1	0	1
Pool Larval	0	0	-1	-1	1	1	0	1
Banco Natural	0	0	0	1	-1	1	0	0
Func.Eco	0	0	-1	-1	1	0	1	-1
BEm	0	-1	1	0	0	1	(-1)/(0)	0
Pool Larval Art.	0	0	-1	0	0	1	0	-1

Tabla 48.
Resumen de la estimación de criterios de estabilidad de Routh-Hurwitz (RH 1 y 2) y Levins (*Fn*) para tres escenarios de cultivo de mitílidos. (1) Cultivo tradicional, (2). Cultivo tradicional + Banco emergente y (3) escenarios 1 y 2 + Pool larval artificial. Los escenarios sustentables responden a los tres criterios de estabilidad, (i.e., Estable, no oscilatorio y holísticamente estable (*)). El primer criterio (RH 1) describe las condiciones de estabilidad del sistema completo, el segundo criterio (RH 2) determina la condición asintótica oscilatoria. El *Fn* (Levins) es definido por condiciones de estabilidad holística (Estable, Marginalmente estable o No estable).

Escenarios	Criterios de estabilidad local			Modelos (n)	Condición
	RH1	RH2	Levins		
(1) Cultivo tradicional	Si	Si	Si	1	Estables No Oscilatorios (*)
	Si	No	Si	3	Estables Oscilatorios
	No	Si	Si	1	No Estables No Oscilatorios
	No	No	No	22	No Estables Oscilatorios
(2) (1) + BEm	Si	Si	Si	2	Estables No Oscilatorios (*)
	Si	No	Si	3	Estables Oscilatorios
	No	No	Marg.	1	No Estables No Oscilatorios
	No	No	No	78	No Estables Oscilatorios
(3) (1) + (2) + Pool Larval Artificial	Si	Si	Si	4	Estables No Oscilatorios (*)
	---	---	---	0	---
	No	Si	Si/No/Marg.	221	No Estables No Oscilatorios
	No	Si	Si /No/Marg.	18	No Estables Oscilatorios

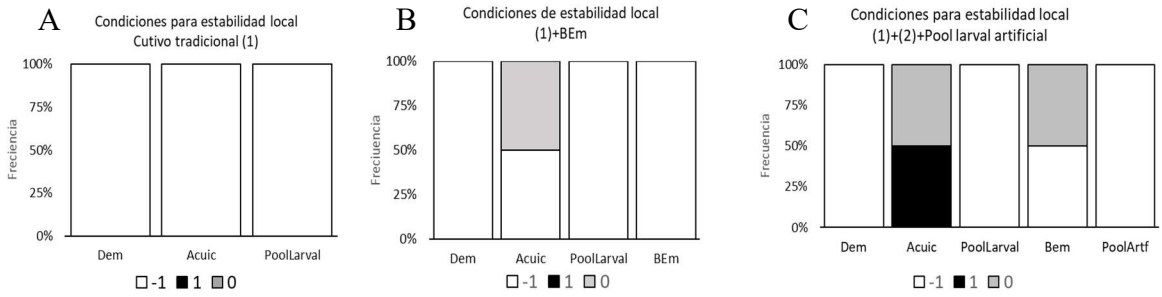

Figura 96. Condiciones de crecimiento necesarias y suficientes para que las variables incógnitas en cada modelo (A, B y C) para que el sistema muestre estabilidad local bajo los tres criterios.

5.11. Validación de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de macroalgas e invertebrados

5.11.1. Contenido estomacal

Se analizaron 198 ejemplares, divididos en 35 taxa, los que incluyeron bivalvos, erizos, gastrópodos, jaibas, nemátodos, equiuros y peces (**Tabla 49**). El mayor número de ejemplares se concentró bajo el cultivo (N total = 156 individuos), mientras que en sitios de referencia (FC) el muestreo alcanzó sólo 42 ejemplares (**Tabla 49**). Las especies de mayor abundancia fueron los erizos *A. dufresnii* y *L. albus*, representando el 15.2% y 12.6% de la abundancia total, respectivamente. La dieta de los bivalvos y gastrópodos estuvo compuesta en un 100% por fitoplancton y algas verdes, respectivamente. La dieta del grupo de los erizos (*A. dufresnii* y *P. magellanicus*) incluyó principalmente algas verdes (*Ulva* sp.), con un 67% (± 0.63), seguido de algas pardas con 14% (± 1.61), y sedimento con 10% (± 2.01). *L. albus*, mostró una dieta compuesta en un 95% (± 1.94) por algas verdes. Mientras que la dieta de las jaibas mostró estar compuesta en un 98% (± 0.05) de restos de crustáceos. Los peces, representados principalmente por *L. blainvilleanus* (Pez aguja) consumieron un 66% (± 2.39) de Zooplancton (anfípodos) y un 30% (± 0.06) de material particulado del sedimento (**Figura 97**). Cabe señalar que no se logró realizar una comparación directa entre todas las especies epibentónicas debido a la ausencia de algunas en el hábitat de referencia, el cual representa un ambiente de fondo blando con baja estructuración (Bidimensional), contrastando con la estructuración biogénica (Tridimensional) promovida por la agregación de bivalvos bajo el sitio de cultivo. Las redes tróficas resultantes se muestran en la **Figura 98** y **Tabla 49**.

Tabla 49.
Porcentaje de contribución de las presas en la dieta de los distintos grupos depredadores. Valores corresponden al porcentaje promedio (± DS) del análisis bayesiano.

	Presas						
Grupos	**Fitoplancton**	**Zooplancton**	**Restos crustáceos**	**Algas Verdes**	**Algas Rojas**	**Algas Café**	**Sedimento**
Bivalvos	100	-	-	-	-	-	-
Erizos	-	-	-	67 (±0.63)	9 (±0.01)	14 (±1.61)	10 (±2.01)
Erizos Rojos	-	-	-	95 (±1.94)	-	5 (±3.90)	-
Gastrópodos	-	-	-	100	-	-	-
Jaibas	-	-	98 (±0.05)	-	-	-	2 (±0.01)
Peces	-	66 (±2.39)	4 (±0.01)	-	-	-	30 (±0.06)

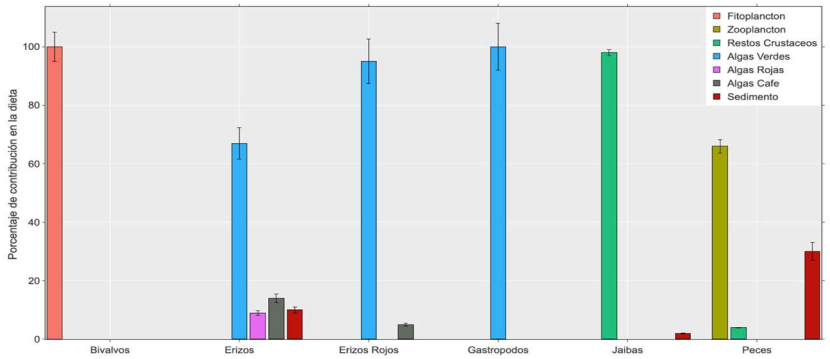

Figura 97. Porcentaje de contribución en la dieta de los depredadores. Valores provenientes de los modelos bayesianos (Tabla 49).

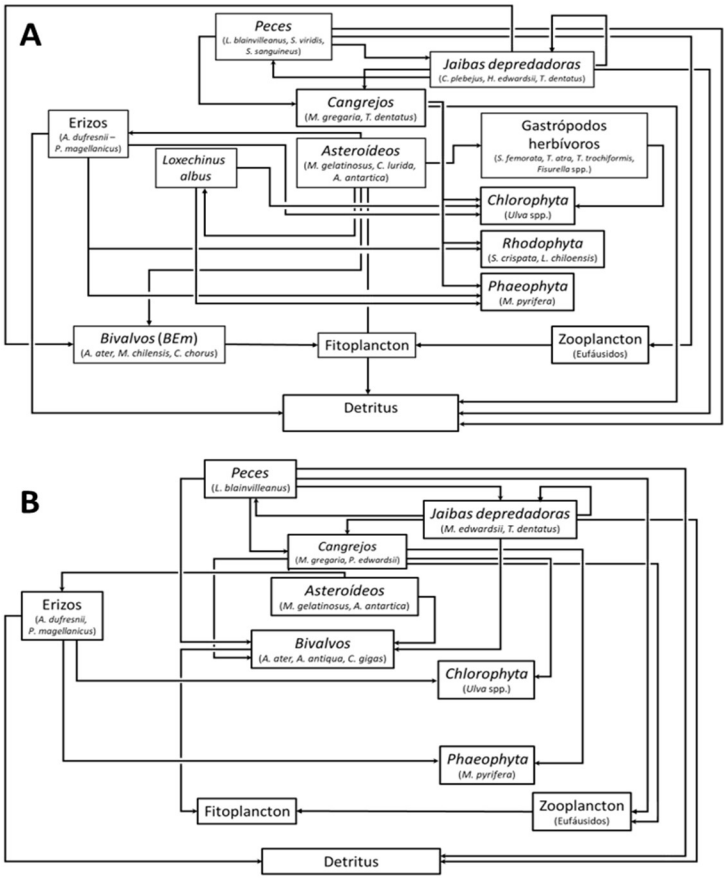

Figura 98. Modelos ecotróficos que representan a un cultivo APE en bahía Hueihue, Chiloé. A) Comunidad del fondo de un hábitat de banco emergente bajo un cultivo de pequeña escala de *M. chilensis, C. gigas* y macroalgas. B) Comunidad bentónica del hábitat de referencia (Fondo blando).

5.11.2. Resultados del modelo

La **Tabla 50** resume los parámetros de entrada y los resultados de los modelos balanceados de Bahía Hueihue (**Figura 98**). En el Banco Emergente (BEm) Los grupos funcionales de mayor biomasa fueron los bivalvos, macroalgas (Chlorophyta, Phaeophyta) y gastrópodos y en el hábitat de Referencia, cangrejos y macroalgas (Chlorophyta, Phaeophyta) fueron los más abundantes. En ambos ambientes, los peces bentónicos mostraron la menor abundancia. Los valores de eficiencia ecotrófica (EE) fueron < 1, indicando que los ingresos de N de cada grupo son menores que los valores de salida (**Tabla 50**). El estudio reveló que dentro del Banco Emergente (BEm) la EE del fitoplancton alcanzó 0,910, el grupo de erizos 0,7 y Peces Bentónicos, Jaibas Depredadoras y Cangrejos mostraron valores en torno a 0,5. En el hábitat de Referencia la EE de las Jaibas depredadoras fue la más alta (0,528), mientras que cangrejos, bivalvos y fitoplancton alcanzaron valores similares ~0,42. La EE del detritus alcanzó 0,015 sustancialmente menor que el índice de su límite superior (i.e., = 1,0). En cuanto a los principales índices macroscópicos que caracterizan las estructura y propiedades ecosistémicas (**Tabla 51**), el sistema trófico del BEm presentó los valores más altos de Biomasa Total (843860 g m^{-2}) *Total System Throughput* (TST = 28024 g peso húmedo m^{-2} $año^{-1}$), *Ascendency* (A = 22485.7 g peso húmedo m^{-2} $año^{-1}$* bits), y Capacidad de desarrollo (C = 60755.2 g peso húmedo m^{-2} $año^{-1}$* bits). El *Overhead* (Ov) del BEm, como estimación de la habilidad de este sistema para soportar perturbaciones, alcanzó 38258.5 (g peso húmedo m^{-2} $año^{-1}$ * bits) superando ampliamente el valor del hábitat de referencia, mientras que el índice de Información Media Mutual (AMI) indicó que ésta fue menor en el hábitat de bajo el cultivo (AMI = 1.25) indicando un mayor nivel de organización en la red.

Tabla 50.

Parámetros de entrada (en negrita) y resultados finales de modelos Ecopath que representan un banco emergente bajo un cultivo de *M. chilensis* y el hábitat de referencia (fondo blando), donde TL = Nivel trófico, B = Biomasa promedio, (g peso húmedo m^{-2}), P/B = *Turnover* o Tasa de Renovación (año $^{-1}$), Q/B = Tasa de consumo (año $^{-1}$), EE = eficiencia ecotrófica (adimensional).

Compartimientos	**Banco emergente**						**Hábitat de Referencia**					
Especies/Grupo Funcional	TL	B	P/B	Q/B	EE	P/Q	TL	B	P/B	Q/B	EE	P/Q
Peces bentónicos	2.8	**0.2**	**1.85**	**19.55**	0.501	0.095	2.71	**0.14**	**2.4**	**8.5**	0.214	0.282
Jaibas depredadoras	3.2	**3.9**	**1.9**	**9.5**	0.532	0.200	3.20	**3.79**	**1.8**	**9.5**	0.528	0.189
Cangrejos	2.15	**29**	**1.8**	**9.2**	0.550	0.196	2.25	**51.34**	**1.3**	**5**	0.419	0.260
Gastrópodos	2	**45.7**	**2.5**	**11.7**	0.122	0.214	--	--	--	--	--	--
Loxechinus albus	2	**1.56**	**2.8**	**9.5**	0.069	0.295	--	--	--	--	--	--
Erizos	2	**0.39**	**1.1**	**3.8**	0.698	0.289	2	**0.447**	**3.1**	**10.5**	0.162	0.295
Asteroideos	3	**1.33**	**1.3**	**4.5**	0.107	0.289	2.1	**0.45**	**1.2**	**5**	0.200	0.240
Bivalvos	2	**366**	**2**	**9.9**	0.048	0.202	1	**15.79**	**1.2**	**5**	0.420	0.240
Zooplancton	2	**20**	**40**	**160**	0.003	0.250	2	**20**	**40**	**160**	0.081	0.250
Chlorophyta	1	**147.73**	**20**	**0**	0.204		1	**5667.3**	**6**	**0**	0.002	
Phaeophyta	1	**176.35**	**10.3**	**0**	0.023		1	**641**	**10.3**	**0**	0.008	
Rhodophyta	1	**21.7**	**5**	**0**	0.124		--	--	--	--	--	--
Fitoplancton	1	**30**	**250**	**0**	0.910		1	**30**	**250**	**0**	0.427	
Detritus	1	**100**			0.015		**1**	**100**			0	

Tabla 51.
Índices de flujo de la red trófica de un banco emergente bajo un cultivo de pequeña escala de *M. chilensis* y el hábitat de referencia en Bahía Hueihue, Chiloé, luego de modelamiento de balance de masas con Ecopath 6.4. BEm = Banco Emergente; Ref. = Hábitat de Referencia

Índices de flujo del sistema	BEm	Ref.
Biomasa Total (Excluyendo detritus) (g m^{-2})	843.860	6.430,257
Total System Throughput (TST) (kg ww m^{-2} $año^{-1}$)	28024.28	5470.534
Ascendency (A) (kg ww m^{-2} $año^{-1}$* bits)	22485.7	3068.7
Overhead (Ov) (kg ww m^{-2} $año^{-1}$* bits)	38258.5	897.1
Development Capacity (C) (kg ww m^{-2} año-1* bits)	60744.2	4455.3
Información Media Mutual (AMI)	1.25	1.78
A/C (%)	37.17	68.787
Ov/C (%)	62.98	20.13
Índice de reciclaje de Finn´s	0.16	<0.01
Finn´s Longitud media de Trayectoria Trófica (MPL)	2.264	2.852
Índice de Conectividad Trófica	0,172	0,210
Índice de Omnivoría	0.042	0.087

En términos de los rangos A/C y Ov/C usados como indicadores de desarrollo del ecosistema y resistencia a perturbaciones, el Banco Emergente mostró valores de 37, y 63%, respectivamente, mientras que el Hábitat de Referencia mostró 67 y 20%. Esto indica que el banco emergente, tiene un nivel de desarrollo menor (Sensu Odum = más "joven"), aunque mayor capacidad de resistencia. En cambio, el hábitat de Referencia está más desarrollado, pero es más susceptible a perturbaciones. En ambos sistemas de estudio, el índice de reciclaje de Finn y la Longitud media de la trayectoria trófica (MPL) alcanzaron valores < 1 y < 3, respectivamente, indicando, por un lado, tasas de reciclaje moderadas a bajas para Bahía Hueihue, sin embargo, este índice fue mayor en el BEm (0.16). El MPL mantuvo un valor levemente más alto en el hábitat de Referencia (i.e., Ref. = 2,852; BEm = 2,264). El índice de omnivoría fue mayor en el hábitat de Referencia (0.087), pero en ambos hábitats este valor fue menor a 0,1 indicando que los grupos tróficos en ambos sistemas se alimentan sobre pocos niveles tróficos, además, indica un alto grado especialización trófica entre las especies/ grupos.

Los índices de especies/ grupos funcionales clave indicaron que las especies de mayor importancia trófica (> 0,7) fueron asteroideos (estrellas de mar), cangrejos, bivalvos mitílidos, y el fitoplancton, aunque su importancia varió entre hábitats (**Tabla 52**). Los cangrejos tuvieron un impacto trófico mayor en el hábitat de Referencia, al igual que los bivalvos y las jaibas depredadoras. Mientras que estrellas de mar y el fitoplancton mostraron un impacto trófico mayor en el BEm. Estas diferencias indicaron, por ejemplo, que cangrejos, bivalvos y jaibas depredadoras transfieren energía entre grupos tróficos más eficientemente cuando se trata de un hábitat desestructurado (Ref. = Fondo Blando), pero este efecto trófico, aunque todavía importante (> 0,7), disminuye en un hábitat biogénicamente estructurado por bivalvos (i.e., BEm). En contraste, el grupo de erizos, el grupo monoespecífico *L. albus* y algas rojas (Rhodophyta) tienen poca preponderancia o menor impacto trófico (< 0,1) en hábitats estructurados.

Tabla 52.

Índices de especies clave e impacto total relativo en sistema de Banco Emergente y Hábitat de Referencia, en Bahía Hueihue, Chiloé. BEm = Banco emergente, Ref. = Hábitat de Referencia.

	Índice I		Índice II		Impacto total relativo	
Especies/ Grupos funcionales	**BEm**	**Ref.**	**BEm**	**Ref.**	**BEm**	**Ref.**
Peces bentónicos	-0.225	-2,094	3,400	2,568	0.508	0.009
Jaibas Depredadoras	-0.214	-0.237	2,123	2,993	0.524	0.65
Cangrejos	0.00435	0.0528	1,475	2,048	0.876	1,0
Gastrópodos	-0.145	--	1,146	--	0.647	--
Loxechinus albus	-1,157	--	1,577	--	0.0596	--
Erizos	-1,213	-1,043	2,122	3,115	0.0523	0.102
Asteroideos	0.0679	-0.108	2,871	4,047	1,000	0.873
Bivalvos	-0.31	0.0696	0.299	2,541	0.738	0.957
Zooplancton	-0.376	-0.258	1,260	2,251	0.368	0.621
Chlorophyta	-0.207	-1,160	0.634	0.179	0.643	0.653
Phaeophyta	-0.73	-0.56	0.0514	0.487	0.201	0.342
Rhodophyta	-0.979	-1,043	0.622	--	0.092	--
Fitoplancton	-0.0643	-0.258	1,401	2,075	0.764	0.621

Objetivo específico 5: *Evaluar diseños de sistemas de cultivos para implementar acuicultura de pequeña escala.*

5.12. Propuesta de diseño de sistema de cultivo APE para zona norte y sur, y/o condiciones de mayor exposición (Fase 2)

La acuicultura con long-line, como método de acuicultura marina productiva y flexible, se utiliza en todo el mundo para cultivar invertebrados y algas. Sin embargo, la potencial migración y desarrollo de la APE a sitios alejados de la costa o de mayor energía, desafía los problemas técnicos de diseño, prueba y construcción de sistemas para entornos expuestos. Como consecuencia, los estudios sobre las respuestas estructurales de varias configuraciones de diseño son de importancia para diseñar un sistema long-line robusto capaz de resistir y operar en condiciones de alta energía.
Un sistema long-line generalmente consta de líneas, anclas, boyas y organismos cultivados. Por lo general, se debe utilizar una serie de líneas, incluida una línea principal para mantener a flote todo el sistema, líneas de amarre para conectar todas las partes suspendidas a los anclajes y líneas verticales para colgar las linternas o cuelgas (dropper). Por lo tanto, la seguridad de estas líneas afecta significativamente el desempeño de estabilidad de la instalación del sistema de cultivo. Además, la estabilidad de la instalación influye en gran medida en el crecimiento de los organismos cultivados, ya que la especie cultivada debe asignar más energía para resistir la fluctuación del sistema en lugar de crecer.
Considerando lo anterior, los resultados de esta etapa permiten establecer criterios para el diseño de sistemas long-lines, contemplando los márgenes máximos de resistencia, los factores de seguridad y las condiciones necesarias para resguardar la integridad estructural y productiva. Tomando en cuenta la estabilidad, desplazamientos, esfuerzos y tensiones generadas en los sistemas de amarre. A continuación, se presentan los principales resultados de este objetivo. Una versión extendida los resultados se encuentra en el **Anexo 3**.

5.12.1. Desarrollo de ingeniería básica, conceptual y detalle del sistema de flotación

El diseño del sistema de cultivo tipo long-line (**Figura 99**) del presente trabajo esta caracterizado y sustentado en los antecedentes anteriormente recopilados, en el conocimiento, en la experiencia de los materiales tradicionalmente utilizados en la industria y por supuesto en los resultados de la etapa anterior ("Evaluar diseños de sistemas de cultivos para implementar acuicultura de pequeña escala").
Los antecedentes y resultados obtenidos en la Etapa V del Programa, donde se realizaron estudios mediante modelos numéricos y experimentos de laboratorio que investigaron el análisis y performance estructural de los sistemas long-line permite concluir lo siguiente:

1. El peso de la cuelga y/o linterna y el ángulo del oleaje incidente tienen una influencia significativa en el movimiento y la carga de la instalación.
2. El desplazamiento máximo de la línea principal se correlaciona negativamente con el peso de la cuelga y/o linterna.

3. El aumento del peso de las cuelgas y/o linterna da como resultado un aumento de la tensión en la línea principal, la línea de fondeo, en los chicotes y cabos, pero ayuda a reducir la tensión máxima de la línea de fondeo
4. El impacto por la forma de la boya superior en los movimientos y cargas de los sistemas long-line se considera insignificante.
5. La aceleración vertical de las linternas es de particular interés porque las aceleraciones grandes y repetidas a lo largo de su eje pueden causar perdidas de biomasa en la especie de cultivo.

En este contexto y considerando que existen resultados previos de simulación numérica y determinación de materiales, dimensiones, tensiones, desplazamientos, entre otros. se propone una configuración similar del sistema tipo long-line a la estudiada en la etapa anterior. Por lo tanto, para este caso en particular y teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente. El diseño propuesto del sistema long-line a evaluar es de 100 metros de largo (**Figura 99**), con unidades de cultivo tipo linterna de 2 metros de altura, con 10 pisos de 20 cm cada una. La separación entre linternas es de 2 metros a lo largo de la línea madre. Cada linterna se conecta a la línea madre través de chicotes de 8 mm, siendo amortiguada con boyas de 30 litros (**Figura 100**). Adicionalmente, en el sistema de flotación están consideradas boyas señalizadoras de 100 litros en la superficie cada 20 metros.
Cada linterna del sistema long-line propuesto en el diseño tiene un contrapeso de 2 kg en la parte inferior, conectado a través de un chicote de 8mm. En la parte superior cada linterna es amortiguada con una boya de 30 litros y además se le adicionaron 4 kg por piso de linterna para simular el sistema en estado de cosecha. Considerando que los ostiones en periodos de cosecha pesan aproximadamente eso, según antecedentes empíricos reales. A continuación, se detallan los componentes utilizados en el modelo digital del sistema long-line y el plano de detalle final tras las simulaciones numéricas realizadas (**Figura 101**).

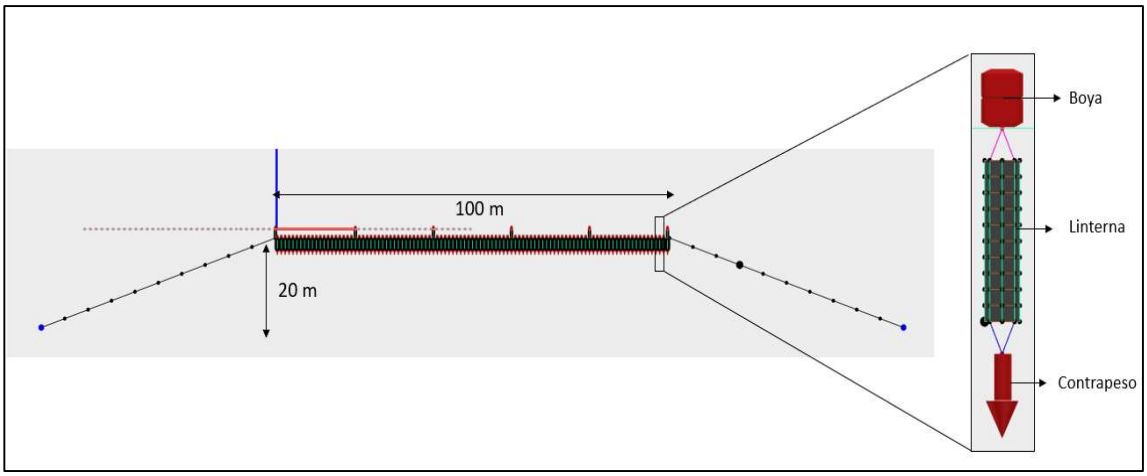

Figura 99. Modelo digital sistema de cultivo tipo long-line.

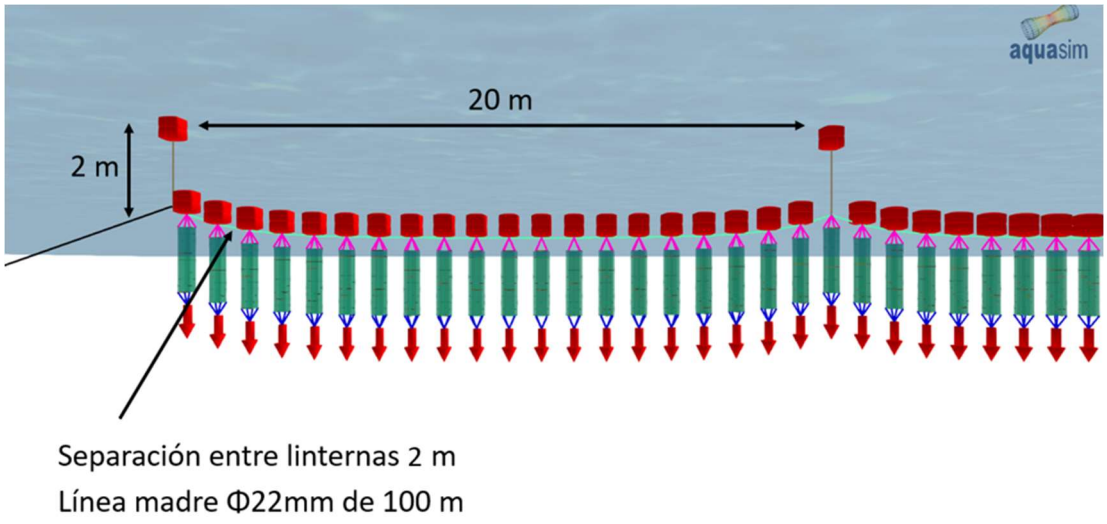

Figura 100. Largo línea madre modelo digital.

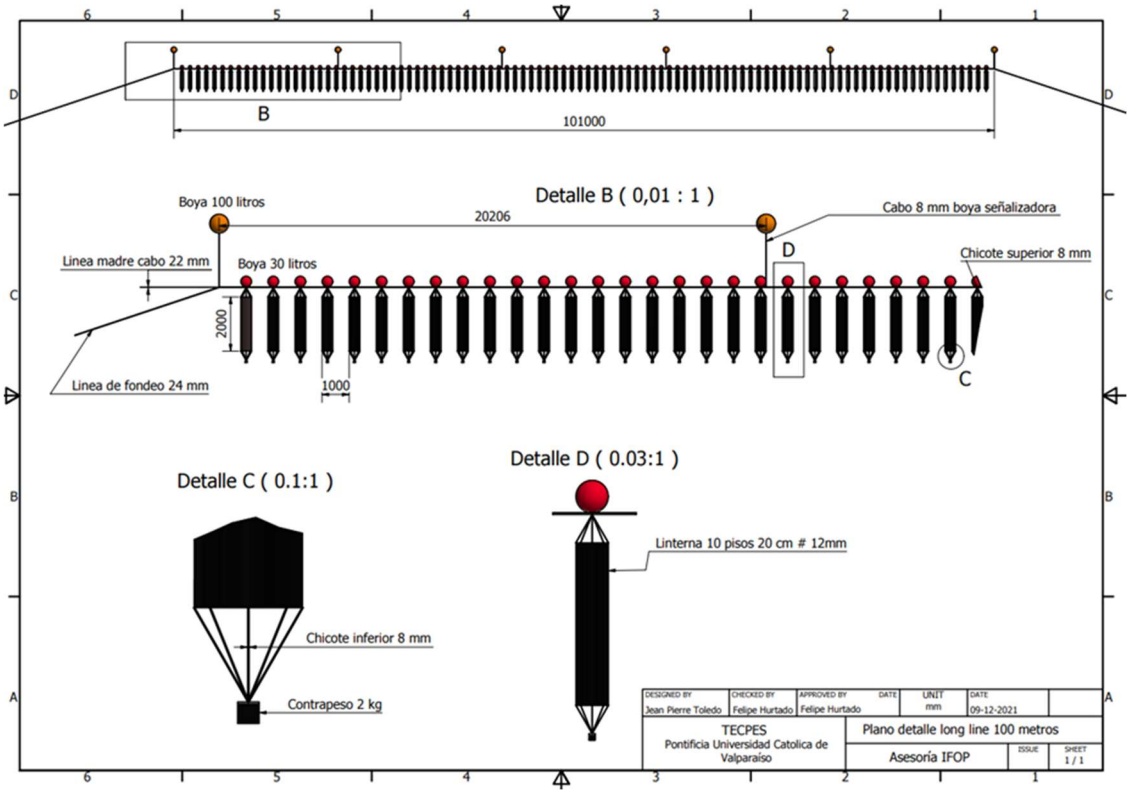

Figura 101. Plano detalle sistema cultivo tipo long-line propuesto analizar.

De manera complementaria, para el desarrollo de esta actividad se realizó una encuesta a usuarios del sistema de cultivo tipo long-line de la zona norte y sur de Chile para afinar los componentes y tiempos de operación utilizados tradicionalmente (ver **Anexo 3**). Los resultados de la encuesta corroboran que el diseño propuesto a evaluar cumple con los rangos apropiados y es factible para utilizar próximamente en la actividad industrial. En este contexto, se analiza hidrostáticamente el sistema de cultivo tipo long-line, determinado la reserva de boyantes en estado de recepción, engorda y cosecha en potenciales 2 casos. El primer caso utiliza el 100% de las boyas en la línea de madre, es decir, cada 2 metros hay una boya, en cambio, en el caso 2 se utiliza el 50% de las boyas, es decir boyas cada 4 metros en estado de siembra y engorda, sin embargo, en cosecha se utiliza el 75% de las boyas, es decir, boyas cada 3 metros aproximadamente debido a que en el último periodo del cultivo de alguna u otra forma agregan boyas al sistema. Esta reserva de boyantes indica las condiciones mínimas de operación y los potenciales supuestos al momento de realizar las simulaciones numéricas. Estos supuestos, están asociados a la estabilidad de flotación y la potencial amortiguación que ejerce la reserva de boyantes en las tensiones de las líneas de fondeo.
En el **Anexo 3** se presentan todos los resultados de cálculo hidrostático del sistema de cultivo tipo long-line, considerando las distintas etapas y casos propuestos. En la **Tabla 53**, se presenta un resumen de estos resultados.

Tabla 53.
Resumen del análisis hidrostático para cada etapa del cultivo y respectivo caso.

Análisis hidrostático	Reserva de boyantes [Ton]	Supuesto
CASO 1 – Recepción	2,3	Excelente amortiguación, menor tensión
CASO 2 – Recepción	1,6	Buena amortiguación, menor tensión
CASO 1 – Engorda	1,3	Buena amortiguación, menor tensión
CASO 2 – Engorda	0,6	Mediana amortiguación, + tensión
CASO 1 – Cosecha	0,3	Amortiguación critica, mayor tensión
CASO 2 – Cosecha	-0,1	Amortiguación peligrosa, probabilidades de hundimiento y mayor tensión

Los resultados del análisis hidrostático permiten identificar la reserva de boyantes para cada etapa del cultivo con los respectivos casos 1 y 2. El caso 1 corresponde a la utilización del 100 % de las boyas, mientras que el caso 2 el 50 % de las boyas en etapa de recepción y engorda, mientras que el 75% en etapa de cosecha. De acuerdo con estos resultados se realizaron supuestos respecto a la amortiguación de la boyantes realizadas por las boyas con el respectivo efecto en la tensión de la línea de fondeo. Permitiendo, identificar que en cosecha la reserva de boyantes es crítica y tiene potenciales efectos adversos en la flotabilidad y en la amortiguación de la tensión de las líneas de fondo, mientras que en recepción y engorda la flotabilidad es estable y aceptable, sin embargo, luego se corroborarán

estos supuestos a través de simulación numérica, que incorpora los métodos de elementos finitos para resolver la dinámica de estructuras flotantes y flexibles tal como es el sistema de cultivo tipo long-line.

5.12.2. Propuesta de combinaciones de carga (oleaje – corriente)

Se consideró la información oceanográfica obtenida en los resultados de la etapa V del Programa. En la **Tabla 54** se resumen estas condiciones.

Tabla 54.
Tabla resumen parámetros en el norte y sur de Chile.

Parámetro	Zona norte de Chile	Zona sur de Chile
Altura ola significativa - Hs [m]	1,86 m	2,3 m
Periodo de ola peak - Tp [s]	18 s	12 s
Dp	340 ° (NNW)	315 ° (NW)
Velocidad de corriente Vc [m/s]	0,3 m/s	0,5 m/s
Clase de sitio	Semi-protegido	Semi -expuesto

Considerando lo anterior, se propusieron las siguientes combinaciones de carga para realizar el diseño del sistema de cultivo tipo long-line en etapa de recepción, engorda y cosecha (0, 2 y 4kg por piso de linterna respectivamente), bajo condiciones oceanográficas representativas de la zona norte, categorizado como un sitio de cultivo semi – protegido, mientras que en la zona sur el sitio de cultivo es categorizado como semi- expuesto. Por lo tanto, para complementar la información oceanográfica y ser más riguroso se utilizó la información del oleaje reinante y dominante del nodo 7 (Tongoy) y nodo 13 (Chiloé) del Atlas de Oleaje de Chile (Beyá et al. 2016). Finalmente, se propusieron una combinación de cargas debido al oleaje reinante y dominante, es decir. la orientación longitudinal del sistema de cultivo se instala respecto al oleaje reinante y el cálculo estructural se hace respecto al oleaje dominante (**Tabla 55**).
Es por esto, que, debido las diferentes combinaciones de carga, en diferentes etapas del cultivo (recepción, engorda y cosecha) con respectivos casos de estudio asociado al número de boyas se estimaron 150 simulaciones. Un número significativo para establecer rigurosas discusiones, conclusiones y decisiones respecto al dimensionamiento, diseño e ingeniería de detalle del sistema de cultivo tipo long-line.

Tabla 55.
Combinaciones de carga de oleaje y corriente con direcciones reinantes y dominantes.

COMBINACIONES DE CARGA							
Análisis	Tensiones [N] Linterna inicial, central y final						
	OLEAJE						**DIRECCIÓN CORRIENTE**
		Sin oleaje	**Hs 0,5 m Tm 8S**	**Hs 1 m Tm 8s**	**Hs 1,5 m Tm 8s**	**Hs 2 m Tm 8s**	
VELOCIDAD DE CORRIENTE	**0,15 [m/s]**						D: 225° (SW)
	0,30 [m/s]						D: 225° (SW)
	0,50 [m/s]						D: 225° (SW)
	0,7 [m/s]						D: 225° (SW)
	1,0 [m/s]						D: 225° (SW)
DIRECCIÓN OLEAJE		-	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	

5.12.3. Evaluación numérica de la estabilidad del sistema de flotación

Se presentan los resultados de las 150 simulaciones numéricas realizadas en el software *AquaSim v2.17.2* de *Aquastructure* del sistema de cultivo tipo long-line, respecto a diferentes combinaciones de cargas hidrodinámicas en las etapas de cultivo de recepción, engorda y cosecha para diferentes casos de boyantes (50, 75 y 100% de boyas).
La evaluación numérica permitió determinar parámetros que son relevantes en los criterios de diseño de estructuras flotantes que están asociados a una actividad económica como lo es la acuicultura en gran, mediana y pequeña escala. Los parámetros como el hundimiento de la línea madre (en metros) y tensiones (en toneladas) en la línea de fondeo y línea madre son relevantes para determinar la estabilidad del sistema de flotación, comprendiendo y caracterizando la dinámica del sistema long-line con el objetivo de proponer un dimensionamiento adecuado que este supeditado a los factores de seguridad de las vigentes normativas de diseño, tal como la Res. Ex. N° 1821-2020 que Establece Metodología para el Levantamiento de Información, Procesamiento y Cálculos del Estudio de Ingeniería, y Especificaciones Técnicas de las Estructuras de Cultivo a la que se Refiere el Artículo 4° Letra E) del D.S. 320 de 200. Dicha normativa propone factores de seguridad para las componentes que pertenecen a un sistema de cultivo con el fin de evitar el colapso de la estructura. Dicha componente principal del sistema de cultivo tipo long-line es el cabo y para el cabo el factor de seguridad es 3, esto quiere decir que, si la línea de fondeo presenta tensiones de 1 tonelada, el cabo requerido necesita mínimo resistir 3 toneladas.

A continuación, se presentan los resultados para etapa recepción con el 50 % de las boyas (caso 2). Y en el **Anexo 3** se presentan todos los resultados de hundimientos en la línea madre y tensiones en la línea de fondeo y línea madre del sistema tipo long-line en diferentes etapas de cultivo y en los diferentes casos de boyantes.

5.12.3.1. Hundimiento línea madre

En el presente subcapítulo se caracteriza el hundimiento de la línea madre en diferentes etapas de cultivo, boyantes y condiciones oceanográficas.
En la **Figura 102** de puede observar que el sistema de cultivo tipo long-line tiene 23 boyas de flotación (1 boya por cada 2 linterna) y 6 boyas demarcadoras, esto quiere decir, que contiene el 50 % de las boyas (Caso 2). En la **Tabla 56** se presenta el hundimiento de la línea madre respecto a diferentes combinaciones de cargas hidrodinámicas. Se observan los efectos de la corriente por si sola y se considera que tiene un notable hundimiento mínimo de 0,3 metros y un hundimiento máximo de 1,13 metros en la línea madre, sin embargo, al combinar la corriente con el oleaje el hundimiento de la línea madre aumenta considerablemente. También, se observa que al combinar un oleaje con Altura significativa (Hs) de 2 metros y un periodo medio (Tm) de 8 segundos con una corriente de 0,15 y 1 (m/s) respectivamente, el hundimiento de la línea madre varía entre 3,08 y 4,04 metros.
Respecto a lo anterior, se deduce que en la etapa de cultivo de recepción el sistema de cultivo tipo long-line presenta mayores hundimientos en la línea madre al poseer 50% de las boyas respecto al 100%.

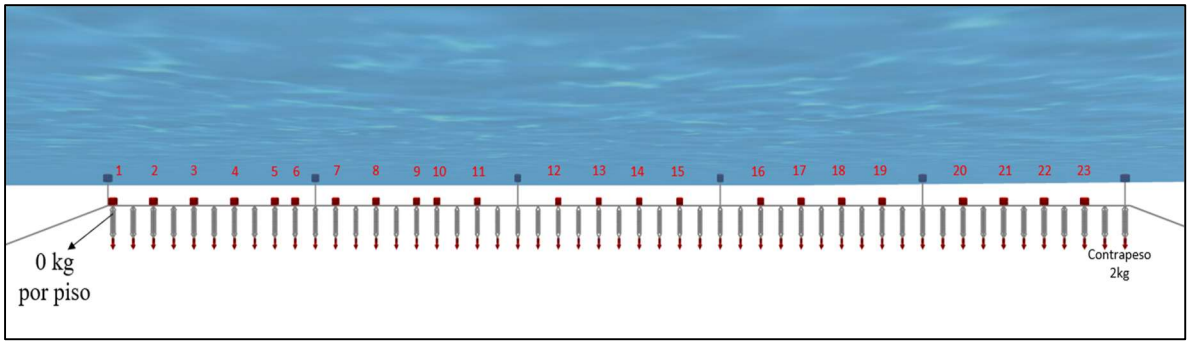

Figura 102. Modelo digital del sistema tipo long-line en la recepción con el 50 % de las boyas (caso 2).

Tabla 56.
Hundimiento de la línea madre en la recepción con el 50 % de las boyas en diferentes combinaciones de carga.

COMBINACIONES DE CARGA CASO 2 (50% BOYAS)							
Análisis	Hundimiento línea madre [m] - ubicación inicial -2 m						
		OLEAJE					DIRECCIÓN CORRIENTE
		Sin oleaje	Hs 0,5 m Tm 8 S	Hs 1 m Tm 8 s	Hs 1,5 m Tm 8 s	Hs 2 m Tm 8 s	
VELOCIDAD DE CORRIENTE	0,15 [m/s]	-2,30	-2,67	-3,24	-4,00	-5,08	D: 225° (SW)
	0,30 [m/s]	-2,39	-2,86	-3,45	-4,11	-5,15	D: 225° (SW)
	0,50 [m/s]	-2,50	-2,86	-3,65	-4,83	-5,28	D: 225° (SW)
	0,7 [m/s]	-2,59	-2,99	-3,92	-5,30	-5,57	D: 225° (SW)
	1,0 [m/s]	-3,13	-3,50	-4,70	-5,53	-6,04	D: 225° (SW)
DIRECCIÓN OLEAJE		-	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	

En **Anexo 3**, se presentan los resultados en gráficos de barras para identificar de manera simple el hundimiento en la línea madre en diferentes etapas de cultivo para combinaciones de cargas hidrodinámicas específicas. Como ejemplo en la **Figura 103**, se presentan los resultados de hundimiento de la línea madre con el 50 y 75 % de las boyas (caso 2, con Hs=1,0 y Tm= 8s).

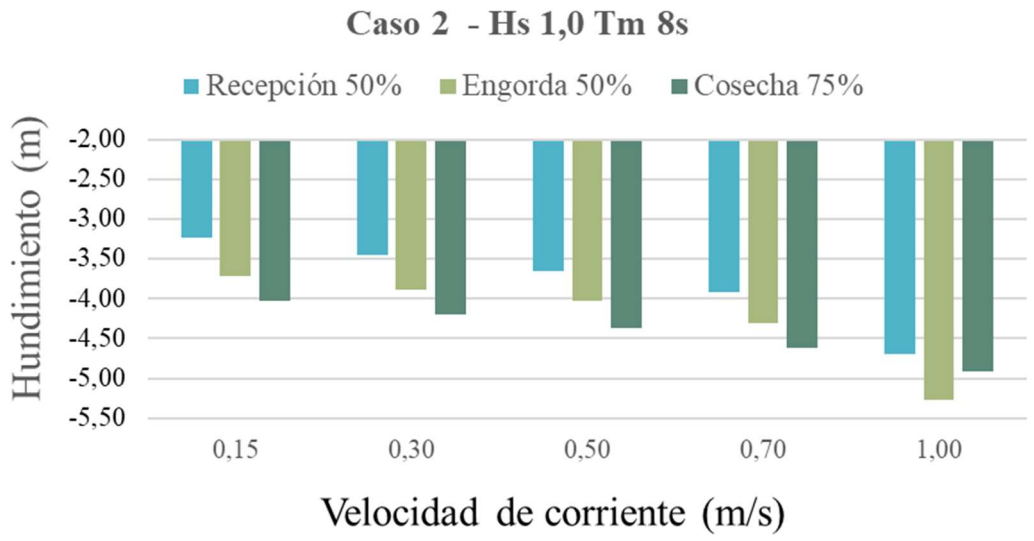

Figura 103. Hundimiento de la línea madre con el 50 y 75 % de las boyas (caso 2) (Hs=1,0 y Tm=8s).

5.12.3.2. Tensiones en línea de fondeo, línea madre y chicote

Se presentan los resultados de las tensiones obtenidas en las líneas de fondeo, línea madre y chicote del sistema de cultivo tipo long-line, tensiones que están supeditadas a las combinaciones de cargas hidrodinámicas propuestas. Tras analizar los resultados se pudo verificar que la tensión de la línea de fondeo respecto a la tensión de una sección de la línea madre es igual (**Figura 104**), por lo tanto, se asume que la tensión que ocurre en la línea de fondeo será igual en la línea madre para criterios de diseño, teniendo en cuenta que las componentes que pertenecen a un sistema de cultivo no pueden colapsar.

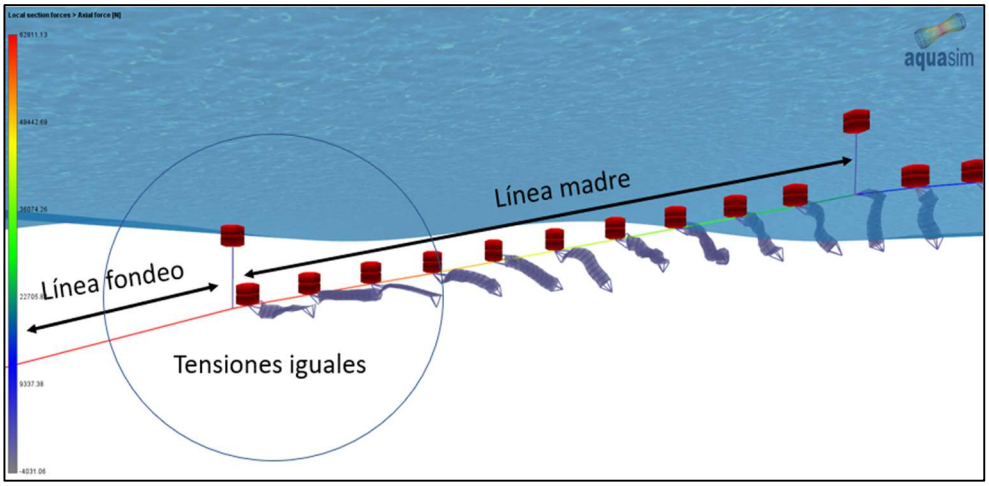

Figura 104. Tensiones iguales en línea de fondeo y en una sección de la línea madre.

En **Anexo 3**, se presentan los resultados de tensiones en la línea madre y línea de fondeo respecto a diferentes combinaciones de carga, etapas de cultivo y boyantes. Como ejemplo, a continuación, se presentan los resultados de tensión en la línea madre y línea de fondeo (**Tabla 57, Figura 105**) y en chicote para el caso de recepción con el 50 % de las boyas (caso 2).

En la **Tabla 57** se observan los efectos de la corriente por si sola y se considera que tiene una notable tensión mínimo de 0,10 toneladas y una tensión máxima de 0,43 toneladas en la línea madre y fondeo, sin embargo, al combinar la corriente con el oleaje la tensión de la línea madre y fondeo aumenta considerablemente. Por ejemplo, en la **Tabla 58** se observa que al combinar un oleaje con Altura significativa (Hs) de 2 metros y un periodo medio (Tm) de 8 segundos con una corriente de 0,15 y 1 (m/s) respectivamente, la tensión de la línea madre y fondeo varía entre 4,08 y 6,05 toneladas. Respecto a lo anterior, se deduce que en la etapa de cultivo de recepción el sistema de cultivo tipo long-line presenta mayores tensiones en la línea madre y fondeo al poseer 50 % de las boyas respecto al 100%

Tabla 57
Tensión en la línea madre y línea de fondeo en la recepción con el 50 % de las boyas en diferentes combinaciones de carga.

COMBINACIONES DE CARGA CASO 2 (50% BOYAS)							
Análisis	Tensiones línea madre y línea fondeo [Toneladas]						
		OLEAJE					DIRECCIÓN CORRIENTE
		Sin oleaje	Hs 0,5 m Tm 8 S	Hs 1 m Tm 8 s	Hs 1,5 m Tm 8 s	Hs 2 m Tm 8 s	
VELOCIDAD DE CORRIENTE	0,15 [m/s]	0,10	0,43	0,79	2,01	4,08	D: 225° (SW)
	0,30 [m/s]	0,10	0,50	0,99	2,29	4,08	D: 225° (SW)
	0,50 [m/s]	0,17	0,62	1,17	2,57	4,50	D: 225° (SW)
	0,7 [m/s]	0,22	0,75	1,50	3,14	4,95	D: 225° (SW)
	1,0 [m/s]	0,43	1,13	2,66	4,28	6,05	D: 225° (SW)
DIRECCIÓN OLEAJE		-	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	

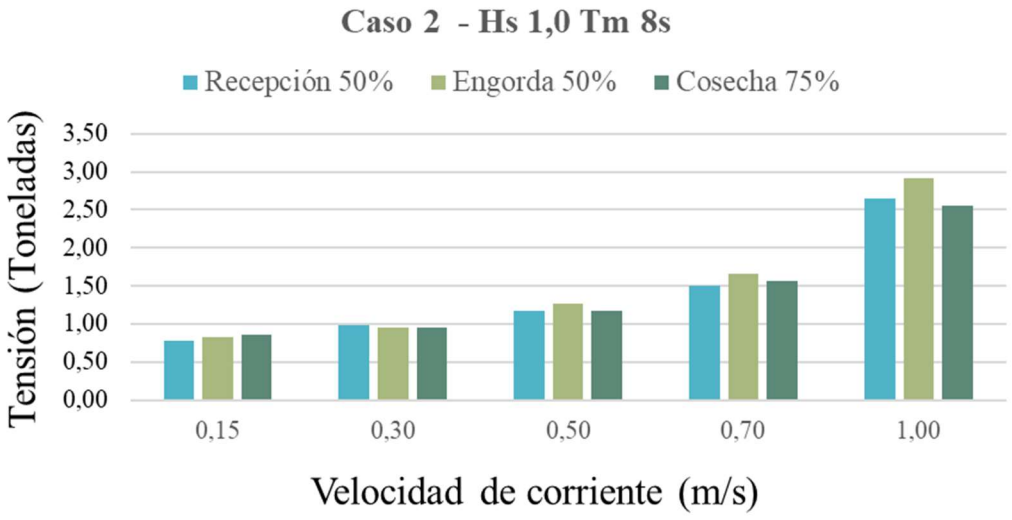

Figura 105. Tensiones de la línea madre y fondeo con el 50 y 75 % de las boyas (caso 2). (Hs=1,0 y Tm=8s).

Tabla 58.
Tensión en chicote en la recepción con el 50 % de las boyas en diferentes combinaciones de carga.

COMBINACIONES DE CARGA CASO 2 (50% BOYAS)							
Análisis	Tensiones chicote [Toneladas]						
		OLEAJE					**DIRECCIÓN CORRIENTE**
		Sin oleaje	**Hs 0,5 m Tm 8 S**	**Hs 1 m Tm 8 s**	**Hs 1,5 m Tm 8 s**	**Hs 2 m Tm 8 s**	
VELOCIDAD DE CORRIENTE	**0,15 [m/s]**	0,03	0,07	0,13	0,23	0,33	**D: 225° (SW)**
	0,30 [m/s]	0,04	0,07	0,15	0,23	0,33	**D: 225° (SW)**
	0,50 [m/s]	0,05	0.09	0,17	0,25	0,35	**D: 225° (SW)**
	0,7 [m/s]	0,06	0,11	0,20	0,31	0,39	**D: 225° (SW)**
	1,0 [m/s]	0,11	0,16	0,28	0,40	0,44	**D: 225° (SW)**
DIRECCIÓN OLEAJE		-	**D: 315° (NW) D: 225° (SW)**	**D: 315° (NW) D: 225° (SW)**	**D: 315° (NW) D: 225° (SW)**	**D: 315° (NW) D: 225° (SW)**	

5.12.4. Propuesta de un sistema de cultivo long-line para desarrollar APE

Considerando las propiedades de los cabos utilizados en Chile para la implementación de cultivos (**Tabla 59**), se presentan las recomendaciones de diámetros para la etapa de recepción considerando el 50 % de las boyas en diferentes combinaciones de carga (**Tabla 60**). En el **Anexo 3** se presentan todos los resultados para los distintos casos, etapas y combinaciones de carga. Finalmente, en la **Figura 106** se presenta como ejemplo, un plano detalle de un sistema de cultivo tipo long-line para una condición de oleaje con un Hs=1,5 m y Tm=8s combinada con una corriente de 0,5 m/s en etapa de cosecha.

Tabla 59.
Propiedades de cabos utilizados en estructuras de cultivos.

Cod. SAP	Tamaño Nominal Diámetro		Circunferencia	Peso Nominal Presentación		Peso Nominal Rendimiento estimado		Carga de Ruptura		
	MM	Pulgadas	(Mena)	Kg./Rollo	Lb./Rollo	m/Kg.	Kg/m.	Kg.	Lb.	kN
48142	6,00	1/4"	3/4"	4,95	10,91	44,44	0,0225	760	1.676	7
48143	8,00	5/16"	1"	8,80	19,40	25,00	0,0400	1.390	3.064	14
48132	10,00	3/8"	1-1/4"	13,64	30,07	16,13	0,0620	2.130	4.696	21
48133	12,00	1/2"	1-1/2"	19,58	43,17	11,24	0,0890	3.040	6.702	30
48134	16,00	5/8"	2"	34,76	76,63	6,33	0,1580	5.380	11.861	53
48135	18,00	3/4"	2-1/4"	44,00	97,00	5,00	0,2000	6.880	15.168	68
48136	22,00	7/8"	2-3/4"	66,00	145,50	3,33	0,3000	10.400	22.928	102
48137	24,00	1"	3"	78,10	172,18	2,82	0,3550	12.300	27.117	121
48139	32,00	1-1/4"	4"	138,60	305,56	1,59	0,6300	20.600	45.415	202
48140	38,00	1-1/2"	4-3/4"	196,46	433,12	1,12	0,8930	28.200	62.170	277
48141	50,00	2"	6-1/4"	337,70	744,50	0,65	1,5350	46.300	102.074	454

Tabla 60.
Diámetros de la línea madre y línea de fondeo en la recepción con el 50 % de las boyas en diferentes combinaciones de carga.

COMBINACIONES DE CARGA CASO 2 (50% BOYAS)							
Análisis	Diámetro (mm) cabos líneas de fondeo y línea madre						
		OLEAJE					DIRECCIÓN CORRIENTE
		Sin oleaje	Hs 0,5 m Tm 8 S	Hs 1 m Tm 8 s	Hs 1,5 m Tm 8 s	Hs 2 m Tm 8 s	
VELOCIDAD DE CORRIENTE	0,15 [m/s]	6,00	8,00	16,00	18,00	22,00	D: 225° (SW)
	0,30 [m/s]	6,00	10,00	16,00	18,00	22,00	D: 225° (SW)
	0,50 [m/s]	6,00	10,00	16,00	22,00	32,00	D: 225° (SW)
	0,7 [m/s]	6,00	12,00	16,00	22,00	32,00	D: 225° (SW)
	1,0 [m/s]	8,00	16,00	22,00	32,00	32,00	D: 225° (SW)
DIRECCIÓN OLEAJE		-	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	D: 315° (NW) D: 225° (SW)	

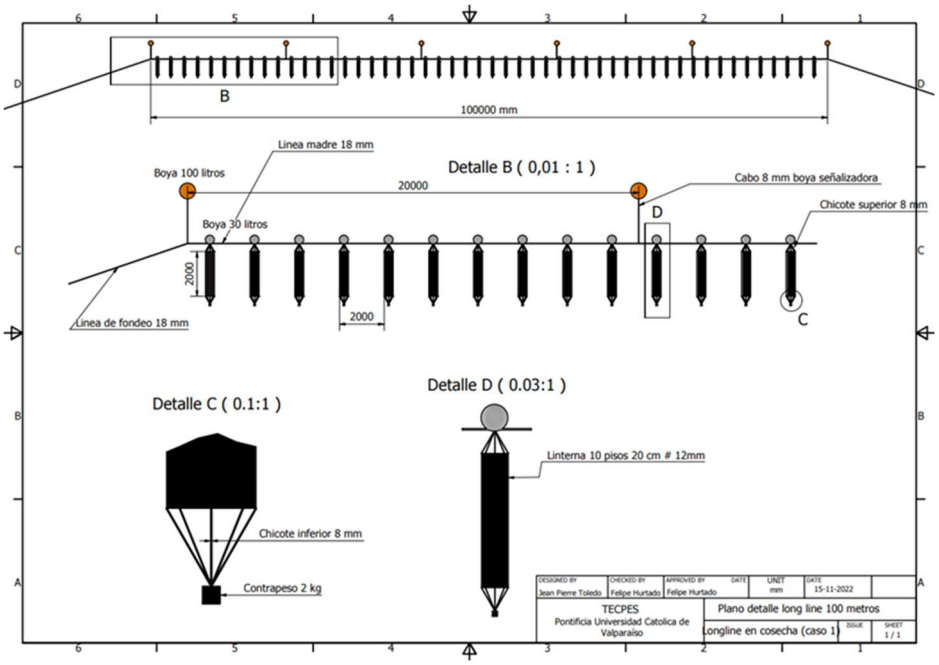

Figura 106. Ejemplo de un plano detalle de un sistema de cultivo tipo long-line para una condición de oleaje con un Hs 1,5 m Tm 8s combinada con una corriente de 0,5 m/s en cosecha.

Objetivo específico 6: *Realizar acciones de difusión asociadas al desarrollo de la acuicultura de pequeña escala.*

5.13. Mantención y actualización de página web APE y RRSS

Durante esta etapa, se mantuvo y actualizó permanentemente el sitio web www.sembrandoelmar.cl, diseñado e implementado en la etapa IV del Programa. Este 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 en el ámbito de la acuicultura de pequeña escala (APE) en Chile. Además, permite almacenar y difundir a la comunidad nacional e internacional, de manera digital, toda la información de las actividades de investigación desarrolladas en el marco del Programa y otras relativas a APE.
El análisis del funcionamiento del sitio web se realizó con la herramienta Google Analytics. Esta herramienta es la más utilizada en el mundo y permite el análisis y seguimiento de las páginas web; con ella es posible monitorear el número de visitantes, países, páginas más visitadas y otros datos.
El análisis del funcionamiento del sitio web durante los últimos 8 meses (5 de julio del 2022 al 13 de marzo 2023). permitió identificar un total de 917 usuarios (**Figura 107**), de los cuales 884 corresponden a nuevos visitantes con un tiempo de interacción medio de 1 minuto y 39 segundos. El nivel más alto de visitas se observa el día 19 de octubre con 21 usuarios.
La **Figura 108** señala la dispersión demográfica de consulta del sitio web; destacando como principales usuarios Chile, Estados Unidos y China con un total de 643, 109 y 68 usuarios respectivamente.
En cuanto al contenido, en los últimos 251 días, se obtienen 2203 visitas de 917 usuarios en total (**Figura 109**); las secciones que obtienen mayores visualizaciones son:

1. Inicio de página web APE con un total de 671 visitas y 469 usuarios
2. Pestaña APE, con un total de 393 visitas y 252 usuarios.
3. Pestaña Publicaciones, 205 visitas y 127 usuarios.

Este sitio web también se encuentra vinculado a las redes sociales Instagram (@repoblacion_y_cultivo_ifop) y Twitter (@arm_labDRC) (**Figura 110**) lo que permite una difusión aún más rápida de los contenidos y actividades del Programa, como también de las últimas publicaciones (científicas, normativa, económicas, manuales, videos etc.) en el ámbito nacional referente a la APE. Instagram posee 105 publicaciones y 851 seguidores mientras que Twitter contiene 86 tweets y 43 seguidores. Entre los usuarios de estas redes sociales se encuentran personas naturales, investigadores e instituciones de investigación nacional e internacional. Instagram ha sido la plataforma digital con mayor popularidad en la comunidad.
Las plataformas digitales utilizadas han permitido la posibilidad de comunicación e intercambio de información con diferentes personas e instituciones que han colaborado en la divulgación de las actividades y productos originados durante el Programa; lo cual permite promover la APE que se desarrolla en Chile.

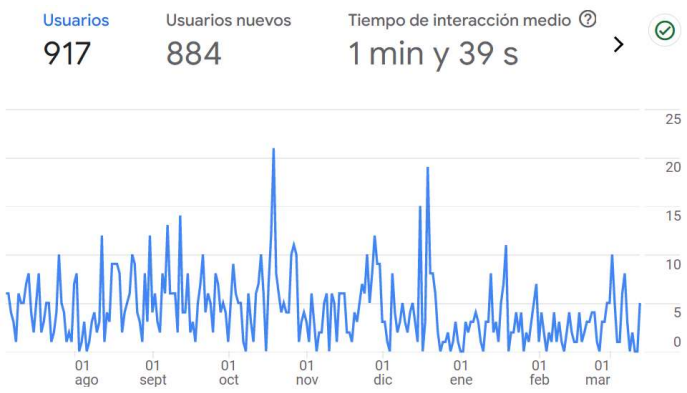

Figura 107. Número de usuarios y tiempo de interacción media del sitio web www.sembrandoelmar.cl durante los últimos 8 meses (5 de julio 2022 al 13 de marzo 2023).

Figura 108. Dispersión demográfica de consulta del sitio web www.sembrandoelmar.cl durante los últimos 8 meses (5 de julio 2022 al 13 de marzo 2023).

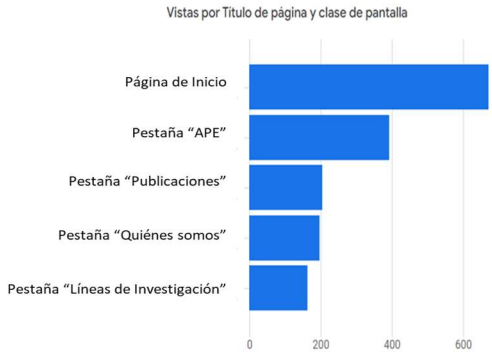

Figura 109. Contenidos más visitados del sitio web www.sembrandoelmar.cl durante los últimos 8 meses (5 de julio 2022 al 13 de marzo 2023).

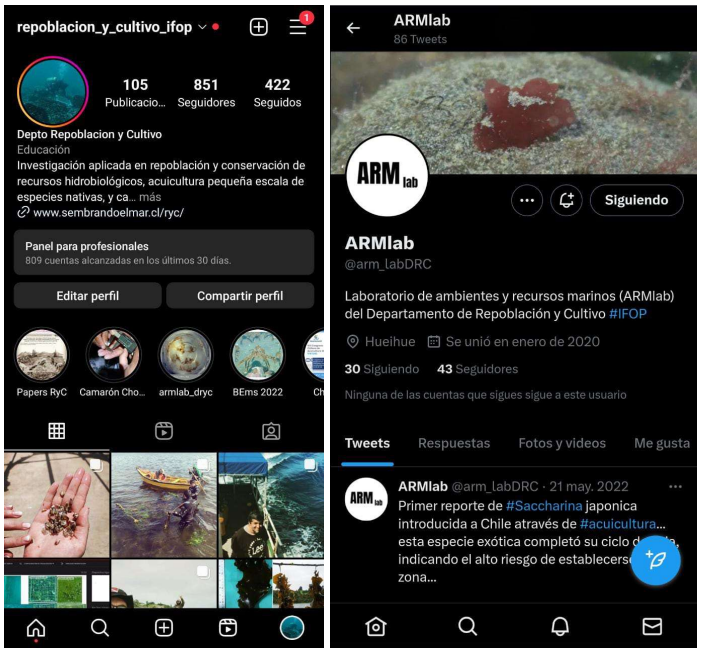

Figura 110. Redes sociales Instagram (@repoblacion_y_cultivo_ifop) y Twitter (@arm_labDRC) vinculadas a la página web www.sembrandoelmar.cl.

5.14. Producción de boletín semestral de actividades y resultados del Programa

En el **Anexo 4** se presenta la estructura y contenidos propuestos para el boletín informativo semestral. El formato será de acuerdo al frecuentemente utilizado por IFOP para este tipo de documentos. Una vez aprobado el presente informe, se procederá a implementar y divulgar este boletín como estándar y con salida semestral.

5.15. Producción de material didáctico y de divulgación APE

En el **Anexo 4** se presentan 3 infografías: i) principales especies para la APE en Chile, ii) policultivos, y iii) APE y cambio climático. Una vez aprobado el presente informe, se procederá a la entrega y divulgación de este material, de acuerdo a lo propuesto en la metodología.

5.16. Actividades generales

5.16.1. Reuniones de Coordinación

Durante el año 2022, se mantuvo contacto frecuente con la contraparte técnica, vía mail, teléfono, videoconferencia y WhatsApp, para informar del desarrollo de las actividades del Programa. Entre otros temas se trataron:

-Estado de Avance de actividades Programa APE 2022
-Organización Talleres APE
-Términos Técnicos de Referencia y Propuesta Técnica Programa APE año 2024
-Otros

5.16.2. Difusión de Resultados del Programa

El Taller de Difusión del Informe Final: "Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura para Pescadores Artesanales y Acuicultores de Pequeña Escala. Etapa VI", se realizó el día miércoles 12 de abril del 2022 en modalidad on-line vía Google Meet. Se presentaron 6 ponencias y contó con una audiencia entre 80-90 personas. El programa, invitación y las respectivas presentaciones se adjuntan en el **Anexo 4**. Una captura de pantalla de las presentaciones se muestra en la **Figura 111**.

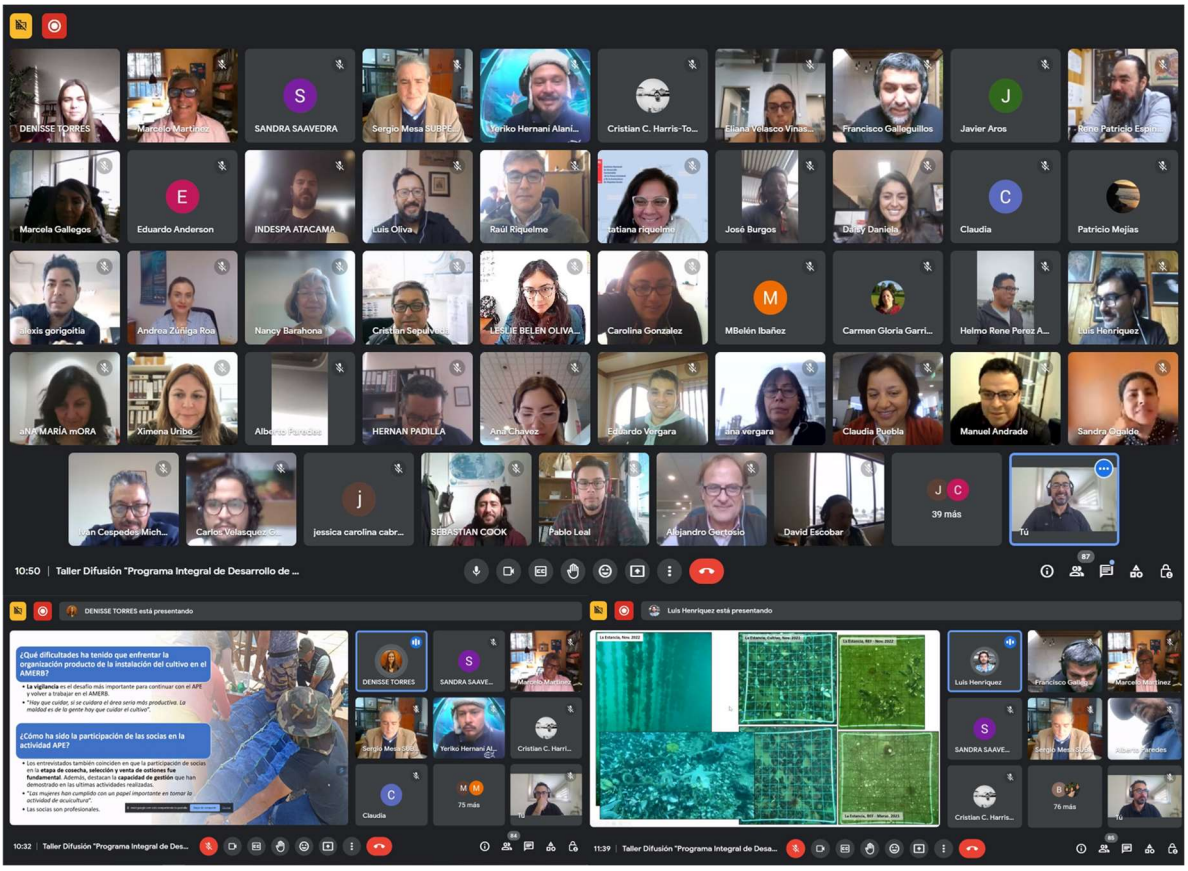

Figura 111. Capturas de pantalla de audiencia y presentaciones realizadas durante el Taller Difusión del Informe Final.

5.16.3. Otras actividades de difusión de resultados

Durante el año 2022, se realizaron otras acciones de difusión y divulgación de contenidos y resultados del Programa APE, entre ellas:

1. Presentación del Programa APE a la División de Fomento e Industria del Gobierno Regional de Los Lagos (29 de abril del 2022).
2. Reunión Técnica con INDESPA Valparaíso por bases Concurso Cultivo Pelillo (2 de mayo del 2022).
3. Presentación del Programa APE a la Dirección Zonal de Pesca y Acuicultura de la Región de Los Lagos (17 de junio del 2022).
4. Entre el 23 y 27 de mayo del 2022 en la ciudad de Concepción se realizó el XLI Congreso de Ciencias del Mar, organizado por la Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC) y la Sociedad Chilena de Ciencias del Mar (SCHCM). En este contexto, se presentaron 2 ponencias: Daniela Uribe – "*Determinación del crecimiento máximo de macroalgas y bivalvos en co-cultivo utilizando la metodología de series de reemplazo De Wit"* y Pablo Leal – "*Generación fotosintética de halo amortiguador de los efectos de la acidificación oceánica sobre el crecimiento y calcificación de bivalvos en co-cultivo".*
5. El 25 de mayo se desarrolló el Simposio "*Acuicultura de Pequeña Escala: Una reflexión multidimensional para su desarrollo sustentable*", organizado por el Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR) y en el marco del XLI Congreso de Ciencias del Mar. Luis Henríquez presentó la ponencia "*Efecto y rol ecológico de la acuicultura a pequeña escala*".
6. Presentación ante el equipo APE de la División de Acuicultura y la División de Administración Pesquera de la SUBPESCA, de los avances de investigación respecto a los bancos emergentes en centros de cultivos APE (24 de noviembre del 2022).

6. DISCUSIÓN

6.1. Revisión y actualización de parámetros y modelos bio-económicos de cultivos APE

Los cultivos de algas en Quinchao presentan históricamente resultados biológico–productivos insatisfactorios para sostener un cultivo comercial. En efecto, los resultados del ciclo productivo 2022 están en línea con los bajos rendimientos productivos descritos en informes anteriores, habiendo casos donde la biomasa sembrada no ha podido prosperar y las tasas de crecimiento suelen ser negativas o en el mejor de los casos la capacidad de carga de las cuerdas no supera un kilo de biomasa por cuerda. En el mejor de los casos se podría evaluar la posibilidad de cambiar el sistema de cultivo, hacia uno más económico, en cuyo caso el cultivo de fondo con estacas podría ser evaluado.

En Hueihue fue primera vez que era evaluada en términos de rendimientos de cultivos algales suspendidos, basados en un sistema de plansa. No obstante, el resultado biológico – productivo del único ciclo observado, ciclo 2022, sugiere que este sitio aún no presenta resultados económicamente viables o atractivos. Sin embargo, el resultado de un solo ciclo puede ser insuficiente para sostener definitivamente esta apreciación.

En Pudeto se reafirma lo concluido en años anteriores, en el sentido que los cultivos mixtos de pelillo y moluscos no muestran los resultados esperados inicialmente. En efecto, se esperaba que los desechos nitrogenados de los moluscos pudieran actual como un estímulo para el crecimiento de pelillo, situación que no se evidenció. En cuanto al rendimiento biológico – productivo del pelillo, se observa un mejor desempeño cuando el alga crece en ausencia de moluscos. Sin embargo, no se pudo evaluar el desempeño bioeconómico del ciclo productivo 2022 con respecto a otras temporadas de cultivo por cuanto las condiciones iniciales del cultivo no fueron comparables a las de años anteriores. En este sentido, la carga de biomasa inicial fue menor a la usada anteriormente y el cultivo comenzó en invierno, mientras que anteriormente había sido en torno al inicio de primavera.

Finalmente, el rendimiento productivo del ciclo 2022 es promisorio ya que con una menor carga inicial se llegó a observar cuerdas con 10 kg de biomasa con tasas de crecimiento aun positivas. Lamentablemente, el ciclo fue terminado anticipadamente lo que impidió determinar la capacidad de carga promedio de las cuerdas y poder así llevar a cabo un análisis comparativo respecto de los resultados de años anteriores. Así, no fue posible evaluar si comenzar antes el cultivo con una densidad de siembra menor, rinde mejores resultados financieros que comenzarlo a inicio de primavera con una densidad de siembra de alrededor 1,48 kg cuerda^{-1} como fue el caso del ciclo 2021.

Un resumen de los resultados biológico – productivos se muestra en la **Tabla 61**. En ella se puede observar que hay variación espacial en las capacidades de carga de las cuerdas, es decir, que el resultado biológico – productivo depende de la localidad de cultivo y que varía de localidad en localidad. En Hueihue el cultivo de chicorea para el ciclo de producción 2021 fue fallido ya que la biomasa inicial sembrada disminuyó hasta desaparecer sin mostrar evidencia de crecimiento. En cambio, en Quinchao los resultados fueron similares a lo observado en la Etapa IV.

En el caso de la especie pelillo sí hubo crecimiento. En Hueihue los mejores resultados se observaron asociados al experimento de baja densidad, lo que se repitió en la localidad de Quinchao. En el caso del pelillo cultivado en conjunto con los moluscos los resultados indican que el crecimiento de biomasa de pelillo es menor en ambos casos (pelillo – ostras y pelillo – choro zapato) que en la situación control en la cual el pelillo creció en ausencia de estas especies. En este sentido no se observó una externalidad positiva en los cultivos mixtos.

Tabla 61.
Resultados biológico - productivo por recurso, localidad y densidad de siembra.

Especie	Localidad	Densidad Inicial	Capacidad de carga promedio (K)	Unidades	observaciones
Chicorea de mar	Hueihue	0,601	-	kg / cuerda	El cultivo se interrumpió prematuramente
		0,250	-	kg / cuerda	El cultivo se interrumpió prematuramente
	Quinchao	0,500	1,00	kg / cuerda	Similar al observado en la Etapa IV
		0,250	1,00	kg / cuerda	Similar al observado en la Etapa IV
Pelillo	Hueihue	0,943	3,50	kg / cuerda	
		0,500	**4,80**	kg / cuerda	
	Quinchao	1,000	2,40	kg / cuerda	
		0,500	**2,64**	kg / cuerda	
	Pudeto	1,480	6,06	kg / cuerda	Control experimental
			8,10	kg / cuerda	Agrupando resultados de Etapa IV y VI
			~ 5,50		Resultado Etapa IV pelillo - ostras
		1,200	~ 1,50		Estimado Etapa VI pelillo - ostras
			~ 2,50		Resultado Etapa IV pelillo - choro zapato
		1,460	~ 2,30		Estimado Etapa VI pelillo - choro zapato

Este desempeño biológico – productivo tiene repercusiones en el resultado bioeconómico de los cultivos. En efecto, en el caso del pelillo, en aquellas localidades donde se utilizó la plansa como sistema de cultivo, los resultados económicos mostraron que la productividad no fue lo suficientemente alta como para cubrir el mayor costo de cultivo, el que a su vez mostró como principal costo la depreciación de las plansas. En este sentido, o bien se busca un diseño de plansa que resulte menos costoso o, como alternativa, se requiere cambiar el sistema de cultivo a uno más productivo y menos costoso. En el caso de pelillo cultivado en sistema de estacas en Pudeto se evidenció una mayor productividad (una capacidad de carga de 8 kg por cuerda) versus los 4,8 y 2,64 en Hueihue y Quinchao, respectivamente, aunque se desconoce si esta diferencia es por el tipo de sistema de cultivo y/o un atributo particular del sitio de cultivo en sí.

El análisis histórico de los ciclos cerrados entre 2019 – 2021 muestra que en Pudeto (**Tabla** Error! Reference source not found.**62**) el cultivo en estaca puede ser altamente rentable si los costos operativos son cubiertos por el cultivo asociado de moluscos. No ocurre lo mismo con el cultivo asociado a las camillas. Como se mencionó anteriormente, en este tipo de sistema de cultivo el desempeño biológico – productivo del pelillo no refleja la expectativa de mejor crecimiento al aprovechar los desechos nitrogenados de los moluscos asociados al cultivo. Tanto en 2019 como en 2021 el resultado económico fue negativo.

Tabla 62.
Resultados económicos históricos obtenidos en las tres localidades analizadas en esta etapa. Indica que en para el año 2021 los costos asociados a sueldos se traspasaron al eventual desempeño económico del cultivo de moluscos.

Localidad	Tipo de cultivo	Especie	2019	2020	2021
Pudeto	Camilla	Ostra	-	+	?
	Camilla	Choro zapato	-	+	?
	Estacas	Pelillo	-	-	+ (1)
	Camilla	Pelillo	-	+	- (1)
Quinchao	Plansa	Chicoria	-	-	-
	Plansa	Pelillo	-	-	-
Hueihue	Plansa	Chicoria			-
	Plansa	Pelillo			-

Por otra parte, los resultados obtenidos para Quinchao muestran que esta localidad no es atractiva para el cultivo comercial, al menos para un cultivo basado en plansas. En este sentido, como se mencionó anteriormente, o se cambia el sistema de cultivo o bien se mantiene, pero más bien como un sistema para entrenamiento o demostrativo de APE.
Algo similar se puede decir para la localidad de Hueihue, donde los resultados económicos también fueron negativos, aunque en este caso se tiene solo un *yearclass* de resultados.

6.2. Propuesta de recomendación de modelos socio-organizacionales y administrativos para el desarrollo efectivo de APE

6.2.1. Arreglos organizacionales alternativos

El análisis de la base de datos proporcionada por SERNAPESCA es congruente con el registro preliminar de titulares APE por categoría, establecido momentáneamente en la Resolución Exenta 0809-2022 que fija el listado de acuicultores/as de pequeña escala conforme al artículo 7 transitorio del D.S. N°45 de 2021, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo; y la Resolución Exenta 230-2022 que determina la nómina de acuicultores/as de pequeña escala, conforme al artículo 8° transitorio del D.S. N° 45 de 2021, del actual Ministerio de Economia, Fomento y Turismo. En ese sentido, el mayor número de titulares APE corresponde a personas naturales, siendo los Sindicatos una fracción menor de los titulares de centros de cultivo APE. En este escenario, las recomendaciones de modelos socio-organizacionales alternativos deberán focalizarse en un universo de titularidad acotado.
Se constata desde la revisión bibliográfica y del análisis de datos sectoriales que el "problema" detectado, vinculado a una carencia de un arreglo jurídico sustentado que permita que un subgrupo de personas que forman un colectivo (e.g., Sindicato, Asociación Gremial, Cooperativa) desarrolle de forma regulada actividades de acuicultura dentro de espacios como concesiones de acuicultura o AMERB, sólo se manifiesta como un "problema" recurrentemente indicado dentro de las AMERB,

especialmente en aquellas que han tenido una vocación histórica vinculada a la extracción de recursos bentónicos y no en espacios que tienen una vocación de uso (*de facto*) en actividades productivas diferentes.

Como prueba de la afirmación anterior, durante las Etapas II y IV de presente Programa, se levantó información socio-organizacional y productiva de diferentes OPA en territorios de las regiones de Atacama, Coquimbo, Los Ríos y Los Lagos. Muchas de las OPA entrevistadas aún realizan labores de colecta de semillas dentro de AMERB, sin embargo, la dinámica de trabajo es individual y no colectiva, es decir, por ejemplo el nombre del Sindicato solo aparece en las Guías de Despacho vinculadas a la venta o transporte de colectores, pero el espacio dentro de la AMERB donde se colecta la semilla de chorito es asignado en forma individual (a nivel de persona o familia), y cada uno de ellos es responsable de la gestión productiva, logística y a veces comercial vinculada al negocio de la venta de colectores. Es decir, el espacio AMERB en definitiva termina alojando una serie de emprendimientos individuales o familiares que deben hacerse cargo de la compra de materiales para calar líneas de cultivo (long-lines), instalarlos, comprar materiales para hacer colectores, calar los colectores, entre otros. En algunas ocasiones, que fueron descritas por los entrevistados, se hacen trabajos comunitarios de vigilancia o mantención de long-lines, pero el grueso de la gestión es de carácter individual. Dicho de otra forma, el voluntarismo y disposición a invertir de manera individual determina el volumen de venta o actividad en estos tipos de "arreglos" respecto del uso de un espacio que en espíritu es "común", asumiendo quizás erróneamente que el trabajo también lo será.

En AMERB con vocación histórica de explotación de recursos bentónicos, la cuestión analizada cambia. Aquí los Sindicatos que manifiestan intención o que han implementado actividades APE reconocen como debilidad que pocas personas se involucran. Esto se explica porque tradicionalmente los Sindicatos han repartido en partes, muchas veces iguales, entre todos los socios o sus familiares (estén activos o no) las ganancias de los negocios emprendidos. Esto tiene a veces lógicas muy vinculadas con asistencia a integrantes del grupo en situación vulnerable (e.g. viudas de buzos, ancianos en situación de discapacidad), las que, si bien son valoradas, atentan a veces contra la dinamización de nuevas actividades. Esta información ha sido recogida en forma complementaria por el equipo de trabajo durante el desarrollo de este trabajo y otras iniciativas emprendidas, como el estudio FIPA 2013-23, FIPA 2014-15 y FIPA 2022-24[4], en instancias de *focus group* o talleres. El estudio de caso desarrollado en esta Etapa muestra que una OPA que originalmente pidió una AMERB para explotación tradicional de recursos bentónicos, hoy, con la incorporación de la APE como un medio de vida alternativo, debe emprender un proceso de revisión de su funcionamiento interno y estatutos, sin que en la institucionalidad se visualice un arreglo organizacional que dé cuenta de sus actuales necesidades.

6.2.2. Estudio de caso APE en AMERB Chungungo B

Según la percepción de los socios, la APE en el AMERB Chungungo B, ha impactado positivamente a la organización comunitaria Los Castillo, existiendo una revalorización del área. Se ha documentado

[4] FIPA 2013-23. Estudios de emplazamiento de áreas de acuicultura de pequeña escala en la zona norte" (Regiones XV a IV).
FIPA 2014-15. Evaluación directa de macroalgas / impacto de la extracción sobre la comunidad bentónica, I Región.
FIPA 2022-24. Levantamiento de un Plan Estratégico de mediano y largo plazo para la Acuicultura de Pequeña Escala en Chile.

que el bajo desempeño económico de las AMERB puede ser una forzante de la implementación de actividades de APE (Zuniga et al. 2010).
La comercialización fue el gran desencadenante de cambios dentro de la OPA, resurgiendo el interés por el área y el cultivo. La actividad APE provoco un afiatamiento de la organización: Al ser una organización familiar primó el trabajo por el bien común. Esta acción colectiva les permite resolver problemas, idear soluciones y trabajar con mayor coordinación y es un elemento fundamental en la incorporación de tecnologías (Sepúlveda 2016).
Sobre la consolidación de actividad APE se espera que exista una apropiación cultural (adopción de prácticas) por parte de los socios de la OPA. La apropiación cultural requiere también de programas flexibles, que permitan la adaptación a las particularidades locales (Sepúlveda 2016).
Para la organización, la participación de las mujeres en la actividad ha sido fundamental durante todo el proceso. Esto coincide con los resultados reportados en la etapa IV del Programa. La participación formal de las mujeres de la pesca artesanal chilena ha tenido un crecimiento sostenido en las dos últimas décadas, representando casi un 25% del registro total de pescadores a nivel nacional (Álvarez Burgos 2021). Según FAO (2015), la acuicultura aparece como la actividad que ofrece mejores condiciones laborales para las mujeres y es la que resulta más atractiva para las mujeres más jóvenes, que presentan niveles más altos de educación formal.
La evaluación de las organizaciones a través de metodologías como el enfoque de medios de vida sostenible, permite encauzar el trabajo desde el inicio de una actividad APE, potenciando los capitales que las organizaciones poseen.

6.3. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos de macroalgas y multi-especies en el norte y sur de Chile

6.3.1. Monitoreo del desempeño productivo y ambiental cultivos

6.3.1.1. Cultivos macroalgas, sitios Quinchao, Pudeto y Hueihue

Para el caso de chicoria (*C. chamissoi*) en el sitio de cultivo Quinchao, el crecimiento de la biomasa al día 118 fue similar para los tratamientos alta densidad, baja densidad y control de alta densidad (0.27,0.28 y 0.25 Kg/ 5m, respectivamente). Para el tratamiento control de baja densidad el crecimiento fue mayor (0.35 Kg) en comparación con los otros tratamientos. Posterior a la poda, todos los tratamientos presentaron una disminución en comparación a su biomasa inicial, esto sumado a la aparición de organismos epibiontes en el cultivo, que afecta el crecimiento del recurso (Lüning & Pang 2003). En el sitio de cultivo Hueihue, se observaron crecimientos de biomasa mayores a los del sitio Quinchao. El crecimiento en biomasa al día 91 (máximos de biomasa observados), fue similar para los tratamientos alta y baja densidad (1.02 y 1.03 Kg). Para los tratamientos control de alta y baja densidad, los valores observados fueron mayores a los otros tratamientos (1.24 y 1.13 Kg respectivamente). Para este recurso luego de la poda realizada en el sitio Quinchao se obtuvieron 1.8 kg, en el caso de Hueihue no se realizó la poda para el recurso chicoria, debido a problemas de las estructuras de cultivo y el poco crecimiento alcanzado a la fecha propuesta para realización de la poda. Los resultados muestran que el desempeño de este recurso depende del sitio en el cual se está

cultivando. La aparición de organismos epibiontes en las líneas de cultivo, son un factor importante en el desarrollo, ya que influencian directamente la biomasa final obtenida. El manejo adecuado y limpieza de las estructuras periódicamente, puede favorecer la obtención de biomasa consistente. En comparación con cultivos anteriores, posterior a la poda, la biomasa era capaz de crecer sin problema, caso contrario a lo observado en este ciclo, en el cual se evidenció un manejo deficiente de los cultivos, por lo que los resultados obtenidos demuestran el rol preponderante del cultivador en el desarrollo de éstos.

Para pelillo (*G. chilensis*) en el sitio de cultivo Quinchao, el crecimiento observado fue variable para cada uno de los tratamientos y en distintos periodos del cultivo. Para el caso de las algas de alta densidad, el valor máximo observado fue durante septiembre 2022, para las algas de baja densidad fue durante noviembre, para el control de alta densidad durante octubre y para el control de baja densidad en julio. Esto evidencia que el crecimiento observado se comporta de forma distinta en los sitios de cultivo, sumado a las características ambientales y al manejo aplicado. En el sitio Hueihue el escenario fue distinto, ya que, los crecimientos máximos en biomasa observados fueron durante el quinto y sexto mes de monitoreo. Cabe destacar que, en este sitio, se perdió la totalidad de este recurso debido al problema de corte en la línea madre, debiendo incorporar nueva biomasa algal para continuar el ciclo de cultivo. Esto puede haber influenciado el crecimiento posterior a la incorporación del recurso, al contrario de lo observado en Quinchao donde comenzó a disminuir posterior a la poda aplicada. Para ambos sitios se logró realizar una poda, lo que evidencia que es posible obtener nueva biomasa luego de dos a tres meses de iniciado el cultivo (Quinchao: 5.11 Kg cosechados en la poda; Hueihue: 11.38 Kg cosechados en la poda), pero también se ven influenciados por la variabilidad ambiental del sitio donde se cultivan. Sin embargo, el manejo deficiente de los cultivos disminuye la productividad de la técnica, comparado con experiencias anteriores (Cárcamo et al. 2022).

Para pelillo (*G.chilensis*) en el sitio de cultivo Pudeto, se obtuvieron los mejores rendimientos en biomasa, obtenidos al final del ciclo de cultivo (diciembre 2022), donde el tratamiento solo alga obtuvo un mejor rendimiento (11.44 Kg) en comparación a los tratamientos pelillo + ostra (3.79 Kg) y pelillo + choro zapato (3.44 Kg). El tratamiento solo alga obtuvo el mejor desempeño. Los tratamientos pelillo + ostra y pelillo + choro zapato, fueron similares a los obtenidos para el mismo recurso en el sitio de cultivo Hueihue. Los valores de biomasa más bajos fueron los observados en el sitio de cultivo Quinchao. Esto evidencia que el sitio de cultivo y las características ambientales de cada uno de ellos influyen en el desempeño productivo que puedan obtener los recursos.

6.3.1.2. Co- cultivo macroalgas-bivalvos (G.chilensis – C. gigas; G.chilensis – C. chorus), sitio Pudeto

Para el caso de los co-cultivos realizados en el sitio Pudeto, los crecimientos observados fueron similares entre tratamientos, obteniendo valores levemente mayores para los cultivados en conjunto con el recurso pelillo. Estos recursos muestran un crecimiento sostenido durante todo el periodo de cultivo entre tratamientos. No se observa una disminución o estancamiento del crecimiento para ambos recursos y se observan valores similares a los obtenidos en ciclos de cultivos anteriores realizados por IFOP (Cárcamo et al. 2021, 2022). Se observa que las características del sitio, permiten el desarrollo de estos recursos de manera positiva, lo que refuerza que la incorporación de estos

organismos a los cultivos, permite ampliar la diversificación de recursos cultivables para las OPA que históricamente han sido mono-cultivadoras de pelillo.

6.3.1.3. Monitoreo ambiental. Nutrientes

Para el caso de los nutrientes, estos se mantienen dentro de los rangos reportados para los sitios de estudio, siendo similares a los reportados en informes anteriores realizados por IFOP (Cárcamo et al. 2021, 2022).

6.3.1.4. Cultivos en AMERB Chungungo B

La implementación del segundo ciclo de cultivo de ostión del norte obtuvo mejores resultados en cuanto a crecimiento y sobrevivencia que el primero. En el primer ciclo, ejecutado en la etapa V del programa, el cultivo tuvo una alta mortalidad que pudo ocasionarse por la baja talla de siembra y por la calidad de la semilla. Las valvas presentaron una gran fragilidad y un aumento en el fouling, lo que explicaría la mortalidad de individuos de mayor tamaño. Según algunos autores (Duggan 1973, Wildish et al. 1988), el fouling por organismos incrustantes es un factor limitante en el crecimiento de ya que limita la circulación de agua y de alimento al interior de las estructuras de cultivo, razones por la cual no pudo comercializarse la cosecha. Sin embargo, en el segundo ciclo, los individuos sembrados fueron más grandes, lo que se tradujo en una baja considerable en la mortalidad acumulada (26.6%) y en un tiempo menor de cultivo. Por otra parte, el crecimiento registrado fue de 0,28 mm d^{-1}, similar al registrado por Soto (2012) en Bahía Inglesa (0,26 mm d^{-1}). También cabe destacar, que los buenos resultados obtenidos han permitido la cosecha y comercialización de individuos vivos y desconchados por kilo en la localidad de Chungungo, durante la temporada estival, generando ingresos a la OPA, incentivando la continuación de la actividad APE. El cultivo de huiro *M. pyrifera* fue iniciado a fines del 2021, y si bien, tuvo un buen desarrollo productivo, no se ha podido comercializar ni encontrar un destino final para la biomasa obtenida. En términos de crecimiento, los resultados obtenidos son similares a los registrados en otros estudios realizados (Gutierrez et al. 2006, Buschmann et al. 2008, Macchiavello et al. 2010).

En este ciclo también se sembró ostra japonesa, sin embargo, durante esta etapa hubo dificultades en la proveeduría de semillas, por lo que la siembra ocurrió a principio del año 2023 y, por lo tanto, el cultivo continúa en crecimiento y monitoreo, lo que será reportado en la siguiente etapa. En el ciclo de cultivo anterior se obtuvieron resultados similares a los publicados en la literatura. Díaz & Sobenes (2022), obtuvieron un crecimiento de 0,08 y 0,09 mm $día^{-1}$, valores menores a los registrados en el primer ciclo de cultivo. En cuanto a la supervivencia, Lodeiros et al. (2018) estimaron una sobrevivencia del 60 al 65% en las costas ecuatorianas. Según Chávez-Villalba (2014) los reportes sobre la supervivencia muestran una fluctuación importante con registros desde 11% hasta el 100% en México. Los resultados del primer ciclo de cultivo mostraron una supervivencia superior al 75%. Sin embargo, la gran colonización de cirrípedos en las conchas y en las estructuras de cultivo, no permitió la comercialización de los individuos.

6.3.2. Cultivo de fondo de huiro palo *L. trabeculata*

En esta etapa se monitoreo el cultivo de fondo iniciado el año 2021. Este monitoreo mostró una pérdida total del material inicialmente sembrado. El desprendimiento y pérdida de las plántulas sembradas observado, puede ser explicado, inicialmente, por una combinación de factores. El tamaño de las plántulas fue superior al utilizado en la primera experiencia del año 2019 (i.e., plántulas con discos de fijación de mayor tamaño y mayor cantidad de estipes), demandando una mayor cantidad de cianoacrilato para mejorar la adhesión de plántulas que ofrecen mayor resistencia a la corriente y marejadas que se observaron post-siembra. Estudios anteriores (Westermeier et al. 2014), probaron distintas metodologías de adhesión de fragmentos de discos de *L. berteroana* y *M. pyrifera* en la región de Atacama. Entre las técnicas probadas, 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 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 plántulas. Además, el efecto abrasivo de las partículas de arena puede ser crítico, dañando estrías y desprendiendo individuos completos. De seguir en alguna instancia con la experiencia de cultivo de fondo, se sugiere experimentar con otras metodologías de adhesión de plántulas o utilizar plántulas de menor tamaño.

6.4. Validación de modelo de gestión y productivo para APE en base a portafolio multi-especies propuesto para la zona sur (Fase 2)

Los resultados logrados a la fecha para la validación del modelo en base a portafolio dan señales positivas en cuanto a la viabilidad de esta propuesta. Los recursos chorito y choro zapato, cultivados en sistemas suspendidos en el centro de cultivo Huiehue, mostraron un crecimiento satisfactorio entre octubre 2021 y mayo 2022. En el caso del chorito, a mayo de 2022, los individuos alcanzaron una talla que permite su comercialización (Justo García, *com. pers.*), lo que de paso permitiría liberar capacidad productiva (espacio en long-lines), generar ingresos producto de su venta y re-ingresar semillas para el inicio de un nuevo ciclo productivo. En el caso del choro zapato, este recurso fue cultivado en sistemas suspendidos similares al chorito (cuerdas dispuestas en sentido vertical), alcanzando tallas cercanas a los 5 cm en mayo de 2022. Cultivadores experimentados de mitílidos (Justo García, *com. pers.*) coinciden en que este recurso, cultivado en sistemas suspendidos, se estancan en su crecimiento a tallas entre 5 y 6 cm de longitud total. Sin embargo, cuando estos individuos son trasladados desde los sistemas verticales (colectores) a cajas (manteniendo la modalidad de cultivo suspendido), continúa el crecimiento, pudiendo alcanzar tallas entre 8 y 10 cm.

Los recursos ostión del norte y ostra japonesa, si bien han crecido en talla y peso satisfactoriamente, no han alcanzado tallas que permitan su comercialización. En ese sentido, las acciones de manejo desarrolladas en esta fase experimental de la validación del sistema portafolio para estos recursos (i.e., cambio de estructura de cultivo, pasando de pearl-net a linterna; reducción de densidad de cultivo a 20-25 individuos por piso) es un requisito de manejo del cultivo clave e imperativo a desarrollar para que este tipo de recursos continúe su crecimiento y alcance tallas comerciales en corto tiempo. Para el caso del recurso ostra japonesa, llama la atención la gran variabilidad observada en el último control,

tanto en peso como en talla. Esta variabilidad podría estar asociada a una condición de manejo adicional para este recurso, la cual consiste en agitar mecánicamente los sistemas de cultivo (pearl nets, linternas u otros) donde crece el recurso, a fin de gastar los bordes de las valvas y mejorar las capacidades de filtración de los individuos.

6.5. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de macroalgas y bivalvos co-cultivados (Fase 4)

Los resultados demuestran que existe un beneficio, en términos de RRT, de co-cultivar macroalgas junto con choritos en comparación con monocultivos. En el presente experimento, el RRT fue > 1,0 en co-cultivos de las tres combinaciones de co-cultivo de reemplazo. Esto resultados son comparables a lo observado en las etapas anteriores, donde el RRT también fue significativamente mayor en co-cultivos de bivalvos con *C. chamissoi* y *C. gigas,* y *S. skottsbergii* y *C. gigas* (Cárcamo et al. 2020, 2021a). Esto demuestra que existen beneficios mutuos al cultivar estas especies en un mismo espacio (Fernández et al. 2019, Hargrave et al. 2022), y la consistencia en la utilidad del uso de las series de reemplazo De Wit en un contexto de APE (Cárcamo et al. 2021a).

Las relaciones entre organismos marinos dependen de la interacción con factores medioambientales (Fernández et al. 2019). En este contexto, el RRT varió dependiendo de las condiciones de recambio de agua experimental con un RRT mayor en el tratamiento de recambio de agua rápido que en el lento (excepto en *C. chamissoi – M. chilensis*). Observamos que las fecas y pseudofecas se acumularon más en el tratamiento de recambio de agua lento que en el rápido, especialmente en el talo de las macroalgas, que es similar a lo descrito para co-cultivos de bivalvos y macroalgas en el ambiente natural (Newell 2007). Esto podría explicar las bajas tasa de crecimiento, y bajo RRT, de *M. pyrifera* en la proporción 1:1 en recambio de agua lento, donde los desechos acumulados en la superficie de la macroalga podrían haber afectado su capacidad fotosintética, entre otras respuestas fisiológicas(Hurd 2000, Newell 2007). Sin embargo, en las otras dos especies de macroalga, la acumulación de desechos en el medio de cultivo no tuvo efectos en las tasas de crecimiento, posiblemente, porque el amonio asociado a los desechos del bivalvo pudo ser utilizado para crecimiento (Hurd 2000). El recambio de agua rápido, permitió una mayor transferencia de nutrientes a la superficie de la macroalga y una menor acumulación de desechos (Hurd 2000). En el caso de los bivalvos, el recambio de agua no tuvo efectos notorios en el crecimiento, indicando que son más resilientes a este factor que las macroalgas. Esta información destaca la necesidad de incorporar las condiciones hidrodinámicas locales para el desarrollo de co-cultivos en el ambiente natural.

El IC y el IRP han sido usados para estimar el valor del bivalvo para su explotación y consumo ya que estos índices son proporcionales a la talla (Dare & Edwards 1975, Acosta et al. 2006). Ambos índices fueron significativamente mayores en bivalvos en co-cultivos que en mono-cultivos. Esto indica que el estado nutricional y calidad comercial son favorecidas en presencia de las macroalgas, demostrando otro beneficio de los co-cultivos para la APE. Sin embargo, es importante considerar que los especímenes de *M. chilensis* correspondían a organismos juveniles (> 2,5 cm) al finalizar el experimento, por lo que los índices podrían variar al llegar a la talla comercial (5 cm). Por lo tanto, es necesario realizar un experimento en el ambiente natural de mayor duración para determinar si el IC y IRP son mayores en co-cultivos que en mono-cultivos.

Se han descrito varios beneficios de implementar cultivos de bivalvos y macroalgas en un mismo sitio. Estos beneficios incluyen un mayor crecimiento por la utilización de desechos metabólicos de cada especie, como el amonio, urea y CO_2 excretados por bivalvos que pueden favorecer el crecimiento y fotosíntesis en macroalgas, mientras que el O_2 fotosintético y detritus macroalgal pueden beneficiar a los bivalvos en cultivo (Fernández et al. 2019, Young et al. 2022). Además, la biofiltración de los bivalvos reduce la presencia de larvas y/o esporas de macroalgas (Fernández et al. 2019, Hargrave et al. 2022), disminuyendo la probabilidad de aparición de epibiontes (*Rhizoclonium* sp. y *Metridium* sp.), que generarían efectos negativos en la producción de los organismos cultivados. Los bivalvos, también por biofiltración, reducen la turbidez del agua de mar, estimulando la producción de pigmentos fotosintéticos, lo que beneficia la producción de biomasa en macroalgas (Hargrave et al. 2022). Recientemente, la acuicultura está buscando herramientas para mitigar los efectos de factores relacionados a la crisis climática, tales como la acidificación oceánica (AO), factor que tiene el potencial de afectar negativamente a la industria mitilicultura en Chile y el mundo. La incorporación de macroalgas a cultivos de bivalvos contrarrestaría los efectos negativos de la AO sobre éstos (Fernández et al. 2019).Por lo tanto, el co-cultivo sería una potencial herramienta para solucionar los problemas más frecuentes en la acuicultura mono-especifica, pero aún se necesita investigación que lo demuestre empíricamente y mayor escala productiva.

6.6. Determinación del efecto del origen o fuente de semillas sobre la calidad del pelillo *G. chilensis*

En macroalgas, la dispersión es un proceso clave para la mantención y renovación de poblaciones locales, así como también para la colonización de nuevos ambientes (Blanchette 1997, Ceccherelli & Cinelli 1999, Thomsen & Wernberg 2005, Oróstica et al. 2012, Burnett & Koehl 2022). En *G. chilensis*, la propagación de fragmentos vegetativos es un mecanismo importante de reproducción asexual. La fragmentación de talos puede ser ocasionada por la acción de fuerzas naturales (oleaje, corrientes, herbivoría) y por acción antropogénica (e.g., trasplante de cultivos, cosecha de praderas naturales). En este contexto, los acuicultores de Maullín indicaron que el pelillo cultivado en Amortajado era débil, fragmentándose con facilidad al ser cosechado manualmente. Contrariamente a esta información, nuestros resultados mostraron que el pelillo de Amortajado y Pudeto resistió mayor peso patrón (> fuerza de ruptura), mientras que el pelillo de Putemún mostró el tejido más débil (< fuerza de ruptura) en mediciones de terreno. En laboratorio se observó una respuesta similar en la fuerza de ruptura del pelillo proveniente de los tres sitios de estudio, pero solamente en otoño. En primavera, la resistencia del tejido de pelillo se redujo a cerca de 1 N en todos los sitios. Esto podría estar relacionado con el crecimiento de pelillo en laboratorio, donde la tasa de crecimiento del pelillo fue menor en otoño que en primavera, indicando la presencia de tejido adulto con alta resistencia a la fragmentación por acción mecánica. Durante primavera, las tasas de crecimiento aumentaron cerca de 2 veces en comparación al otoño, sugiriendo la aparición de tejido joven, que sería más susceptible a ser fragmentado por acción mecánica. Nuestros resultados sugieren que la resistencia a fragmentación por acción mecánica depende del lugar de origen de la especie y que varía estacionalmente.

Las características morfológicas de las macroalgas podrían ser indicadores de fragmentación de los talos. En este estudio, el diámetro de filamento no tuvo una relación con la fuerza de ruptura en pelillo

de los tres sitios en laboratorio y terreno, durante las dos estaciones. Esto indica que el diámetro de filamento no sería un buen predictor de la fragilidad del talo de pelillo. Con este fin, un mejor predictor sería la flexibilidad del tejido, y existen dos mecanismos por los cuales las macroalgas usan este mecanismo para reducir los efectos del arrastre. Uno es "ir con la corriente" lo que reduce la velocidad del agua alrededor del talo, mientras que el segundo es llamado reconfiguración, en el cual el tamaño y forma de la macroalga cambia con la velocidad para reducir el arrastre (Boller & Carrington 2006, Oróstica et al. 2012, Starko et al. 2014). Por ejemplo, en un experimento donde se expuso la macroalga roja *Chondrus crispus* a baja y alta velocidad de agua dentro de un sistema de recirculación, la reconfiguración del talo ayudó a la especie a tolerar altas velocidades de recirculación de agua (Boller & Carrington 2006). Adicionalmente, la presencia de organismos epifitos en los cultivos de pelillo en la zona de Maullín (Buschmann et al. 1995, Leal et al. 2020) podría aumentar la susceptibilidad de las macroalgas a fragmentación (Buschmann & Gómez 1993). Además de afectar al organismo hospedador por competencia por luz, nutrientes y/o espacio (Leal et al. 2020), el epifito aumenta el tamaño y forma del talo, afectando la capacidad de reconfiguración del hospedador (Anderson & Martone 2014, Burnett & Koehl 2022). Por lo tanto, un paso siguiente seria estudiar la reconfiguración del pelillo de distinto origen bajo diferentes regímenes de velocidad del agua en presencia de epifitos para entender mejor lo que está pasando en Maullín.

Macroalgas filamentosas, como *G. chilensis*, usan la fragmentación como un medio de dispersión (Santelices & Doty 1989, Buschmann et al. 1995). Por lo tanto, no es irracional pensar que las respuestas obtenidas acá sean parte de la estrategia de dispersión para pelillo de cada sitio estudiado. Una hipótesis seria que la fragilidad del pelillo esté relacionada al nivel de movimiento de agua a nivel local. Los tres sitios de estudio están protegidos del oleaje, por lo que el pelillo adulto esperaría disturbios ambientales (e.g., cambios de marea, tormentas) para ser fragmentados y/o desprendidos y arrastrados por las corrientes. Así, los fragmentos a la deriva permiten ampliar el rango de cobertura del parche poblacional (cultivado o natural), así como colonizar otras áreas costeras (Ceccherelli & Cinelli 1999, Oróstica et al. 2012, Burnett & Koehl 2022). Sin embargo, esta idea necesita investigación *in situ* y en laboratorio para ser aceptada o rechazada.

6.7. Monitoreo del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas

Los resultados de más de dos años de monitoreo, sugieren que la disponibilidad de sustrato biogénico por acumulación de bivalvos bajo cultivos de *M. chilensis* atrae una diversa comunidad de organismos epibentónicos. Estas comunidades parecen reflejar la estructura, diversidad y abundancia predominante del biotopo donde se ubica el cultivo (e.g., bahía, canal, fiordo). Por lo tanto, el aumento de la diversidad y/o funciones de la biota bajo sitios de micro-escala (i.e., APE) sugieren efectos positivos de la acumulación de bivalvos, los cuales son promovidos por patrones locales de sucesión ecológica preexistentes. Por otro lado, el gradiente de bioacumulación asociado a la escala de cultivo (e.g, > % de materia orgánica > sulfuros y potencial Redox) y las condiciones ecológicas preexistentes parecen favorecer la presencia de depredadores omnívoros con tendencia la carnivoría como jaibas depredadoras (León & Stotz 2004) y detritívoros (principalmente, *M. gregaria*). Finalmente, la predominancia de detritívoros y omnívoros depredadores podría ir en detrimento de otros grupos de

invertebrados que fueron más conspicuos en sitios de referencia como carnívoros misceláneos y herbívoros, resultando en pérdida de diversidad local por presión de depredación.

Si bien los resultados sugieren una tendencia al aumento en la diversidad epibentónica local bajo cultivos de mitílidos, existió una disminución en la riqueza de especies de infauna en sitios de meso y macro-escala. Esto parece seguir el modelo clásico de enriquecimiento orgánico de Pearson-Rosenberg (Pearson & Rosenberg 1978), en el cual el gradiente de materia orgánica a diferentes escalas de cultivo aumenta la bioacumulación de fecas y pseudofecas, afectando la biodiversidad. Por ejemplo, dentro de la infauna, la presencia de cultivos de meso y macro-escala respondió con una mayor abundancia de juveniles (< 1cm) de *M. chilensis* de manera consistente en noviembre del 2020 y marzo del 2021. Esto contrasta con sitios de referencia en donde especies de oligoquetos Tuphicidos y otras especies de bivalvos (e.g., *S. algosus* y *A. atra*) fueron más abundantes. Sin embargo, la equitatividad (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). Esto sugiere comunidades relativamente equilibradas. A su vez, esto sugiere que los juveniles de *M. chilensis* alcanzan este estado de equitatividad poblacional.

Por otro lado, si bien la escala de cultivo es capaz de aumentar la bioacumulación, la topografía y el movimiento de agua particular de cada sitio de cultivo pueden jugar un papel clave. Esto ha sido evidenciado en otros estudios sobre efectos ambientales de la mitilicultura (Lacoste et al. 2018, 2019). Estos estudios sugieren impactos negativos y/o difusos en condiciones de 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 & Rowden 2004), 5 - 18 cm s^{-1} (Callier et al. 2006, 2008). De esta manera, esteros o bahías de circulación lenta pueden promover la bioacumulación generada por los cultivos, aumentando la vulnerabilidad ambiental local. A su vez, esto puede condicionar una respuesta comunitaria específica, como el arribo de detritívoros y depredadores omnívoros. De acuerdo a esto, el sitio y volumen de cultivo, factores oceanográficos y la comunidad predominante son factores claves. Estas características naturales deben ser el factor más importante en la toma de decisiones para la adecuación espacial y manejo ambiental de una acuicultura sustentable. Esta premisa funciona para cualquier escala de cultivo.

En este estudio, los sitios de micro-escala presentaron velocidades de corriente mayores que los sitios de meso y macro-escala, lo que en parte puede explicar las diferencias locales entre las comunidades estudiadas. Por ejemplo, el sitio de meso-escala emplazado en los alrededores de la cabeza del estero Compu, puede promover la bioacumulación con consecuencias tanto para los organismos estructuradores como para la comunidad móvil, independientemente de la escala de cultivo. Esto se evidenció con una pobreza funcional de ~2 en 0,25 m^2, con predominancia de jaibas depredadoras en noviembre del 2021. En el resto de las comunidades, fueron grupos de cangrejos, erizos y detritívoros (e.g., holoturias), quienes respondieron positivamente (> 2 especies del mismo grupo en 0,25 m^2) promoviendo un mejor desempeño de la función ecológica (reducción de detritus y carroña) en el banco emergente. Estas diferencias permiten observar que la función comunitaria en presencia de cultivos de mitílidos tiende a favorecer especies capaces de reciclar excedentes orgánicos del cultivo. Por otro lado, el grupo de carnívoros misceláneos parece responder positivamente en comunidades bajo cultivos de micro-escala. En la práctica, puede significar limitaciones de estas especies para habitar bajo cultivos de mayor escala, en donde otros organismos con tendencia a la omnivoría y la carnivoría (e.g., jaibas) son usualmente atraídos a bancos formados por el desprendimiento de

mitílidos (Peterson et al. 1984, D'Amours et al. 2008, Nicola et al. 2010), y pueden ejercer mayor presión de depredación sobre especies de carnívoros misceláneos. En este sentido, D'Amours et al. (2008), registró una mayor abundancia de estrellas de mar, cangrejos de roca y peces planos a una distancia <50 m alrededor de cultivos de mitílidos, mientras que Sardenne et al. (2019) documentó que bivalvos caídos desde cultivos se convierten en el alimento más importante para la langosta comercial *Homarus americanus*. Similarmente, Inglis & Gust (2003) determinaron que la disponibilidad de alimentos y refugio proporcionada por los choritos bajo los cultivos parecen optimizar los rasgos reproductivos de depredadores y consumidores ecológica y económicamente importantes. Estas evidencias han sido ratificadas con evaluaciones de interacciones tróficas usando modelos de redes tróficas en cultivos de bivalvos, sugiriendo el aumento de estos grupos funcionales (Ferriss et al. 2016). Por lo tanto, los resultados sugieren que la concentración de invertebrados móviles bajo los cultivos, si bien, puede aumentar la abundancia y diversidad a nivel local, también puede producir efectos tróficos por presión de depredación sobre los consumidores o presas ("bottom-up"). Esta interacción acuicultura-ambiente y sus consecuencias requerirá mayor atención.

Por otra parte, invertebrados estructuradores como *A. atra*, *C. chorus*, *O. chilensis* y *Austromegabalanus psittacus* estuvieron presentes en sitios de referencia exhibiendo una menor abundancia comparada con sitios de cultivo. Esto sugiere que el efecto del desprendimiento, si bien, puede aumentar la abundancia de organismos estructuradores y por ende, la abundancia de otras especies, también podría reducir la riqueza funcional frente a escalas mayores de producción. Como ejemplo, el alga parda *M. pyrifera*, cuya función como productor primario y facilitador de hábitat es ampliamente reconocida (Graham et al. 2007) también fue observada bajo los cultivos, pero con promedios mayores en sitios de micro-escala. Otra respuesta sitio-específica registrada en sitios de micro-escala 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}) y dadas las características específicas de este sitio, el proceso de sucesión sobre sustrato biogénico podría promover la diversidad local de especies estructuradoras de función variada (e.g, otros bivalvos*, A. psittacus*, *Crepipatella* spp., *M. pyrifera*). La riqueza funcional de herbívoros*,* (e.g., *Fissurella* spp., *T. atra*), fue relativamente mayor en sitios de micro-escala, con valores similares a sitios de referencia (~ 2 especies de herbívoros en 0,25 m^2). Esta tendencia sugiere que, si bien, la productividad primaria en los hábitats biogénicos estudiados bajo los cultivos puede ser variable, debido a la profundidad de tales sitios (entre 12 y 26 m), la presencia de los cultivos en sitios someros podría mejorar las condiciones de hábitat para herbívoros ramoneadores con tendencia a la omnívoría (e.g., *Fisurella* spp.), promoviendo la disponibilidad del biofilm del fondo, lo que ha demostrado favorecer el reclutamiento de larvas de diversos invertebrados y especies filamentosas (Bao et al. 2007, Yang et al. 2016).

Finalmente, la asociación entre la estructura comunitaria y parámetros físico-químicos del sedimento (sólo para noviembre del 2021) confirma las premisas discutidas anteriormente. Las comunidades parecen responder a disturbios ambientales del cultivo (evidenciado con Redox y MOT), con cambios en la abundancia de especies de función trófica similar con tendencia a la omnívoría, detritivoría/ carnivoría y resuspensión (e.g., *M. gregaria, H. edwardsii, Metridium* sp., *H. godeffroyi*, erizos, semillas de *M. chilensis*), cuya abundancia es promovida por la disponibilidad de sustrato biogénico (mitílidos). Sin embargo, esta dinámica podría disminuir la función comunitaria total bajo cultivos. Este parece ser

el efecto de la acuicultura de mitílidos, particularmente de gran escala, sobre la comunidad bentónica. Nuevamente, este efecto estará sometido principalmente a las variaciones de los patrones de sucesión de especies, condiciones hidrodinámicas y topográficas del ecosistema de emplazamiento. Esto sugiere que el estudio y la evaluación de efectos y funciones ecológicas asociadas a acuicultura de especies de bajo nivel trófico debería enfocarse en unidades geográficas o biotopos pertinentes (e.g, canal, bahía, estero), los cuales, presentarán diferentes condiciones de interacción con regímenes de cultivo intensivo y por lo tanto diferentes impactos. Esto ha sido sugerido desde un punto de vista empírico (Callier et al. 2007, Dumbauld et al. 2009, Ysebaert et al. 2009) y socio-ecológico (Sanz-Lazaro & Sanchez-Jerez 2020)

Este estudio ha demostrado por primera vez, que, a pesar de la amplia variabilidad estacional y sitio-específica de los hábitats bentónicos del sur de Chile, la acuicultura de mitílidos genera micro-hábitats bajo sus instalaciones, y éstos pueden promover, bajo ciertas circunstancias, la diversidad bentónica local. Sin embargo, la generación de hábitats por el desprendimiento de individuos desde el cultivo tiene efectos disímiles en la riqueza de funciones comunitarias si la escala de cultivo promueve mayor bioacumulación, con efectos negativos sobre grupos clave como carnívoros y especies estructuradoras ante la mejor respuesta de especies de crustáceos generalistas y detritívoros (algunas de éstas, de importancia comercial).
El marcado efecto de la escala del cultivo sobre la comunidad de la infauna y la función de algunas especies por aumento de la bioacumulación (fecas y pseudofecas), destaca la sensibilidad de ambos indicadores para evaluar cambio en el ecosistema e 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, una menor producción de desechos orgánicos y características sitio-específicas favorables. Esta combinación de factores puede ser promovido por la APE. Finalmente, los factores físico-oceanográficos predominantes y diferencias ecológicas sitio-específicas pueden explicar la amplia variabilidad de la respuesta comunitaria, y, por lo tanto, jugar un rol fundamental en la detección y evaluación de efectos negativos. Esta premisa puede ser aplicada a cualquier tamaño de cultivo y requiere atención para lograr el manejo ecosistémico de hábitats sometidos a vectores de cambio ambiental como la acuicultura.

6.8. Desarrollo de modelos cualitativos APE para mitilicultura y abastecimiento de larvas y semillas

Equilibrios socio-ecológicos bajo tres escenarios fueron modelados siguiendo la cadena de suministro de un cultivo tradicional de *M. chilensis*, el cultivo tradicional más aprovechamiento de un Banco Emergente (BEm) bajo el cultivo, y este último más un subsidio larval por acuicultura. Los resultados sugieren que la insostenibilidad podría surgir en cualquiera de los tres escenarios si existe un aumento continuo de la presión del mercado externo (demanda) y la explotación del pool larval por sobre su capacidad de carga local (i.e., sobreexplotación). Bajo esta premisa, la introducción de medidas de manejo sitio-específicas, como el aprovechamiento sostenible del bentos (e.g., Modelo 2, BEm) y la generación controlada de biomasa larval o, "subsidio por acuicultura", con interacciones análogas a

las de un banco natural (Modelo 3), permitiría la expansión de la mitilicultura dentro de un marco de sostenibilidad.

En contraste, la acuicultura de bivalvos se expande rápidamente para cubrir requerimientos nutricionales del mercado global (Norrie et al. 2020, van der Schatte Olivier et al. 2020), siguiendo una tendencia auto-reforzante entre demanda y productividad. Esta retroalimentación positiva observada desde el *boom* de la acuicultura (Anderson et al. 2019) crea un estímulo hacia los productores quiénes apalancan inversión para suplir la presión de mercado (demanda). En el contexto económico, las retroalimentaciones positivas asociadas a la demanda, usualmente resultan en inestabilidad sistémica (Arthur 1990). En el caso del cultivo de *M. chilensis,* el acuicultor puede llegar a ejercer una fuerte presión de pesca sobre el pool larval natural, alentado por la demanda (i.e., retroalimentación positiva), incrementando el riesgo de sobre-captación. La mitilicultura es un tipo de "acuicultura basada en captura" y, por lo tanto, presenta similitudes con la pesquería tradicional, tales como, temporadas de captura, tamaño mínimo, captura por unidad de esfuerzo, fauna acompañante y descarte. Sin embargo, también impone los mismos riesgos de insostenibilidad, en este caso, para los juveniles de la especie objetivo de cultivo (Sadovy & Liu 2008). Actualmente, existe evidencia limitada sobre las interacciones entre captación de larvas de *M. chilensis*, la dinámica de los bancos naturales y la dispersión larval (Avendaño et al. 2011, Molinet et al. 2015). Por ejemplo, Molinet et al. (2015, 2017), evidenció una débil relación entre captación para cultivo y reclutamiento natural, al existir mayor eficiencia en la captación/ reclutamiento de larvas para acuicultura, lo cual podría promover la contracción de los bancos naturales en las áreas de desove existentes (i.e., Seno de Reloncaví). Esto sugiere efectos de la industria sobre los patrones naturales de suministro larval. Si bien, el efecto combinado de la productividad y la creciente demanda por alimento de origen marino han convertido a la acuicultura en la actividad de más rápido crecimiento en las última décadas (Anderson et al. 2019, FAO 2020). Esto, también puede traer insostenibidad debido a la dependencia de la captura de "semillas". Medidas de control de la demanda o restricciones comerciales para fortalecer derechos de propiedad, internalización de costos ambientales o la reducción de la dependencia de recursos naturales pueden ser adoptados (Muhamad et al. 2021). Consecuentemente, existe la necesidad de profundizar en conocimientos biológicos, ecológicos y bioeconómicos para establecer políticas ambientales que atiendan el balance entre maximización productiva y optimización de la capacidad de carga, particularmente en industrias que dependen de servicios ecosistémicos.

6.8.1. Aprovechamiento y subsidio larval por acuicultura

Por otro lado, el segundo modelo introduce los efectos potenciales de la estructuración biogénica del fondo por acumulación de bivalvos o banco emergente (Ver **Sección 5.8.** para evidencia cuantitativa), más un disturbio antrópico o "aprovechamiento" ejercido por el acuicultor. El efecto estructurador del cultivo sobre el bentos fue simulado como una externalidad positiva (Banco Emergente) del cultivo hacia el ambiente, y como tal, con efectos positivos hacia la demanda, el acuicultor y la función del ecosistema. Existe abundante literatura ecológica sobre los servicios ecosistémicos facilitados por las agregaciones (Bruno & Bertness 2001, Bruno et al. 2003, McLeod et al. 2013) y el cultivo de mitílidos (Gutiérrez et al. 2003, McKindsey et al. 2011, Rullens et al. 2019, van der Schatte Olivier et al. 2020). Los mitílidos proveen servicios ecosistémicos más allá de la generación de alimento (servicio de

aprovisionamiento), tales como servicios de regulación (e.g., regulación de la calidad del sedimento y el agua) y servicios de soporte tales como como la creación de hábitat y el aumento de la diversidad (Rullens et al. 2019, Theuerkauf et al. 2022). El hábitat biogénico generado por la presencia del cultivo genera efectos en distribución, abundancia y patrones reproductivos de microorganismos, peces, aves e invertebrados, algunos, de interés comercial (Gutiérrez et al. 2003, D'Amours et al. 2008, Dumbauld et al. 2009, Mckindsey et al. 2013, Filgueira et al. 2015, Sardenne et al. 2019). Los resultados sugieren que el acuicultor debe propiciar un aprovechamiento sustentable de este BEm para mantener el equilibrio local (entre K y K/2) limitando efectos de la demanda sobre el esfuerzo/ inversión (retroalimentación negativa), y esto particularmente, sobre los depredadores bentónicos (Ver *Loop analysis* en escenarios de co-cultivo, **Sección 5.10.**). Para el caso del aprovechamiento de especies bentónicas, la implementación de normas de uso sustentable, previa evaluación comunitaria y pesquera sitio-específica similar a la política de co-manejo en AMERB es recomendable. Además, con estas dinámicas el acuicultor podría mantener un régimen de producción y aprovechamiento constante (i.e., retroalimentación = 0) sin alterar el equilibrio local.

El tercer modelo, introdujo el efecto de un subsidio larval por acuicultura (*Pool larval artificial*) como estrategia de manejo antrópico simulado como variable análoga a la del pool larval natural y, por lo tanto, ejerciendo efectos positivos sobre éste y el cultivo. Interesantemente, el modelo de subsidio de larvas por acuicultura es el único que posibilita el crecimiento para el acuicultor (i.e., retroalimentación positiva), aunque éste sigue condicionado por las dinámicas denso-dependientes (retroalimentaciones negativas) del resto de las variables. De acuerdo a esta simulación, la implementación de una estrategia capaz de equiparar efectos de uno de los servicios ecosistémicos del banco natural, podría asistir a la conservación y el mejoramiento del pool larval en áreas de captación permitiendo el crecimiento. Debido a la sobreexplotación de los bancos naturales en décadas anteriores, hoy, las poblaciones de *M. chilensis* están representadas por cultivos que mantienen el potencial de suministrar los servicios ecosistémicos propios de un banco (Avendaño et al. 2011).

En la práctica, un subsidio larval asistido por acuicultura puede presentar desafíos complejos, dada la escasez de estudios que evalúen efectos ambientales de la liberación de larvas (sobrevivencia, densidad y dispersión larval, reclutamiento natural, reclutamiento en colectores). Investigación relevante en ambientes similares lo constituye el estudio de Norrie et al. (2020) con el mejillón verde *Perna canaliculus*, especie endémica de Nueva Zelanda. Este estudio determinó el efecto potencial del derrame o exportación de larvas (*Spillover*) desde centros de cultivos como subsidio larval para respaldar esfuerzos de restauración de bancos de mejillón erradicados por pesca de arrastre en los años 60s (Wilcox et al. 2017). El estudio realizado con técnicas de rastreo de la huella de elementos traza (*Trace elemental fingerprinting*) (ver Cathey et al. 2012, Kroll et al. 2016 para más referencias) y modelamiento biofísico, determinó que el pool larval local resultó estar bien mezclado con larvas producidas en centros de cultivo. Este estudio constituye la primera evidencia de que el subsidio por acuicultura podría asistir al mejoramiento del stock larval en la columna de agua y a la restauración de bancos empobrecidos.

El mejoramiento de stock ha sido propuesto como un mecanismo de restauración de los efectos de la sobreexplotación, donde la liberación de organismos busca mejorar la disponibilidad natural de juveniles para cosecha y/o desove (Cárcamo et al. 2021b). En el sur de Chile, actividades similares como la selección de colectores larvales para desove ha sido desarrollada intuitivamente por

acuicultores de pequeña escala dedicados a la captación (Datos no publicados: Opazo et al. 2021). Sin embargo, no existe una aproximación metodológica definitiva que evalúe el efecto de estas acciones sobre la densidad, sobrevivencia, dispersión y asentamiento larval (Molinet et al. 2017). Por otro lado, es necesaria la determinación de áreas exportadoras y de retención (Avendaño et al. 2011), lo cual es clave para definir donde un subsidio por acuicultura es pertinente. La aguda disminución en los niveles de captación larval en "semilleros" históricamente importantes como Yaldad y Putemún en la isla de Chiloé (Leiva et al. 2007, Avendaño et al. 2011), sugiere la necesidad de explorar la idea de mantener los servicios ecosistémicos promovidos por especies de cultivo a través de intervenciones antrópicas controladas. En este contexto, el Programa de Monitoreo y Vigilancia sobre la disponibilidad larval de mitílidos, ejecutado por IFOP, ha sido clave para obtener la información biofísica necesaria (e.g., variaciones intra-inter anuales de la producción larval) para caracterizar procesos naturales involucrados en la producción de *M. chilensis* (Opazo et al. 2021). Esta información permanece disponible para implementar modelos biofísicos que ayuden a esclarecer patrones de dispersión y asentamiento espacio-temporal de larvas de este tipo de acuicultura, donde la conservación de los servicios ecosistémicos a través del mantenimiento de ecosistemas saludables debería ser un objetivo principal para una acuicultura con enfoque ecosistémico.

Una cuidadosa y bien diseñada gestión regulatoria es necesaria para dirigir adecuadamente esfuerzos sectoriales en ámbitos socio-económicos, de investigación y estrategias de manejo participativo. La colaboración de actores locales puede asistir al desarrollo de programas de restauración del stock larval y recuperación de bancos naturales. Este enfoque holístico del problema que puede llegar a ser la falla del suministro natural de larvas para cultivo podría ser fundamental para alcanzar metas de sustentabilidad en la industria de la mitilicultura bajo un enfoque de conservación de servicios ecosistémicos y autoabastecimiento.

6.9. Validación de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de macroalgas e invertebrados

La construcción de los modelos ecotróficos cuantitativos descritos, corresponde a una representación parcial y preliminar de las interacciones biológicas prevalecientes en el ecosistema bento-pelágico de bahía Hueihue, Chiloé, sometido al cultivo de pequeña escala de bivalvos. En el presente modelo se identificaron las siguientes limitaciones: (1) el modelo representa condiciones del verano en Chiloé (42° S), por lo tanto, potenciales variaciones estacionales y espaciales de significancia son desconocidas, aunque limitaciones similares son propias de cualquier modelo y programa de estudio; (2) La complejidad de especies fue reducida al componer los grupos funcionales, aunque la mayoría de las interacciones tróficas y los flujos de mayor relevancia fueron correctamente representados. A pesar de limitaciones intrínsecas, las propiedades macroscópicas del sistema fueron adecuadamente cuantificadas y comparadas, identificando los compartimientos más sensibles.
Los resultados del modelo sugieren que el tamaño, la complejidad y estructura de los flujos energéticos del sistema ecológico de BEm es significativamente mayor a la del sistema ecológico de fondo blando donde se emplaza el cultivo. El valor de Ascendency (A) fue sustancialmente mayor en el BEm, reflejando un sistema en estado de desarrollo temprano y de rápido crecimiento, sin embargo, más

resistente a perturbaciones que el ecosistema local, el que muestra mayor estado de madurez, pero, mayor susceptibilidad a perturbaciones externas. El menor estado de madurez y la mayor resistencia del BEm puede deberse a: (1) al corto tiempo sucesional dentro del BEm desde la implementación del cultivo (~15 años) y (2) a la modificación y facilitación de hábitat a través de la acumulación de bivalvos estructuradores bajo el cultivo. La menor madurez de un ecosistema, como el observado en el modelo BEm, se caracterizará por mayor producción, crecimiento y estructura, similar al estado observado en monocultivos (Odum 1969). Por lo tanto, la aparición de un BEm refleja de alguna manera, patrones ecotróficos del cultivo de mitílidos, en superficie, donde procesos de crecimiento, recuperación y tasas de recambio (*Turnover*) pueden ocurrir de manera más rápida al ser asistidos por artes de cultivo como la introducción anual de nuevas semillas para engorda.

En este sentido, estrategias de manejo como el uso o "aprovechamiento", que propone la explotación controlada de cantidades de bivalvos u otras especies comestibles dentro del BEm podría ser considerada dentro de un marco de sustentabilidad. Aquí es particularmente relevante el rol estructurador de los bivalvos en la propagación de energía a otros componentes de la red como, depredadores (estrellas de mar), jaibas (e.g., *M. edwardsii*) y cangrejos (en su mayoría detritívoros/carroñeros como *M. gregaria*). De acuerdo a esto, el estudio recomienda evitar la sobreexplotación, especialmente, de las especies estructuradoras, que ha demostrado tener un rol trófico significativo sobre el resto de los compartimientos de la comunidad. Bajo esta premisa, el fitoplancton cumple una función crucial en la población de bivalvos del BEm, la cual, depende en un 100% su disponibilidad de acuerdo a el análisis de contenido estomacal. En este sentido, la capacidad de carga ambiental local y el volumen de cultivo (en este estudio ~200 toneladas año^{-1}) son factores que afectarán la capacidad de recuperación y por ende la estrategia de utilización de las especies dentro del banco. Debido a esto, y la extensión espacial de la mitilicultura a lo largo del sur de Chile, es deseable que pequeños acuicultores administren el BEm manteniendo la diversidad como mecanismo regulatorio de patrones de sucesión de largo plazo para la obtención de biomasa de elevado valor nutritivo como *A. atra, C. chorus y M. chilensis* (Yaghubi et al. 2021) en el mediano plazo.

En este estudio, usando la teoría de Ascendency (Christensen & Pauly 1992a, Christensen & Walters 2004, Heymans et al. 2016) y Ecopath (Ulanowicz 2004, Heymans et al. 2016) se ha evaluado por primera vez, el tamaño, desarrollo, complejidad y resistencia del sistema ecológico de un BEm, mostrando consistencia con valores de propiedades ecológicas documentadas para bancos de bivalvos y otros hábitats biogénicos como bosques de algas pardas, arrecifes de coral y de ostras (Bruno & Bertness 2001, Gutiérrez et al. 2003, Coen et al. 2007, D'Amours et al. 2008, McKindsey et al. 2011, Wong & O'Shea 2011, Lacoste et al. 2018). Los valores de Ascendency para el BEm, obtenidos en la actual modelación, son similares a las observadas para un sistema bento/pelágico de la Bahía de Mejillones (i.e., A = 29429.38) (Campos et al. 2021) o un sistema bento/pelágico antártico (Islas Rey Jorge) modulado por especies estructuradoras (Ortiz 2008, Ortiz et al. 2016). En estos estudios los sistemas analizados mostraron mayor desarrollo y nivel de organización que hábitats de fondo blando, fondos lodosos y praderas marinas (Ortiz et al. 2016).

Este modelo preliminar, por primera vez, sugiere que el efecto estructurador de un cultivo de mitílidos sobre el fondo puede optimizar el uso de energía dentro del sistema ecológico, consecuentemente, mejorando su productividad, salud y resistencia a perturbaciones. Esto indica, a su vez, que una

actividad de acuicultura tendría el potencial de mejorar las propiedades ecosistémicas a través del cultivo de una especie estructuradora de hábitat. Sin embargo, para concretar estas premisas es necesario abordar el efecto de gradientes de cultivo (e.g., micro-escala vs. macro-escala) y generar simulaciones de la fracción de biomasa explotable del BEm (Aprovechable) y los posibles cambios en los flujos de energía entre escalas. Tales implicaciones requerirán la ampliación del diseño experimental y aumentar el rango de información biológica en estos ambientes para asegurar una correcta visión estratégica las condiciones basales de aprovechamiento y manejo de estos hábitats.

6.10. Propuesta de diseño de sistema de cultivo APE para zona norte y sur, y/o condiciones de mayor exposición (Fase 2)

El presente estudio evaluó la dinámica de un sistema de cultivo tipo long-line, a través de simulación numérica en diferentes condiciones oceanográficas, diferentes etapas de cultivo (recepción, engorda y cosecha) y diferentes escenarios de boyantes. El primer escenario de boyantes correspondió al 50 %, es decir, 1 boya (30 litros) cada 2 linternas.Este escenario está sustentado es los resultados obtenidos de una realizada por IFOP a usuarios vigentes en la actividad APE. El segundo escenario corresponde al 75% de boyantes, es decir, 3 boyas (3 de 30 litros) por cada 4 linternas, y finalmente el tercer escenario, corresponde al 100 % de las boyas, es decir, 1 boya (30 litros) por cada linterna. Como consecuencia, se evaluó la resistencia de las componentes que pertenecen a la estructura de cultivo y la estabilidad supeditada al número de boyas respecto al número de linternas en la línea madre del sistema, definiendo diferentes casos de reserva de boyantes, utilizando los escenarios de 50 y 100 % de boyas para las etapas de cultivo en recepción (0 kg de ostión por piso de linterna) y engorda (2 kg de ostión por piso de linterna), mientras que para la etapa de cosecha (4 kg de ostión por piso de linterna) se utilizó el escenario de 75 y 100 % de boyas para diferentes combinaciones de cargas hidrodinámicas asociadas al oleaje y corriente. Esta evaluación numérica permitió cuantificar el hundimiento máximo de la línea madre respecto a estas diferencias en la reserva de boyantes, tal como se resumen en la **Tabla 63.**

Tabla 63.
Hundimiento máximo para diferentes etapas de cultivo para cada sitio de clasificación y nivel de boyantes.

Etapa	Clasificación de sitio	Hundimiento máximo Caso 1 (100%)	Hundimiento máximo Caso 2 (50 y 75%)
Recepción	Protegido	1,18 m	1,45 m
	Semi - protegido	1,79 m	2,70 m
	Semi - expuesto	3,54 m	4,04 m
Engorda	Protegido	1,54 m	1,89 m
	Semi - protegido	2,57 m	3,27 m
	Semi - expuesto	4,04 m	4,70 m
Cosecha	Protegido	2,07 m	2,20 m
	Semi - protegido	2,57 m	2,92 m
	Semi - expuesto	4,80 m	4,73 m

Se observa que para el caso 2, al tener menor reserva de boyantes en el sistema de cultivo tipo long-line, el hundimiento de la línea madre por efectos del oleaje y la corriente aumenta respecto al caso 1, destacando que un parámetro relevante en esta diferencia es la biomasa. Por ejemplo, en la etapa de cosecha la línea madre se puede hundir en un sitio semi-protegido, 2,57 m, mientras que en un sitio semi-expuesto, puede alcanzar los 4,80 metros. Esta componente de hundimiento probablemente puede ocasionar una agitación inadecuada o con potencial afectación a la supervivencia del cultivo. En este contexto, se concluye que un sistema de cultivo long-line independiente de su clasificación de sitio, requiere al menos el 50 % de boyantes en la etapa de recepción, culminando en cosecha con un 100 % de boyantes, que, de acuerdo con el sistema evaluado. El 50% es equivalente a 690 litros en 23 boyas por cada 100 metros de línea madre y en el 100%, 1380 litros en 46 boyas por cada 100 metros de línea madre, respectivamente.

Por otra parte, en el dimensionamiento de cabos de línea de fondeo y línea madre para long-lines simples, se sugiere utilizar para un sitio protegido (entre 0,15 m/s sin oleaje y 0,3 m/s con 1 metros de altura de ola) diámetros entre 6 y 12mm. Para un sitio semi-protegido (entre 0,3 m/s con un metros de altura de ola y 1 m/s con 1 metros de altura de ola) se deben utilizar cabos entre 12 y 18 mm. Finalmente en un sitio semi-expuesto (entre 1 m/s con 1 metros de altura de ola y 1 m/s con 2 metros de altura de ola) se deben utilizar diámetros de cabos entre 18 y 32 mm. Adicionalmente en el dimensionamiento del chicote se recomienda usar en un sitio protegido un cabo de 6 mm, para un sitio semi -protegido un cabo entre 6 y 8 mm ,y finalmente para un sitio semi-expuesto, entre 8 y 10 mm (**Tabla 64**).

Tabla 64.
Diámetro mínimo de cabos de fondeo, línea madre y chicote para cada sitio de clasificación.

Clasificación de sitio	diámetro cabo fondeo y línea madre (mm)	Diámetro cabo chicote (mm)
Protegido	6-12	6
Semi - protegido	12-18	6-8
Semi - expuesto	18-32	8-10

7. CONCLUSIONES

7.1. Revisión y actualización de parámetros y modelos bio-económicos de cultivos APE

- En Quinchao, a la fecha, aparentemente no existen condiciones para desarrollar APE financieramente viable.
- En Hueihue el desempeño productivo fue bastante bajo, pero como es el primer ciclo que se produce ahí es posible que otro ciclo pueda comportarse de manera diferente.
- En Pudeto se hizo análisis para los tres recursos, aunque no se tuvo información sobre el destino de las ostras y choros zapato producidos. El comportamiento del pelillo siguió mostrando bajo rendimiento en presencia de moluscos, en tanto que en el control se evidenció un interesante rendimiento productivo.

7.2. Propuesta de recomendación de modelos socio-organizacionales y administrativos para el desarrollo efectivo de APE

- Desde el análisis, se constata que el "problema" detectado, vinculado a una carencia de un arreglo jurídico sustentado que permita que un subgrupo de personas que forman un colectivo (e.g., Sindicato, Asociación Gremial, Cooperativa) desarrolle de forma regulada actividades APE dentro de espacios como concesiones de acuicultura o AMERB, sólo se manifiesta como un "problema" recurrentemente indicado dentro de las AMERB, especialmente en aquellas que han tenido una vocación histórica vinculada a la extracción de recursos bentónicos y no en espacios que tienen una vocación de uso (*de facto*) en actividades productivas diferentes.
- El estudio de caso Chungungo muestra que una OPA que originalmente solicitó una AMERB para explotación tradicional de recursos bentónicos, hoy, con la incorporación de la APE como medio de vida alternativo, debe emprender un proceso de revisión de su funcionamiento interno y estatutos, sin que en la institucionalidad se visualice un arreglo organizacional que dé cuenta de sus actuales necesidades.
- La evaluación de OPA, a través de metodologías como el enfoque de medios de vida sostenible, permite encauzar el trabajo desde el inicio de una actividad APE, potenciando los capitales que las organizaciones poseen.

7.3. Implementación y seguimiento de cultivos pilotos de macroalgas y multi-especies en el norte y sur de Chile

- Tanto la poda como la incorporación de distintas densidades de cultivo no generaron efectos de crecimiento positivos en los recursos cultivados en este ciclo.
- El correcto manejo de la biomasa y las estructuras de cultivo, favorecería la obtención de crecimientos en biomasa de forma consistente entre ciclos. Esto es primordial para avanzar en un correcto desempeño de la APE.
- El manejo de los cultivos influencia directamente en la producción final de biomasa.

- Para obtener un mejor desempeño en los cultivos de algas, se recomienda no sobrepasar los 3 a 4 meses desde la siembra (junio-julio), ya que luego de esto, se observa el aumento de organismos epibiontes que impiden un buen crecimiento.
- La incorporación de especies con diferentes ciclos biológicos (algas, bivalvos), permiten distintos periodos de cosecha. Esto aumenta la diversidad de recursos cultivables para las OPA y acuicultores.
- El segundo ciclo de cultivo en AMERB Chungungo B, resultó en la consolidación de la experiencia en cuanto a la implementación del cultivo, la transferencia tecnológica a la OPA y la primera actividad de comercialización de recursos obtenidos en el APE. Los resultados de crecimiento obtenidos en cultivo de ostión del norte y huiro muestran que el AMERB es apta para el desarrollo de la APE.
- Para el cultivo de fondo de *L. trabeculata* es necesario considerar factores como la herbivoría de la zona a cultivar, el tamaño de la plántula y las corrientes en los sitios de adhesión.

7.4. Validación de modelo de gestión y productivo para APE en base a portafolio multi-especies propuesto para la zona sur (Fase 2)

- Los resultados iniciales de implementación y evaluación productiva de un modelo APE en base a portafolio multi-especies, muestra señales positivas en cuanto a la viabilidad de esta propuesta.

7.5. Evaluación del desempeño fisiológico-productivo de macroalgas y bivalvos co-cultivados

- Los co-cultivos de reemplazo de *M. chilensis* y las tres especies de macroalgas mostraron un mayor RRT (Rendimiento Relativo Total) en comparación a los monocultivos.
- El análisis de series de reemplazo De Wit demuestra nuevamente ser una herramienta consistente y útil para la identificación de proporciones óptimas para el co-cultivo para APE.
- El co-cultivo de macroalgas y bivalvos podría aumentar la producción de biomasa en bivalvos, pero es necesario confirmar esto, en un experimento en el ambiente natural y de mayor duración y escala.

7.6. Determinación del efecto del origen o fuente de semillas sobre la calidad del pelillo *G. chilensis*

- Los resultados reportados demuestran que la fuerza de ruptura del tejido de pelillo *G. chilensis* depende del lugar de origen y que los individuos de Amortajado no fueron los más frágiles en comparación a los de Pudeto y Putemún.
- No es posible descartar la información entregada por los acuicultores de San Pedro de Nolasco (Maullín), ya que la ruptura del tejido vegetativo del pelillo responde a muchas variables ambientales (fuerza de arrastre, presencia de epifitos) y fisiológicas (flexibilidad, reconfiguración) que necesitan ser estudiadas con mucho más detalle en terreno y laboratorio.

7.7. Monitoreo del efecto de la APE sobre comunidades bentónicas

- La acuicultura de mitílidos en el sur de Chile, tiene la capacidad de generar hábitats biogénicos emergentes (BEm), que facilitan una estructura comunitaria con mayor riqueza.
- La APE de bivalvos muestra efectos que favorecen una comunidad más diversa en términos específicos y funcionales comparada con cultivos de mayor escala.
- Los BEm bajo cultivos de gran escala pueden promover mayor riqueza funcional de invertebrados omnívoros, carnívoros, detritívoros (respuesta y tolerancia a efectos), y a pequeña escala, de herbívoros/ generalistas y una variedad de carnívoros. Algunas especies son de importancia comercial (e.g., *H. edwardsii, L. albus*), sin embargo, la concentración de especies del mismo grupo puede aumentar la presión de depredación sobre otras especies dentro del ecosistema, pudiendo afectar la abundancia y diversidad de las presas.
- Las implicancias y efectos socio-ecológicos de la acuicultura de bivalvos debería ser discutida en términos del manejo consciente del biotopo en donde se encuentra el cultivo, el ecosistema bentónico local y el monitoreo de la productividad y salud del BEm.

7.8. Desarrollo de modelos cualitativos APE para mitilicultura y abastecimiento de larvas y semillas

- La sustentabilidad de la acuicultura de *M. chilensis* depende de la acción y gestión regulatoria y estudios bioeconómicos que incluyan herramientas de mitigación de los efectos de una demanda creciente de la industria sobre el pool larval.
- El correcto uso de los servicios ecosistémicos facilitados por la mitilicultura, como la estructuración del fondo, puede propiciar el aprovechamiento bentónico. Sin embargo, es necesario establecer políticas de uso que garanticen la sustentabilidad sitio-específica del BEm (entre K y K/2).
- La implementación de un "subsidio larval por acuicultura" permitiría sostener crecimiento ante el aumento de presiones del mercado (demanda), vinculando a su vez, el uso estratégico de los servicios ecosistémicos de las agregaciones de *M. chilensis* en cultivo, reforzando así, las funciones ecosistémicas de las cuales depende la industria.
- Manejo participativo desde los actores principales (acuicultores) e investigación ambiental pertinente puede permitir acercar aún más el cultivo de mitílidos a objetivos de sostenibilidad ambiental, crucial para la continuidad de la industria.

7.9. Validación de modelos tróficos para evaluar impactos ecosistémicos de acuicultura de macroalgas e invertebrados

- A través de modelamiento cuantitativo trófico de redes se ha podido determinar que el efecto estructurador de las agregaciones de bivalvos bajo un cultivo APE tiene el potencial de modificar, relativamente, las propiedades macroscópicas del ecosistema.
- El sistema BEm puede contribuir con un mayor nivel de organización, complejidad, crecimiento y desarrollo de la comunidad. A su vez, en este hábitat aumentan los estados tempranos de sucesión lo cual lo asemeja a un monocultivo, en donde la Productividad es mayor a la Respiración comunitaria

(i.e., costo de mantenimiento del sistema), lo cual caracteriza el manejo de los servicios ambientales por la sociedad (Odum 1969).

- Desde una perspectiva general, la generación de sistemas ecológicos del tipo BEm parece extender patrones de sucesión propias del monocultivo de estas especies hacia el ambiente, donde estos hábitats podrían crecer en función del crecimiento de la actividad por área de cultivo, el cual ha incrementado rápidamente en el sur de Chile en los últimos 20 años (Sernapesca 2020).
- El sistema BEm podría aumentar la diversidad y complejidad de la red de interacciones comunitarias otorgando mayor organización y resistencia a perturbaciones, la cual se diferencia del sistema de referencia, especialmente en fondos blandos. La mayor resistencia a perturbaciones del BEm podría estar mediada por el balance trófico entre los compartimientos de predadores omnívoros, el efecto estructurador de los bivalvos y por ende, el compartimiento que representa el Fitoplancton.
- La resistencia a perturbaciones del BEm modelado, podría indicar el margen de pesca regulada de especies comestibles, para asistir a requerimientos de aprovechamiento de especies. Aunque mayor cantidad de información biológica es requerida para implementar adecuadamente políticas similares al co-manejo (e.g., AMERB) en estos hábitats asociados al cultivo, también es necesaria la integración de acuicultores y la comunidad local para el desarrollo de estrategias de manejo efectivas que aumenten el valor y la protección del ecosistema ligado a este tipo de acuicultura.

7.10. Propuesta de diseño de sistema de cultivo APE para zona norte y sur, y/o condiciones de mayor exposición (Fase 1 y 2)

- Los resultados de la simulación muestran que, a menores velocidades de corriente, la acción del oleaje predomina, afectando principalmente en las primeras linternas de cultivo. A mayores intensidades de corriente y oleaje, las últimas linternas (entre la 50 y 100) poseen mayor desplazamiento respecto a las primeras.
- La dinámica de cada linterna de cultivo del sistema depende de la combinación de carga de oleaje y corrientes.
- Para los resultados de tensiones y desplazamientos se pudo apreciar que su variación es sensible a las intensidades de la corriente y el oleaje, por lo tanto, a medida que las condiciones ambientales eran extremas, los desplazamientos y tensiones tienden a ser similares en casi todo el sistema.
- Para el sistema de fondeo se recomienda utilizar muertos másicos mínimos de 6,5 toneladas para la zona sur (mayor energía) y 2,6 toneladas para la zona norte (menor energía) respecto las condiciones oceanográficas evaluadas.
- Este diseño de sistema long-line es replicable para otras especies de cultivo, considerando que generalmente otras especies tienen menor peso. Sin embargo, hay que considerar que este diseño solo es factible para las condiciones oceanográficas evaluadas, por lo tanto, en caso de existir otras condiciones, se deberá reevaluar el dimensionamiento y materialidad del sistema.
- Finalmente, se puede concluir que existen diferentes tipos de boyas, volúmenes, criterios de diseños, materialidad y dimensionamiento que pueden supeditar la dinámica del sistema de cultivo long-line ante diferentes condiciones oceanográficas, cambiando el rango de tensiones, rangos de diámetros de cabos y por supuesto, el dimensionamiento del muerto masico para la memoria de cálculo del sistema de fondeo.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu MH, Varela DA, Henríquez L, Villarroel A, Yarish C, Sousa-Pinto I, Buschmann AH. 2009. Traditional vs. Integrated Multi-Trophic Aquaculture of Gracilaria chilensis C. J. Bird, J. McLachlan & E. C. Oliveira: Productivity and physiological performance. Aquaculture 293: 211–220.

Acosta V, Prieto A, Lodeiros C. 2006. Índice de condición de los mejillones Perna perna y Perna viridis (Bivalvia : Mytilidae) bajo un sistema suspendido de cultivo en la Ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, Venezuela. Zootecnia Tropical 24: 177–192.

Ahmed M, Lorica MH. 2002. Improving developing country food security through aquaculture development - Lessons from Asia. Food Policy 27: 125–141.

Allison EH, Ellis F. 2001. The livelihoods approach and management of small-scale fisheries. Marine Policy .

Allison EH, Horemans B. 2006. Putting the principles of the Sustainable Livelihoods Approach into fisheries development policy and practice. Marine Policy 30: 757–766.

Álvarez Burgos M. 2021. Breve aproximación a las Barreras de Género en la Pesca Artesanal en Chile. Tekoporá. Latin América Review of Environmental Humanities and Territorial Studies 3: 111–125.

Anderson JL, Asche F, Garlock T. 2019. Economics of Aquaculture Policy and Regulation. Annual Review of Resource Economics 11: 101–123.

Anderson LM, Martone PT. 2014. Biomechanical consequences of epiphytism in intertidal macroalgae. The Journal of Experimental Biology 217: 1167–1174.

Arias N, Stotz W. 2020. Sustainability analysis of the benthic fisheries managed in the turf system in Chile. International Journal of the Commons 14: 344–365.

Arksey H, O'Malley L. 2005. Scoping studies: Towards a methodological framework. International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice 8: 19–32.

Arthur WB. 1990. Positive Feedbacks in the Economy. Scientific American 262: 92–99.

Avendaño M, Cantillánez M, Le Pennec M, Varela C, Garcias C. 2011. Distribución temporal de larvas de Mytilus chilensis (Hupé, 1954) (Mollusca: Mytilidae), en el mar interior de Chiloé, sur de Chile. Latin american journal of aquatic research 39: 416–426.

Baird D, Ulanowicz R. 1993. Comparative study on the trophic structure, cycling and ecosystem properties. Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER 99: 221–237.

Bao WY, Satuito CG, Yang JL, Kitamura H. 2007. Larval settlement and metamorphosis of the mussel Mytilus galloprovincialis in response to biofilms. Marine Biology 150: 565–574.

Bergen A, While A. 2000. A case for case studies: Exploring the use of case study design in community nursing research. Journal of Advanced Nursing 31: 926–934.

Beyá J, Álvarez M, Gallardo A, Hidalgo H, Aguirre C, Valdivia J, Parra C, Méndez L, Contreras F, Winckler P, Molina M. 2016. Atlas de Oleaje de Chile. Primera edición. Valparaíso, Chile, Escuela de Ingeniería Civil Oceánica - Universidad de Valparaíso.

Bi H, Turvey ND. 1994. Inter-Specific competition between seedlings of Pinus radiata, Eucalyptus regnans and Acacia melanoxylon. Australian Journal of Botany 42: 61–70.

Blanchette CA. 1997. Size and survival of intertidal plants in response to wave action: a case study with Fucus gardneri. Ecology 78: 1563–1578.

Boller ML, Carrington E. 2006. The hydrodynamic effects of shape and size change during reconfiguration of a flexible macroalga. The Journal of Experimental Biology 1894–1903.

Bruno J, Bertness M. 2001. Habitat modification and facilitation in benthic marine communities. In: M Bertness, S Gaines, and M Hay, editor. Marine Community Ecology Sunderland, Massachusetts: SinuaerAssociates Inc. p. 201–218.

Bruno JF, Stachowicz JJ, Bertness MD. 2003. Inclusion of facilitation into ecological theory. Trends in Ecology & Evolution 18: 119–125.

Burnett NP, Koehl MAR. 2022. Ecological biomechanics of damage to macroalgae. Frontiers in Plant Science 13: 981904.

Buschmann A, Steven P, Potin P, Faugeron S, Vásquez JA, Camus C, Infante J, Hernández-González MC, Gutierrez A, Varela D. 2014. The Status of Kelp Exploitation and Marine Agronomy, with Emphasis on Macrocystis pyrifera, in Chile. Advances in Botanical Research 71: 161–188.

Buschmann AH, Gómez P. 1993. Interaction mechanisms between Gracilaria chilensis (Rhodophyta) and epiphytes. Hydrobiologia 260–261: 345–351.

Buschmann AH, Hernández-González MDC, Varela D. 2008. Seaweed future cultivation in Chile: Perspectives and challenges. International Journal of Environment and Pollution .

Buschmann AH, Troell M, Kautsky N. 2001. Integrated algal farming: A review. Cahiers de Biologie Marine 42: 83–90.

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.

Cai D, Tong P, Wei X, Hu Q. 2022a. Does Participation in Aquaculture Cooperatives Increase Farmers' Profit and Output? Fishes 7: .

Cai JN, Yan X, Leung PS. 2022b. Benchmarking species diversification in global aquaculture. Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 605. Rome, FAO.

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.

Callier MD, McKindsey CW, 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 MD, Weise AM, McKindsey CW, Desrosiers G. 2006. Sedimentation rates in a suspended mussel farm (Great-Entry Lagoon, Canada): Biodeposit production and dispersion. Marine Ecology Progress Series 322: 129–141.

Campos L, Ortiz M, Rodríguez-Zaragoza F. 2021. Evaluating the macroscopic system properties of kelp species planted on two artificial reefs: Implications for the restoration of perturbed subtidal areas. Estuarine, Coastal and Shelf Science 252: 107266.

Carbonetti B, Pomeroy R, Richards DL. 2014. Overcoming the lack of political will in small scale fisheries. Marine Policy 44: 295–301.

Cárcamo F, Henríquez L, Galleguillos F, Saavedra S, Torres D, Cook S, Leal P, Alanís Y, Pérez E, Silva C. 2021a. Informe Final: Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de Algas para Pescadores Artesanales y Acuicultores de Pequeña Escala. IV Etapa. Convenio IFOP -SUBECON. .

Cárcamo F, Henríquez L, Galleguillos F, Saavedra S, Torres D, Cook S, Leal PP, Alanis Y, Pérez E, Silva C. 2020. Informe Final: Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de Algas para Pescadores Artesanales. III Etapa. Convenio IFOP -SUBECON. .

Cárcamo PF, Henríquez-Antipa LA, Galleguillos F, Figueroa-Fábrega L, Taylor MD. 2021b. Marine stocking in Chile: a review of past progress and future opportunities for enhancing marine artisanal fisheries. Bulletin of Marine Science 97: 729–748.

Cathey A, Miller N, Kimmel D. 2012. Microchemistry of juvenile Mercenaria mercenaria shell: implications for modeling larval dispersal. Marine Ecology Progress Series 465: 155–168.

Ceccherelli G, Cinelli F. 1999. The role of vegetative fragmentation in dispersal of the invasive alga Caulerpa taxifolia in the Mediterranean. Marine Ecology Progress Series 182: 299–303.

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 Journal of Marine Science 58: 411–416.
Chávez-Villalba J. 2014. Cultivo de ostión Crassostrea gigas: Análisis de 40 años de actividades en México. Hidrobiologica 24: 175–190.
Chopin T. 2006. Integrated Multi-Trophic Aquaculture: What it is, and why you should care.....and don't confuse it with polyculture. Aquaculture North America 4.
Christensen V. 1995. Ecosystem maturity — towards quantification. Ecological Modelling 77: 3–32.
Christensen V, Pauly D. 1992a. ECOPATH II — a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. Ecological Modelling 61: 169–185.
Christensen V, Pauly D. 1992b. Una guía del sistema de sofware Ecopath II (versión 2.1). .
Christensen V, Walters CJ. 2004. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. Ecological Modelling 172: 109–139.
Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian Journal of Ecology 18: 117–143.
Coen LD, Brumbaugh RD, Bushek D, Grizzle R, Luckenbach MW, Posey MH, Powers SP, Tolley SG. 2007. Ecosystem services related to oyster restoration . Marine Ecology Progress Series 341: 303–307.
Cornwall CE, Hepburn CD, Pilditch CA, Hurd CL. 2013. Concentration boundary layers around complex assemblages of macroalgae: Implications for the effects of ocean acidification on understory coralline algae. Limnology and Oceanography 58: 121–130.
Costanza R, Mageau M. 1999. What is a healthy ecosystem? p. 105–115.
Crozier G, Denzin N, Lincoln Y. 1994. Handbook of Qualitative Research.
D'Amours O, Archambault P, CW M. 2008. Local enhancement of epibenthic macrofauna by aquaculture activities . Marine Ecology Progress Series 371: 73–84.
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.
Dare PJ, Edwards DB. 1975. Seasonal changes in flesh weight and biochemical composition of mussels (Mytilus edulis L.) in the Conway estuary, North Wales. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 18: 89–97.
Díaz C, Sobenes C. 2022. Growth of Crassostrea gigas (Thunberg, 1793) cultivated in different cultivation devices deployed in sheltered and non-sheltered sites of central Chile. Aquaculture Research 53: 2330–2342.
Duarte CM, Wu J, Xiao X, Bruhn A, Krause-Jensen D. 2017. Can seaweed farming play a role in climate change mitigation and adaptation? Frontiers in Marine Science 4: 100.
Duggan WP. 1973. Growth and survival of the bay scallop , Argopecten irradians , at various locations of the water column. Proceedings of the National Shellfisheries Association 63: 68–71.
Dumbauld BR, Ruesink JL, Rumrill SS. 2009. The ecological role of bivalve shellfish aquaculture in the estuarine environment: A review with application to oyster and clam culture in West Coast (USA) estuaries. Aquaculture 290: 196–223.
Edding ME, Fonck E, Orrego P, Venegas M, Macchiavello J. 1993. A comparison between two populations of Lessonia trabeculata (Phaeophyta: Laminariales) microscopic stages. Hydrobiologia 260–261: 231–237.
Edwards P. 2000. Aquaculture, poverty impacts and livelihoods. ODI Natural Resource Perspectives .
FAO. 2015. Nota de política. Basado en estudios realizados en Chile, Colombia, Paraguay y Perú: El rol de la mujer en la pesca y la acuicultura. .
FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome:
Fernández PA, Leal PP, Henríquez LA. 2019. Co-culture in marine farms: macroalgae can act as chemical refuge for shell-forming molluscs under an ocean acidification scenario. Phycologia 58: 542–551.

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 Journal of Marine Science 73: 429–440.

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.

Foster P, Gomm R, Hammersley M, Foster P, Gomm R, Hammersley M. 2016. Case Studies as Spurious Evaluations: The Example of Research on Educational Inequalities. Case Studies 375–375.

Franco-Meléndez M, Cubillos LA, Tam J, Hernández Aguado S, Quiñones RA, Hernández A. 2021. Territorial Use Rights for Fisheries (TURF) in central-southern Chile: Their sustainability status from a transdisciplinary holistic approach. Marine Policy 132: .

Gelcich S, Cinner J, Donlan CJ, Tapia-Lewin S, Godoy N, Castilla JC. 2017. Fishers' perceptions on the Chilean coastal TURF system after two decades: Problems, benefits, and emerging needs. Bulletin of Marine Science 93: 53–67.

Gilgun JF. 1994. A case for case studies in social work research. Social Work (United States) 39: 371–380.

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.

Graham MH, Vásquez JA, Buschmann AH. 2007. Global ecology of the giant kelp Macrocystis: From ecotypes to ecosystems.

Gutierrez A, Correa T, Muñoz V, Santibañez A, Marcos R, Cáceres C, Buschmann AH. 2006. Farming of the Giant Kelp Macrocystis Pyrifera in Southern Chile for Development of Novel Food Products. Journal of Applied Phycology 2006 18:3 18: 259–267.

Gutiérrez JL, Jones CG, Strayer DL, Iribarne OO. 2003. Mollusks as ecosystem engineers: The role of shell production in aquatic habitats. p. 79–90.

Hafting JT, Craigie JS, Stengel DB, Loureiro RR, Buschmann AH, Yarish C, Edwards MD, Critchley AT. 2015. Prospects and challenges for industrial production of seaweed bioactives. Journal of Phycology 51: 821–837.

Hanh TTH. 2021. Why are fisheries agencies unable to facilitate the development of alternative livelihoods in small-scale fisheries and aquaculture in the global South? A case study of the Tam Giang lagoon, Viet Nam. Marine Policy 133: .

Hargrave MS, Nylund GM, Enge S, Pavia H. 2022. Co-cultivation with blue mussels increases yield and biomass quality of kelp. Aquaculture 550: 737832.

Hartstein ND, Rowden AA. 2004. Effect of biodeposits from mussel culture on macroinvertebrate assemblages at sites of different hydrodynamic regime. Marine Environmental Research 57: 339–357.

Harvey B, Soto D, Carlsfeld J, Beverridge M, Bartley D. 2017. Planning for aquaculture diversification: the importance of climate change and other drivers. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 47.

Hermosillo-Núñez BB, Ortiz M, Rodríguez-Zaragoza FA. 2018. Keystone species complexes in kelp forest ecosystems along the northern Chilean coast (SE Pacific): Improving multispecies management strategies. Ecological Indicators 93: 1101–1111.

Heymans JJ, Coll M, Link JS, Mackinson S, Steenbeek J, Walters C, Christensen V. 2016. Best practice in Ecopath with Ecosim food-web models for ecosystem-based management. Ecological Modelling 331: 173–184.

Hofmann GE, Smith JE, Johnson KS, Send U, Levin LA, Micheli F, Paytan A, Price NN, Peterson B, Takeshita Y, Matson PG, de Crook E, Kroeker KJ, Gambi MC, Rivest EB, Frieder CA, Yu PC, Martz TR. 2011. High-frequency dynamics of ocean pH: A multi-ecosystem comparison. PLoS ONE 6: .

Hurd CL. 2000. Water motion, marine macroalgal physiology, and production. Journal of Phycology 36: 453–

472.
Inglis GJ, Gust N. 2003. Potential indirect effects of shellfish culture on the reproductive success of benthic predators. Journal of Applied Ecology 40: 1077–1089.
Kaufman AG, Borrett SR. 2010. Ecosystem network analysis indicators are generally robust to parameter uncertainty in a phosphorus model of Lake Sidney Lanier, USA. Ecological Modelling 221: 1230–1238.
Krause-Jensen D, Duarte CM. 2016. Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. Nature Geoscience 9: 737–742.
Kroll I, Poray A, Puckett B, Eggleston D, Fodrie J. 2016. Environmental effects on elemental signatures in eastern oyster Crassostrea virginica shells: using geochemical tagging to assess population connectivity. Marine Ecology Progress Series 543: 173–186.
Lacoste É, Drouin A, Weise AM, Archambault P, McKindsey CW. 2018. Low benthic impact of an offshore mussel farm in Îles-de-la-Madeleine, eastern Canada. Aquaculture Environment Interactions 10: 473–485.
Lacoste É, Weise AM, Lavoie MF, Archambault P, McKindsey CW. 2019. Changes in infaunal assemblage structure influence nutrient fluxes in sediment enriched by mussel biodeposition. Science of the Total Environment 692: 39–48.
Leal PP, Ojeda J, Sotomayor C, Buschmann AH. 2020. Physiological stress modulates epiphyte (Rhizoclonium sp.)-basiphyte (Agarophyton chilense) interaction in co-culture under different light regimes. Journal of Applied Phycology 32: 3219–3232.
Leiva G, Santibañez C, Bartheld J, J. CM&, Navarro. 2007. Definición de criterios biológicos, ambientales, sanitarios y operativos para la instalación de colectores de moluscos bivalvos en la X Región. .
León RI, Stotz WB. 2004. Diet and prey selection dynamics of Cancer polyodon in three different habitat types in Tongoy Bay, Chile. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 84: 751–756.
Lodeiros C, Rodríguez-Pesantes D, Márquez A, Revilla J, Chávez-Villalba J, Sonnenholzner S. 2018. Suspended cultivation of the Pacific oyster Crassostrea gigas in the Eastern Tropical Pacific. Aquaculture International 26: 337–347.
Lüning K, Pang S. 2003. Mass cultivation of seaweeds: current practices and approaches. Journal of Applied Phycology 15: 115–119.
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.
Macpherson I, Brooker R, Ainsworth P. 2000. Case study in the contemporary world of research: Using notions of purpose, place, process and product to develop some principles for practice. International Journal of Social Research Methodology 3: 49–61.
Martone PT, Denny MW. 2008. To break a coralline: Mechanical constraints on the size and survival of a wave-swept seaweed. Journal of Experimental Biology 211: 3433–3441.
Marzloff MP, Dambacher JM, Johnson CR, Little LR, Frusher SD. 2011. Exploring alternative states in ecological systems with a qualitative analysis of community feedback. Ecological Modelling 222: 2651–2662.
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 review. Canadian Journal of Zoology 89: 622–646.
McLeod I, Parsons DM, Morrison M, Sg V, Dijken, Taylor R. 2013. Mussel reefs on soft sediments: A severely reduced but important habitat for macroinvertebrates and fishes in New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 48: .
Merriam SB. 1998. Qualitative Research and Case Study Applications in Education: Revised and Expanded from Case Study Research in Education. San Francisco: Jossey-Bass.
Metian M, Troell M, Christensen V, Steenbeek J, Pouil S. 2020. Mapping diversity of species in global

aquaculture. Reviews in Aquaculture 12: 1090–1100.
Molinet C, Díaz Gomez MA, Arriagada Muñoz CB, Cares Pérez LE, Marín Arribas SL, Astorga Opazo MP, Niklitschek Huaquin EJE. 2015. Spatial distribution pattern of Mytilus chilensis beds in the Reloncaví fjord: hypothesis on associated processes. Revista chilena de historia natural 88: 1–12.
Molinet C, Díaz M, Marín SL, Astorga MP, Ojeda M, Cares L, Asencio E. 2017. Relation of mussel spatfall on natural and artificial substrates: Analysis of ecological implications ensuring long-term success and sustainability for mussel farming. Aquaculture 467: 211–218.
Moreira D, Pires JCM. 2016. Atmospheric CO2 capture by algae: Negative carbon dioxide emission path. Bioresource Technology 215: 371–379.
Muhamad GM, Heshmati A, Khayyat NT. 2021. How to reduce the degree of dependency on natural resources? Resources Policy 72: 102047.
Naylor RL, Goldburg RJ, Primavera JH, Kautsky N, Beveridge MCM, Clay J, Folke C, Lubchenco J, Mooney H, Troell M. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. Nature 405: 1017–1024.
Neely C, Sutherland K, Johnson J. 2004. ¿Los enfoques basados en los modos de vida sostenibles tienen una repercusión positiva en la población rural pobre? Análisis de doce estudios de casos. Subprograma de aprendizaje institucional 68.
Neori A, Troell M, Chopin T, Yarish C, Critchley A, Buschmann AH. 2007. The need for a balanced ecosystem approach to blue aquaculture. Environment 49: 36–43.
Newell RIE. 2007. A framework for developing “ecological carrying capacity” mathematical models for bivalve mollusc aquaculture.
Nicola GG, Almodóvar A, Elvira B. 2010. Effects of environmental factors and predation on benthic communities in headwater streams. Aquatic Sciences 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. Aquatic Biology 4: 75–87.
Norrie C, Dunphy B, Roughan M, Weppe S, Lundquist C. 2020. Spill-over from aquaculture may provide a larval subsidy for the restoration of mussel reefs . Aquaculture Environment Interactions 12: 231–249.
Odum EP. 1969. The Strategy of Ecosystem Development. Science 164: 262–270.
Opazo D, Herrera M, Stuardo C, Oyarzún M, Mejías P. 2021. Programa de monitoreo y vigilancia sobre la disponibilidad larval de mitílidos para la sustentabilidad de la actividad de acuicultura en la zona sur austral de Chile, VIII etapa 2020-21 . Informe Final Con venio de Desemp e ño entre la S ubsecretaría de E. .
Oróstica MH, Otaíza RD, Neill PE. 2012. Blades and papillae as likely dispersing propagules in Chilean populations of Mastocarpus sp. (Rhodophyta, Gigartinales). Revista de Biologia Marina y Oceanografia 47: 109–119.
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: 31–46.
Ortiz M, Avendaño M, Campos L, Berrios F. 2009. Spatial and mass balanced trophic models of La Rinconada Marine Reserve (SE Pacific coast), a protected benthic ecosystem: Management strategy assessment. Ecological Modelling 220: 3413–3423.
Ortiz M, Berrios F, González J, Rodríguez-Zaragoza F, Gómez I. 2016. Macroscopic network properties and short-term dynamic simulations in coastal ecological systems at Fildes Bay (King George Island, Antarctica). Ecological Complexity 28: 145–157.
Ortiz M, Levins R. 2011. Re-stocking practices and illegal fishing in northern Chile (SE Pacific coast): A study case. Oikos 120: 1402–1412.
Ortiz M, Levins R. 2017. Self-feedbacks determine the sustainability of human interventions in eco-social

complex systems: Impacts on biodiversity and ecosystem health. PLoS ONE 12: .
Pauly D, Christensen V, Walters C. 2000. Ecopath, Ecosim, and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. ICES Journal of Marine Science 57: 697–706.
Pearson TH, Rosenberg R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review 16: 229–311.
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.
Potvin C, Roff DA. 1993. Distribution-free and robust statistical methods: viable alternatives to parametric statistics. Ecology 74: 1617–1628.
Puccia CJ, Levins R. 1991. Qualitative Modeling in Ecology: Loop Analysis, Signed Digraphs, and Time Averaging.
Puccia CJ, Levins R. 2013. Qualitative Modeling of Complex Systems. Harvard University Press.
Radulovich R, Neori A, Valderrama D, Reddy CRK, Cronin H, Forster J. 2015. Chapter 3 - Farming of seaweeds.
Rebours C, Marinho-Soriano E, Zertuche-González JA, Hayashi L, Vásquez JA, Kradolfer P, Soriano G, Ugarte R, Abreu MH, Bay-Larsen I, Hovelsrud G, Rødven R, Robledo D. 2014. Seaweeds: An opportunity for wealth and sustainable livelihood for coastal communities. Journal of Applied Phycology 26: 1939–1951.
Riisgård HU, Lundgreen K, Larsen PS. 2012. Field data and growth model for mussels Mytilus edulis in Danish waters. Marine Biology Research 8: 683–700.
Rivera A, Unibazo J, León P, Vásquez-Lavín F, Ponce R, Mansur L, Gelcich S. 2017. Stakeholder perceptions of enhancement opportunities in the Chilean small and medium scale mussel aquaculture industry. Aquaculture 479: 423–431.
Rockefeller Foundation. 2013. Securing the Livelihoods and Nutritional Needs of Fish-Dependent Communities.
Rosas J, Dresdner J, Chávez C, Quiroga M. 2014. Effect of social networks on the economic performance of TURFs: Thecase of the artisanal fishermen organizations in Southern Chile. Ocean and Coastal Management 88: 43–52.
Ross LG, Martinez Palacios CA, Morales EJ. 2008. Developing native fish species for aquaculture: The interacting demands of biodiversity, sustainable aquaculture and livelihoods. Aquaculture Research 39: 675–683.
Rullens V, Lohrer AM, Townsend M, Pilditch CA. 2019. Ecological mechanisms underpinning ecosystem service bundles in marine environments - A case study for shellfish. Frontiers in Marine Science 6: .
Sadovy YJ, Liu MH. 2008. Environmental and biodiversity impacts of capture-based aquaculture.
Santelices B, Doty MS. 1989. A review of Gracilaria farming. Aquaculture 78: 95–133.
Sanz-Lazaro C, Sanchez-Jerez P. 2020. Regional Integrated Multi-Trophic Aquaculture (RIMTA): Spatially separated, ecologically linked. Journal of Environmental Management 271: 110921.
Sardenne F, Forget N, McKindsey CW. 2019. Contribution of mussel fall-off from aquaculture to wild lobster Homarus americanus diets. Marine Environmental Research 149: 126–136.
van der Schatte Olivier A, Jones L, Vay L Le, Christie M, Wilson J, Malham SK. 2020. A global review of the ecosystem services provided by bivalve aquaculture. Reviews in Aquaculture 12: 3–25.
Sepúlveda C. 2016. Acuicultura en áreas de manejo: desafíos para su implementación y desarrollo, utilizando el enfoque de medios de vida sostenibles. Tesis Grado de Magíster en Ciencias del Mar mención Recursos Costeros, de la Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Catól.
Sernapesca. 2020.

Sernapesca. 2021. [Internet]. Available from: http://www.sernapesca.cl/informes/estadisticas?qt-quicktabs_area_trabajo=4

Serrat O. 2017. The Sustainable Livelihoods Approach. Knowledge Solutions p. 21–26.

Starko S, Claman BZ, Martone PT. 2014. Biomechanical consequences of branching in flexible wave-swept macroalgae. New Phytologist 206: 133–140.

Stotz WB, Aburto J, Caillaux LM, González SA. 2016. Vertical distribution of rocky subtidal assemblages along the exposed coast of north-central Chile. Journal of Sea Research 107: 34–47.

Theuerkauf SJ, Barrett LT, Alleway HK, Costa-Pierce BA, St. Gelais A, Jones RC. 2022. Habitat value of bivalve shellfish and seaweed aquaculture for fish and invertebrates: Pathways, synthesis and next steps. Reviews in Aquaculture 14: 54–72.

Thomas M, Pasquet A, Aubin J, Nahon S, Lecocq T. 2021. When more is more: taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. Biological Reviews 96: 767–784.

Thomsen MS, Wernberg T. 2005. Miniview : What affects the forces required to break or dislodge macroalgae? European Journal of Phycology 40: 139–148.

Troell M, Naylor RL, Metian M, Beveridge M, Tyedmers PH, Folke C, Arrow KJ, Barrett S, Crépin AS, Ehrlich PR, Gren Å, Kautsky N, Levin SA, Nyborg K, Österblom H, Polasky S, Scheffer M, Walker BH, Xepapadeas T, De Zeeuw A. 2014. Does aquaculture add resilience to the global food system? Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111: 13257–13263.

Ulanowicz RE. 2004. Quantitative methods for ecological network analysis. Computational Biology and Chemistry 28: 321–339.

Ulanowicz RE, Abarca-Arenas LG. 1997. An informational synthesis of ecosystem structure and function. Ecological Modelling 95: 1–10.

Uribe RA, Ortiz M, Macaya EC, Pacheco AS. 2015. Successional patterns of hard-bottom macrobenthic communities at kelp bed (Lessonia trabeculata) and barren ground sublittoral systems. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 472: 180–188.

Vásquez J, Zuñiga S, Tala F, Piaget N, Rodriguez D, Vega JM. 2008. Bases ecológicas y evaluación de usos alternativos para el manejo de preaderas de algas pardas de la III y IV regiones. Universidad Católica del Norte. Informe final proyecto FIP N° 2005-22. 283 pp. .

Vásquez JA, Vega JM. 2005. Macroinvertebrados asociados a discos de adhesión de algas pardas: biodiversidad de comunidades discretas como indicadora de perturbaciones locales y de gran escala. Biodiversidad Marina: Valoración, uso y perspectivas. ¿Hacia donde va Chile? 429–450.

Vásquez JA, Zuñiga S, Tala F, Piaget N, Rodríguez DC, Vega JMA. 2014. Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. Journal of Applied Phycology 26: 1081–1088.

Villegas MJ, Laudien J, Sielfeld W, Arntz WE. 2008. Macrocystis integrifolia and Lessonia trabeculata (Laminariales; Phaeophyceae) kelp habitat structures and associated macrobenthic community off northern Chile. Helgoland Marine Research 62: 33–43.

Westermeier R, Murúa P, Patiño DJ, Müller DG. 2017. Population biology and long-term mariculture studies in the brown alga Lessonia trabeculata in Atacama, Chile. p. 2267–2275.

Westermeier R, Murúa P, Patiño DJ, Muñoz L, Atero C, Müller DG. 2014. Repopulation techniques for Macrocystis integrifolia (Phaeophyceae: Laminariales) in Atacama, Chile. Journal of Applied Phycology 26: 511–518.

Wilcox M, Kelly S, Jeffs A. 2017. Ecological restoration of mussel beds onto soft-sediment using transplanted adults. Restoration Ecology 26: 581–590.

Wildish D, Wilson A, Young-Lai W, Decoste AM, Aiken DE, Martin J. 1988. Biological and economic feasibility of four grow-out methods for the culture of giant scallops in the Bay of Fundy. Canadian Technical

Report of Fisheries & Aquatic Sciences .
De Wit CT. 1960. On Competition. Versl. Landbouwkd. Onderz. 66.
Wong KLC, O'Shea S. 2011. The effects of a mussel farm on benthic macrofaunal communities in Hauraki Gulf, New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 45: 187–212.
Xiao X, Agusti S, Lin F, Li K, Pan Y, Yu Y, Zheng Y, Wu J, Duarte CM. 2017. Nutrient removal from Chinese coastal waters by large-scale seaweed aquaculture. Scientific Reports 7: 1–6.
Yaghubi E, Carboni S, Snipe RMJ, Shaw CS, Fyfe JJ, Smith CM, Kaur G, Tan SY, Hamilton DL. 2021. Farmed mussels: A nutritive protein source, rich in Omega-3 fatty acids, with a low environmental footprint. Nutrients 13: 1124.
Yang H, Sturmer LN, Baker S. 2016. Molluscan Shellfish Aquaculture and Production. Edis 2016: 8.
Yong YS, Yong WTL, Anton A. 2013. Analysis of formulae for determination of seaweed growth rate. Journal of Applied Phycology 25: 1831–1834.
Young CS, Sylvers LH, Tomasetti SJ, Lundstrom A, Schenone C, Doall MH, Gobler CJ. 2022. Kelp (Saccharina latissima) Mitigates Coastal Ocean Acidification and Increases the Growth of North Atlantic Bivalves in Lab Experiments and on an Oyster Farm. Frontiers in Marine Science 9: 881254.
Ysebaert T, Hart M, Herman PMJ. 2009. Impacts of bottom and suspended cultures of mussels Mytilus spp. on the surrounding sedimentary environment and macrobenthic biodiversity. Helgoland Marine Research 63: 59–74.
Zuniga-Jara S, Marín-Riffo MC, Bulboa-Contador C. 2016. Bioeconomic analysis of giant kelp Macrocystis pyrifera cultivation (Laminariales; Phaeophyceae) in northern Chile. Journal of Applied Phycology 28: 405–416.
Zuniga S, Ramirez P, Valdebenito M. 2010. Socio-economic impacts measurements of the of {Benthic} {Resources} {Management} {Areas} on small-scale fishing communities of northern {Chile}. Latin American Journal of Aquatic Research 38: 15–26.

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